

Informe final* del Proyecto L172
Ecología poblacional de Abies hickelii en el Pico de Orizaba, Veracruz

Responsable: M en C. Carlos H Ávila Bello
Institución: Colegio de Postgraduados
Instituto de Fitosanidad
Dirección: Carretera México-Texcoco Km 35.5 Montecillo, Texcoco, Mex, 56230 ,
México
Correo electrónico: cavila@colpos.colpos.mx
Teléfono/Fax: 01(595)1 1580
Fecha de inicio: Diciembre 15, 1997
Fecha de término: Julio 6, 2000
Principales resultados: Informe final, Hoja de cálculo
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Ávila Bello, C. H.,2000. Ecología poblacional de Abies hickelii en el Pico de Orizaba, Veracruz. Colegio de Postgraduados. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L172.** México D. F.
Forma de citar hoja de cálculo: Ávila Bello, C. H.,2000. Ecología poblacional de Abies hickelii en el Pico de Orizaba, Veracruz. Colegio de Postgraduados. **Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. L172.** México D. F.

Resumen:

El presente trabajo estudiará las características demográficas del bosque de Abies hickelii en el Pico de Orizaba, Veracruz. Estos bosques cubren un área aproximada de 362 ha. (Ávila B., 1987), en un gradiente altitudinal que va de los 2,700 msnm a los 3,200 o 3,600 dependiendo del área donde uno se encuentre (Ávila B., 1992) y se encuentra protegida la cuenca del río Jamapa, que abastece de agua a diferentes ciudades de la zona centro del estado de Veracruz. Los objetivos del trabajo son: 1) elaborar matrices de transición para reconocer la probabilidad que tiene la especie de pasar de un estado a otro; 2) conocer si el estado actual de la población de Abies hickelii es suficiente para asegurar su viabilidad en el futuro; 3) Conocer la fases fenológicas de la especie y, a través de la cosecha de conos, su fecundidad; 4) Comprobar si los planes de manejo propuesto para otros bosques de Abies son aplicables a los de Abies hickelii. El proceso metodológico que seguirá consistirá en el establecimiento de seis sitios permanentes de muestreo de 1,000 metros cuadrados cada uno a lo largo del gradiente altitudinal del bosque, en este sitio se tomarán datos de la cantidad de semillas de la especie en el suelo, la repoblación, de los árboles adultos, así como de las etapas fenológicas de árboles marcados expresamente, de estos árboles se cosecharán los conos para conocer su capacidad reproductiva. Al final del trabajo se obtendrán: 1) matrices de transición en las que se mostrará la probabilidad que tiene la especie de pasar de un estadio a otro; 2) el crecimiento actual de la población y su probabilidad de supervivencia en el futuro; 3) un plan de manejo silvícola apegado a los datos demográficos de la especie; 4) calendarios fenológicos de la especie; 5) la capacidad reproductiva de Abies hickelii.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

**ECOLOGÍA POBLACIONAL DE *Abies hickelii* EN EL PICO DE ORIZABA,
VERACRUZ**

Proyecto L172

Responsable: Carlos H. Ávila Bello - Programa de Agroecología - Colegio de
Postgraduados

Ecología poblacional de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz.

RESUMEN

En este trabajo se estudiaron las características demográficas del bosque de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz. Estos bosques cubren un área aproximada de 362 ha (Ávila B., 1987) en un gradiente altitudinal que va de los 2700 a los 3200 o 3600 msnm dependiendo de la(s) ladera(s) en las que uno se encuentre. Estos bosques forman parte de aquellos que protegen la cuenca alta del río Jamapa, que abastece de agua a diferentes ciudades e industrias de la zona centro del estado de Veracruz. Los objetivos del trabajo fueron: 1) elaborar matrices de transición para conocer la tasa intrínseca de crecimiento de la población (λ); 2) conocer si la estructura de la población de *A. hickelii* es adecuada para asegurar su viabilidad futura; 3) conocer las fases fenológicas de la especie y, a través de la cosecha de conos, su fecundidad; 4) comprobar si planes de manejo propuestos para otros bosques de *Abies* son aplicables a los de *A. hickelii*. El proceso metodológico consistió en el establecimiento de seis sitios permanentes de muestreo de 1000 m² cada uno a lo largo del gradiente altitudinal que cubre del bosque, en estos sitios se tomaron datos de la cantidad de semillas de *A. hickelii* en el suelo, la repoblación, de los árboles adultos, así como de etapas fenológicas de árboles marcados con anticipación. En cada sitio se contaron los conos producidos por los árboles en etapa reproductiva para conocer su capacidad reproductiva. La población se dividió en siete estadios: plántulas I y II; juveniles I, y II; y adultos I, II y III. A partir de estos datos se obtuvieron: 1) matrices de transición en donde se presenta la tasa intrínseca de crecimiento de la población (λ), esta varió de 1.29 en el sitio tres a 1.17 en el conjunto de los tres sitios, así como las probabilidades de transitar de una categoría a otra; 2) una propuesta de plan de manejo apegada a los datos demográficos y a las características sociales del área; 3) un calendario fenológico de la especie y datos acerca de su capacidad reproductiva. Se incluye un mapa de distribución actual de la especie en el Pico de Orizaba, Veracruz.

Palabras clave: bosque de *Abies*, ecología poblacional, conservación, uso sostenible, manejo.

Objetivos:

General:

Conocer las características demográficas del bosque de *Abies hickelii* que sirvan como información base para el manejo sostenible de esta especie y sus recursos asociados.

Particulares:

1. Construir tablas de vida para cada etapa de la especie.
2. Elaborar matrices de transición para la especie.
3. Conocer con precisión las etapas fenológicas de la especie.
4. Conocer la capacidad reproductiva de la especie.
5. Proponer lineamientos de manejo para la especie.

6. Comprobar si planes de manejo propuestos para otros bosques de *Abies* son aplicables al bosque de *A. hickelii*.

Antecedentes

Los bosques de *Abies* en Veracruz

Los bosques de *Abies* de Veracruz se localizan en tres grandes sistemas montañosos: la zona de Huayacocotla, que pertenece a la Sierra Madre Oriental; el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, que pertenecen al Eje Neovolcánico y la Sierra de Acultzingo, que forma parte de la Sierra Madre de Oaxaca (Tamayo, 1980). En el primer caso se pueden encontrar mezclados *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii* y otras especies (Domínguez A., 1986); en el segundo y tercer casos se encuentran de manera simpátrica *Abies hickelii* y *A. religiosa*, aunque domina *A. hickelii*, especialmente en el Pico de Orizaba y Acultzingo (Narave F., 1985; Ávila B., 1987). Estos bosques se han estudiado con base en diferentes enfoques, así, Narave F. (1985) al describir la vegetación del Cofre de Perote presenta una lista con la composición florística del bosque de oyamel. Por otro lado, Ávila B. (1987) analiza desde el punto de vista fitosociológico, el bosque de *A. hickelii* en el Pico de Orizaba y Acultzingo; este mismo autor, empleando métodos de ordenación, estudió los cambios estructurales del bosque a lo largo de un gradiente altitudinal (Ávila B., 1992; Ávila B., 1994), a partir de estos datos sabemos que el bosque presenta tres asociaciones principales, una conformada por *Pinus pseudostrobus* - *P. ayacahute* - *P. patula* - *A. hickelii*; otra formada por *P. pseudostrobus* - *A. hickelii* y otra por masas puras de oyamel, con alguna aparición ocasional de *A. religiosa* y *Alnus jorullensis*. Los suelos en los que se establecen estas asociaciones son de tipo andosol, con minerales de escasa cristalización, horizontes A/B/C, profundos y con capa superficial friable y oscura por su alto contenido de materia orgánica (Cisneros S., 1981); también se conocen algunas características estructurales de estos bosques en áreas sometidas a pastoreo (Ávila B. y Ruiz A., 1995). Sin embargo, no se han estudiado hasta el momento sus características demográficas, hecho fundamental ya que esta información constituye la base para conocer el comportamiento actual y futuro de la población, lo que permitirá sentar las bases para el aprovechamiento sostenible de estos bosques y sus recursos asociados (Harper, 1977; Duran y Franco, 1995).

Descripción de la especie

A. hickelii, al igual que otros oyameles, abetos o pinabetes, es un árbol corpulento, siempre verde, de copa simétrica y aguda; hojas lineares y persistentes. Es un árbol monóico, los estróbilos masculinos se producen en la parte inferior de las ramillas más altas, los femeninos en las últimas; maduran al mismo tiempo, pero permanecen en botón hasta la primavera. El tronco es erguido, de 20 a 30 m de altura (Martínez, 1963), pero se han observado ejemplares de 40 o más metros y 40 a 140 cm de DAP. La corteza es oscura gruesa y hendida y con placas escamosas e irregulares en los árboles adultos y grisácea y más o menos lisa en los jóvenes. Las ramillas son opuestas y frecuentemente dísticas, de color moreno rojizo, a veces de tinte violáceo y la superficie más o menos hirsuta, rara vez glabra. Las hojas, al igual que en otras especies, son sésiles, rectas o algo falcadas, la base es torcida, el ápice es hendido, el tejido en empalizada de esta especie se interrumpe para dar lugar a canales resiníferos secundarios (de dos a ocho) que no poseen las otras especies de *Abies*. Los conos son cilíndrico - oblongos, brevemente acuminados hacia el ápice, obtusos, poco resinosos, solitarios subsésiles, con pedúnculo hasta de 10 mm, de color oscuro y opacos; miden de 6 a 7 cm de largo por 3.5 a 7 mm de diámetro, las escamas son cuneado - obovadas de 13 a 14 mm de ancho por 18 a 20 de alto, la bráctea externa supera en tamaño a la escama. Las semillas son amarillentas, de 6 a 7 mm de largo (Martínez, 1963).

Los estudios poblacionales

Los estudios de ecología poblacional proporcionan información acerca de los eventos demográficos más importantes en una población determinada. Es decir, se busca medir, describir y explicar los cambios numéricos de una especie por medio de los nacimientos, las muertes, el número de individuos que inmigran y el número de aquellos que emigran (Harper y White, 1974). De acuerdo con Manly (1990), una de las mejores formas de estudiar la dinámica de poblaciones es por medio de estadios, ya que en muchos casos es difícil medir la edad de los individuos. De acuerdo con lo anterior, los tres propósitos fundamentales de los estudios poblacionales son:

1. Conocer los cambios de la población en el tiempo, es decir, cuantos individuos nacen, mueren, inmigran y emigran (Silvertown, 1987).

2. Poder, a partir de los datos anteriores, hacer inferencias acerca de los factores evolutivos que han influido en las características de la población, tales como la edad o tamaño a la primera reproducción, número de veces que se reproduce, número de descendientes, etc. (Harper, 1977).

3. Con toda la información obtenida, proyectar el comportamiento futuro de la población.

Buena parte de los estudios poblacionales que se conocen se han llevado a cabo en plantas herbáceas, primeramente por un interés antropógeno (Sarukhán, 1979) y, en segundo lugar, por la facilidad que representa estudiar la dinámica anual de muchas de ellas.

Los estadios más importantes para estudiar en la demografía vegetal son: el de semilla (banco de semillas), las semillas pasan por un período de “tamiz”, algunas de ellas se transformarán en plántulas, formando parte de una cohorte; si seguimos la huella de ésta a través del tiempo, obtendremos valores de probabilidad de nacimientos dados (producción de semillas), muertes y sobrevivencias de un individuo a cierta edad (Silvertown, 1987).

La manera tradicional de analizar una población es por medio de una tabla de vida, a partir de esas tablas pueden construirse matrices de transición para predecir los cambios numéricos en la población y su grado de estabilidad (Enright y Ogden, 1979), es decir, cuando el tamaño de la población no presenta cambios numéricos las proporciones en las diferentes clases permanecen sin cambios. En el caso de los árboles, debido a su ciclo de vida largo, lo más adecuado es localizar cohortes que representen a cada estadio de vida del árbol (Franco, 1990).

En México existen pocos estudios poblacionales acerca de árboles, la mayor parte de ellos se han concentrado en la estructura por edades en la etapa adulta del bosque o selva o se han estudiado los efectos de la intensidad de corta en la repoblación natural de pino (Castillo y Snook, 1984; Chacón S. y Sánchez C., 1986). Jardel (1985) analizó el efecto del Método Mexicano de Ordenación de Bosques en la repoblación, desde un punto de vista poblacional. Algunos de los estudios más completos son, el de Franco y Sarukhán (1979) desarrollado para *Pinus hartwegii*, el de Alvarez - B y García - B (1991) en *Cecropia obtusifolia*, el de Olmsted y Alvarez - B (1995) en *Thrinax radiata* y *Coccoloba readii* y el de Golubov *et al* (1999), en *Prosopis glandulosa*. Otros hacen énfasis en el banco y lluvia de semillas (Molina M, *et al*, 1991; Ramírez M, *et al*, 1992). Y también se han

llevado a cabo otros estudios en maguey mezcalero (Tello B., *et al*, 1991) así como en engordacabra (*Dalea bicolor*) (Romero M, *et al*, 1991).

La información generada para *A. hickelii* no ha abordado el aspecto demográfico que nos permita proyectar el comportamiento futuro de la población, los posibles efectos de la intervención humana al cosechar el bosque y cuánto cosechar para hacer un uso sostenible de este recurso. De acuerdo con lo anterior, las preguntas que deben contestarse son: ¿se encuentra la población de *A. hickelii* en equilibrio estable? ¿Qué cantidad de producto podemos obtener del bosque sin romper el equilibrio? Las fases por medio de las cuales se estudiará el ciclo de vida de este bosque servirán para la construcción y análisis de un modelo matricial como el propuesto por Usher (1969) y Olmated y Alvarez - B (1995).

Materiales y métodos

Establecimiento de sitios

Se establecieron seis sitios permanentes de muestreo de 50 X 20 m, es decir, 1000 m² cada uno, dos en cada asociación del bosque de *A. hickelii*, se buscó con ello tener por lo menos una repetición en cada variante del bosque a lo largo del gradiente altitudinal que cubre. Estos sitios se subdividieron en parcelas de 5 X 10 m c/u. Las parcelas se numeraron y sortearon para tomar en cada una de ellas los siguientes datos:

Fase de semilla

Al estudiar la dinámica de poblaciones, el estadio de semilla merece especial atención, puesto que no toda la progenie generada en un evento reproductivo logrará germinar, sino que una parte será objeto de alimentación para los depredadores, otra se mantendrá como reserva de diásporas localizadas en la superficie y mezcladas con el suelo para conformar el banco de semillas (García M y Pomero M, 1988), este tiene importancia fundamental para las plantas desde el punto de vista evolutivo y demográfico (Hutchings, 1986). Un banco de semillas persistente tendrá un fuerte impacto en la reserva genética de la población, Levin (1990) menciona al menos cuatro aspectos importantes de la reserva de semillas en el suelo:

1. Funciona como un amortiguador contra cambios dramáticos en la composición genética de la población, que podrían presentarse junto con cambios severos en el tamaño de la población.
2. El banco de semillas retarda la respuesta a la selección en las características de jóvenes y adultos.

3. Funciona como un sesgo para la selección, especialmente cuando se presentan años altamente productivos.
4. Puede funcionar como un filtro evolutivo, ya que sólo cambios ambientales de larga duración alterarán la composición genética de la población.
5. El muestreo para esta etapa se llevó a cabo trimestralmente, ya que como apunta Hutcgins (1986) pueden presentarse variaciones estacionales en la densidad y composición del banco de semillas del suelo.

Repoblación natural

Las semillas que logran germinar forman la repoblación natural del bosque, parte fundamental para aprovechar racionalmente y perpetuar el bosque, de ahí la importancia de evaluarla como parte del estudio demográfico. La información de esta fase se tomó anualmente en uno de los 20 subsitios de 5 X 10 m trazados dentro de cada uno de los sitios permanentes, la elección del subsitio se hizo por medio de sorteo, como se explicó anteriormente. Se consideró repoblación a aquellos individuos recién emergidos o hasta de 7.1 cm de diámetro, aunque, como se verá en los resultados, estos individuos se dividieron en diferentes estadios. Para evitar la pérdida de datos, los arbolitos fueron marcados con arillos negros de plástico, se numeraron con un plumón de tinta gris indeleble, en los sitios se tomaron los siguientes datos:

1. Número de arbolitos vivos en la primera toma.
2. Número de arbolitos vivos en la siguiente toma.
3. Número de arbolitos muertos en la segunda toma.
4. Diámetro al cuello o al pecho.
5. Altura total.

Árboles adultos

La información de esta fase es fundamental ya que en ella se encontraron muchos individuos en etapa reproductiva y, desde el punto de vista silvícola, puede proporcionar datos para estimar la productividad forestal en términos de volumen de madera por unidad de área (Franco B y Sarukhán, 1979). Así como para conocer las tasas de crecimiento de la especie; estas estimaciones, junto con el análisis demográfico y económico adecuado, pueden servir como base para obtener una función de producción (Mendoza B, 1993), es decir, un modelo matemático por medio del cual se puede proyectar el rendimiento,

crecimiento y cambio de estructura del bosque y tomar decisiones respecto a la edad o estadio adecuado para la cosecha, densidades de plantación, época de aclareo, etc. (Clutter *et al*, 1983). Todos los árboles se marcaron y numeraron para poder seguir con mayor facilidad su dinámica. Los datos que se tomaron para este estadio fueron:

1. Diámetro a la altura del pecho (DAP, medido a 1.30 m de la superficie del suelo, por el lado de mayor pendiente).
2. Altura total.
3. Altura del fuste limpio (a la primera rama).
4. Número de árboles vivos en la primera toma.
5. Número de árboles vivos y muertos en la segunda toma.
6. Condición de los árboles, es decir, sanos, enfermos o dañados.
7. Cobertura y color de la copa.

Los datos se tomaron como en el caso anterior anualmente, aunque se llevaron a cabo observaciones al momento de tomar los datos correspondientes a fenología. Dado que el tamaño de los individuos puede definir de mejor manera las diferentes etapas de la vida de los mismos, se decidió no tomar los datos de edad de los árboles. En la parte correspondiente a estos resultados se explica de mejor manera la razón biológica de esta decisión

Fenología y fecundidad (producción de semilla)

Todas las especies y comunidades presentan cambios estacionales, estos cambios reciben el nombre de fenológicos y a la ciencia que estudia estos cambios en el tiempo, en relación con el medio se le llama fenología (Barbour *et al*, 1987), el objetivo de esta disciplina es el de elaborar un calendario para indicar los acontecimientos biológicos de una especie dada (Krebs, 1985). Por otro lado, la fecundidad puede definirse como la capacidad potencial o física de una población para reproducirse (Krebs, 1985), es importante puntualizar que la capacidad de crecimiento futuro de la población debe ser conocida para los individuos que componen cada clase de tamaño o edad (Harper, 1977). El procedimiento que se siguió en esta etapa del trabajo consistió en:

1. Se marcó una submuestra de árboles de diferentes clases diamétricas en un sitio accesible localizado entre el sitio número 1 y 2. De acuerdo con Greene (1994) la muestra debería ser de al menos el 20 % de los árboles del sitio, sin embargo, como se

verá en resultados y discusión estos no pudo cumplirse del todo debido a diversas condiciones presentes en el área al momento del estudio. Los árboles marcados presentaron las características anotadas por Ramírez G. y Nepamuceno M (1986), es decir, son bien conformados y accesibles en el terreno, los autores recomiendan marcar 10 ramillas con estróbilos femeninos y 10 con estróbilos masculinos para seguir la formación del cono. Las fases de desarrollo se clasificaron con base en lo propuesto por Cumming y Righter (citados por Bello G, 1983), aunque modificando el calificativo original que los autores hacen de flores, ya que las coníferas no presentan flores:

Fase vegetativa

Primordios de hojas (V_1)

Plenitud de desarrollo de la hoja (V_2)

Desarrollo completo (fin de la fase) (V_3)

Estróbilo masculino

Sin rápido crecimiento (Em_1)

Liberación abundante de polen (Em_2)

Fin de la liberación del polen (Em_3)

Estróbilo femenino

Aparición del estróbilo (Ef_1)

Elongación del conillo (Ef_2)

Cono maduro (Ef_3)

Si el 60 % de los árboles seleccionados presentaron una determinada fase se consideró suficiente para anotarla como tal. Estos datos se tomaron trimestralmente.

Se contó el número de conos que presentaban los árboles en los tres sitios marcados, de los árboles más accesibles se colectaron conos a partir de los cuales se contó el número de semillas, con base en un análisis de varianza se obtuvo la producción media de semillas y la desviación de estos datos. La fecundidad de cada estadio de adulto se obtuvo sumando el número de conos producidos en ese estadio, multiplicado número de semillas promedio que se produce en un cono.

Lista florística

Al establecer los sitios se colectaron por triplicado las plantas que se observaron floreciendo, posteriormente se levantaron sólo aquellas que no se encontraron antes. Los ejemplares se depositaron en el herbario CHAPA e INIF (Luciano Vela Gálvez).

Análisis estadísticos

Se llevaron a cabo análisis de varianza (Steel y Torrie, 1985) para todas las características básicas de los árboles, los mismos se presentan en la base de datos que para tal efecto se entrega en discos anexos. Los datos de producción de semillas fueron sometidos también a análisis de este tipo.

Modelo poblacional

El objetivo fundamental de este trabajo es el de obtener un modelo que represente y simule la dinámica poblacional de *Abies hickelii*, y que permita evaluar el impacto que tiene o puede tener la cosecha de árboles. El modelo servirá para prever las tasas de producción bajo el sistema actual de aprovechamiento y compararlo con otros modelos propuestos para otras especies de *Abies*, el modelo deberá ser sensible a la densidad del sitio, a la composición de las especies, al tamaño de los árboles, a su condición, sanidad, vigor y a las perturbaciones. Se busca asegurar el uso sostenible del recurso, sin olvidar que aun con todos los datos que se obtengan, los modelos son sólo una aproximación a la realidad.

El modelo poblacional se desarrollará por medio de matrices de transición, estos modelos han demostrado ser de gran utilidad en diferentes aspectos, así, Lesli (1945) usó este tipo de análisis trabajando una población imaginaria de roedores, asumiendo que está población estaba sujeta a tasas específicas de fertilidad y mortalidad y partiendo de una edad arbitraria; Lefkovitch (1963; 1964a; 1964b; 1965; citado por Manly, 1990) siguió un procedimiento similar pero empleando estadios, no edades, de acuerdo con Manly (1990) la principal desventaja de usar el modelo de Lefkovitch es el gran número de coeficientes que deben estimarse en la matriz de transición, esto puede evitarse si los muestreos se hacen con intervalos menos largos de tiempo tal como lo hicieron Usher (1969) y Omsted y Alvarez - B (1995) para el manejo de bosques y palmas, este enfoque nos servirá de base para desarrollar el modelo que proponemos. En la matriz de transición que se obtendrá, cada coeficiente (a_{ij}) representará la contribución promedio de un individuo de cierta

categoría poblacional (j) a otra (i), en una unidad de tiempo (Caswell, 1989). Esto da como resultado una matriz cuadrada de orden n en donde el número de renglones será igual al número de columnas ($m=n$) (Swokowski, 1986), es decir:

$$\begin{array}{cccc}
 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\
 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\
 A = & a_{31} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\
 & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn}
 \end{array}$$

Resultados y discusión

Fase de semilla

Las muestras que se obtuvieron de suelo, con la ayuda de un cilindro de acero que puede penetrara hasta 30 cm de profundidad no arrojaron datos que pudieran indicar la presencia de un banco de semillas de *A. hickelii*, por lo que la fase de semilla no se siguió de acuerdo con lo planeado. Dos hechos pudieron influir en este fenómeno, el primero de ellos fue la presencia de fuertes incendios en 1998, mismos que se vieron acrecentados por la fuerte sequía que afectó al país durante ese año, por el efecto de la corriente del niño; por otro lado, 1998 no fue un año semillero. Fue hasta 1999 cuando se presentó de manera más amplia la formación de semillas. Sin embargo, aparentemente *A. hickelii*, al igual que otras especies de este género no forman banco de semillas, sus semillas son dispersadas por el viento y rápidamente pierden la viabilidad (citas) o germinan en la estación de lluvias correspondiente al año de liberación.

Repoblación natural

Como se mencionó anteriormente, se considero como repoblación a aquellos individuos recién emergidos hasta 7.1 cm de DAP, ya que al superar este valor algunos árboles pueden iniciar su etapa reproductiva. La repoblación natural fue dividida para este estudio en cuatro estadios: plántulas I (de 0 a 40 cm de altura), plántulas II (de 40.1 a 120 cm de altura), juveniles I (de 120.1 cm de altura a 2 cm de DAP) , juveniles II (de 2 a 7 cm de DAP). Como se mencionó anteriormente, durante 1998 se presentaron fuertes incendios, estos afectaron especialmente ambos estadios de plántulas en el sitio 1 y 2, aunque el efecto fue

más notorio en el primer sitio. La presencia del fuego tiene una razón antropógena, ya que en la zona es usado durante la época seca para estimular el rebrote de forraje verde para los hatos mixtos de ganado ovino y caprino que se crían en el área, sin embargo, su efecto se vio magnificado por la presencia durante ese año del fenómeno de la corriente del niño.

La densidad de repoblación para el sitio 1 fue de 600 individuos en 2000 m^2 , es decir, 3000 ha^{-1} , estos representan el 85.71 % del total de individuos de este sitio. El efecto del fuego fue menor conforme se ascendió altitudinalmente, así, en el sitio 2 las dos primeras categorías de la repoblación que se vieron afectadas en el sitio 1 ya se encontraron representadas de tal manera que la densidad de la repoblación en este sitio fue de 4240 plantas en 2000 m^2 , es decir, $21200 \text{ plantas ha}^{-1}$ en estas categorías, estos individuos representan el 98.92 % del total de individuos en este sitio. Es importante mencionar que se cometió el error de no contabilizar, al levantar los datos por primera vez, el número de arbolitos muertos en las categorías afectadas en los sitios uno y dos. Esto no sucedió en el sitio 3, ya que este no se vio afectado por los incendios; en este último sitio se presentaron 2280 individuos en 2000 m^2 , es decir, 11400 ha^{-1} , estos representan el 94.64 % del total de individuos en este sitio, en el que la distribución de los individuos fue más o menos proporcional. La mayor mortalidad contabilizada hacia el segundo año del estudio se presentó en sitio 1, acorde con el efecto de los incendios, esto se verá con mayor detalle en las tablas donde se presentan las matrices de transición. En el anexo 1 se pueden observar con mayor detalle las características generales de los individuos considerados como repoblación en los diferentes sitios permanentes.

Árboles adultos

Al igual que la repoblación, la densidad de árboles adultos varió en cada uno de los sitios, así, en el sitio 1 se encontraron 30 árboles en las categorías de adultos I y II, es decir, aquellos comprendidos entre 7.1 a 40 cm de DAP y tan sólo un individuo en el estadio de adultos III (mayor de 40.1 cm). Bajo estas condiciones se podrían encontrar $155 \text{ árboles ha}^{-1}$; estos árboles constituyen el 4.9 % del total de individuos de este sitio. En el sitio 2 la densidad de árboles adultos fue de 46 en 2000 m^2 , es decir, 230 ha^{-1} , estos individuos constituyen el 1.05 % del total de la población, que se concentró en la categoría comprendida entre 20.1 a 40 cm de DAP. El sitio 3 presentó la mayor densidad de árboles adultos con 123 individuos en 2000 m^2 , es decir, $615 \text{ individuos ha}^{-1}$, estos representan el

4.6 % del total de los individuos. Otra variable importante que se midió fue la cobertura, esta puede definirse como la proyección vertical de la copa sobre el terreno expresada como la fracción o porcentaje de un área de referencia. Algunos autores (Mueller – Dombois y Ellenberg, 1974) consideran a la cobertura como una medida de distribución de las plantas de mayor valor que la densidad ya que puede dar una mejor idea de la biomasa acumulada, sin embargo, estas estimaciones deben complementarse con medidas de diámetro y altura. En nuestro caso, la cobertura de los árboles se obtuvo con base en dos medidas cruzadas de la copa de cada árbol, con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$Cc = \frac{(D_1 + D_2)^2}{4} \phi$$

La cobertura media en los sitios y las repeticiones varió de 4.46 en el sitio uno a 37.35 m² en el sitio tres, sin embargo, es interesante anotar que el coeficiente de variación en el último caso fue mayor que al primero (59.70 contra 43.94).

Sitio uno

La estructura del sitio uno tiene su origen en los incendios de 1998 que afectaron especialmente a las dos primeras categorías en las que se dividió el ciclo biológico de la especie. La densidad de este sitio es de 3155 individuos ha⁻¹, esta densidad es mayor a la encontrada por Manzanilla (1974) en bosques de *Abies religiosa*, sin embargo, este autor consideró sólo a los individuos Ø10 cm de DAP, es decir, árboles adultos; con base en este estadio, el sitio uno de *A. hickelii* presentó tan sólo 155 individuos ha⁻¹. Lo anterior significa que en este sitio la especie tiene 21.7% menos árboles que el bosque de explotación descrito por Manzanilla (1974) y 358 % menos árboles que el bosque natural descrito por este mismo autor.

Por otro lado, la altura total en este sitio varió de 5 m a 23 m con una media de 13.76 m, una desviación estándar de 4.70 y una varianza de 22.10 m. El diámetro de los árboles adultos varió de 10.1 a 45 cm de DAP con una media de 15.71 cm, una desviación estándar de 6.84 y una varianza de 46.86. La altura del fuste en los árboles de este sitio va de 1.30 a 14 m con una media de 5.21, una desviación estándar de 4.10 y una varianza de 16.89; el tamaño del fuste tiene, aparentemente, relación con el tamaño de la copa y este está controlado a su vez por algunos factores que se mencionarán más adelante. La cobertura en este sitio varía entre 1.76 a 50.26 m² con una media de 13.71 m², una desviación estándar

de 15.61 m² y una varianza de 243.71 m²; la cobertura por hectárea en este sitio es de 68.55 m². Las variaciones en la cobertura pueden deberse a diversos factores entre los que se pueden mencionar:

- 1) La posición del árbol en el sitio.
- 2) La respuesta individual de cada árbol a la sombra y la caída de ramas.
- 3) El control epinástico, es decir, aquel controlado fisiológicamente por el árbol y por medio del cual se influye el crecimiento de las ramas.

De acuerdo con Oliver y Larson (1996) la forma de una copa está determinada por el tipo de crecimiento terminal. Las ramas laterales normalmente siguen la misma forma de crecimiento que las yemas terminales. De acuerdo con estos autores en los abetos u oyameles el crecimiento epinástico es muy alto.

Es importante anotar que en este sitio el 46.81 % de los árboles se observó con signos de debilidad, mientras que el 53.19 % se encuentra sano. Esta característica puede deberse al efecto de los incendios.

Sitio dos

La estructura del sitio dos presentó variaciones importantes con relación al sitio uno, así por ejemplo la densidad en este sitio fue de 21430 individuos ha⁻¹, esto se debe a que en este sitio los efectos de los incendios fueron menores a los que recibió el sitio uno. Es importante mencionar que en las categorías de adultos los árboles presentan sólo 230 árboles ha⁻¹, es decir, supera por seis individuos al bosque que Manzanilla (1974) denominó de explotación, sin embargo, es superado en 241.7 % de árboles por el bosque que este mismo autor denominó como natural y en 140 % por el bosque virgen de este mismo investigador.

La altura total de los árboles en este sitio varió de 10 a 33 m, con una media de 17.76 m, una desviación estándar de 5.33 y una varianza de 28.47. El diámetro (DAP) de los árboles adultos varió de 10 cm a 90.4 cm, con una media de 34.86 cm, una desviación estándar de 17.66 y una varianza de 312.04. La altura del fuste para los árboles de este sitio varió entre 3 a 19 m, con una media de 10.28 m, una desviación estándar de 3.08 y una varianza de 9.49. Finalmente, la cobertura fluctuó entre 3.14 a 86.59 m², con una media de 21.36 m², una desviación estándar de 17.68 y una varianza de 312.75; bajo estas condiciones este sitio presenta una cobertura de 106.8 m² ha⁻¹.

Si pensamos que el efecto del fuego se refleja en debilidad de los árboles, la cantidad de árboles débiles en este sitio fue substancialmente menor que en el uno, 17.77 %, mientras que el 82.22 % se encuentra sano.

Sitio tres

El sitio tres fue el que presentó las mejores características, así, la densidad total fue de 12015 individuos ha^{-1} , mientras que, considerando sólo a los adultos esta fue de 615 individuos ha^{-1} , es decir, supera el número de árboles que Manzanilla (1974) menciona para el bosque natural, que es el que presenta mejores condiciones en ese estudio (556 individuos ha^{-1}).

La altura total en este sitio varió entre 6.2 a 31.2 m, con una media de 15.18 m, una desviación estándar de 5.60 y una varianza de 31.44. La altura del fuste varió entre 1.70 a 20 m, con una media de 10.06, una desviación estándar de 3.65 y una varianza de 10.06.

Fenología

Los estudios fenológicos en bosques de *Abies* son escasos, sólo existen algunas observaciones en bosques de este tipo llevadas a cabo por Madrigal – S. (1967) y Ávila B. (1994), es este último caso, aunque las observaciones se llevaron a cabo en bosque de *A. hickelii*, fueron muy superficiales y no se marcaron árboles para tal efecto. Durante el primer año del trabajo los árboles se encontraron en estado vegetativo. Las características de los árboles marcados se pueden observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características generales de los árboles marcados para llevar a cabo observaciones fenológicas.

Nº de individuo	Diámetro (cm)	Altura (m)
1	11.4	11.0
2	13.5	11.0
3	15.9	10.0
4	16.9	12.0
5	19.2	12.0
6	9.1	9.0
7	11.8	8.0
8	30.7	27.0

9	36.3	22.0
10	28.7	20.0

La primera observación se llevó a cabo el 14 de mayo de 1998, en ese momento el 50 % de los árboles presentaron el desarrollo máximo de la longitud de la hoja, el 50 % restante presentó las hojas a la mitad de la longitud normal.

Para el 26 de julio de 1998 todos los árboles presentaron el desarrollo máximo de las hojas. Del 20 de septiembre al 17 de noviembre de 1998 los árboles se encontraron en estado vegetativo, aunque se observaron primordios de estróbilos masculinos en la totalidad de los árboles. Para el 20 de marzo de 1999 el 30 % de los árboles se encontraron en la etapa final de la formación de los estróbilos masculinos y femeninos, el 70 % restante presentó un 26 a 50 % en la formación de los estróbilos femenino y masculino. Para el 19 de mayo de 1999 el 100 % de los árboles presentaron, en coincidencia formados tanto el estróbilo masculino como los conillos verdes. Para el 24 de julio de 1999 el 30 % de los árboles se encontraron liberando polen, el porcentaje de esta fenofase se estimó entre 26 a 50 %. A su vez, en coincidencia, 40 % de los árboles presentaron conos formados, pero no maduros. Aproximadamente el 70 % de los árboles se encontraba a punto de iniciar la liberación del polen. Para el 26 de septiembre de 1999 el 80 % de los árboles se encontraron al final de la liberación del polen, el 70 % de los árboles presentó conos formados, pero no maduros, el restante 30 % presentó el conillo verde, aunque a punto de entrar a la fase de cono. Para el 17 de noviembre de 1999 entre el 51 al 75 % de los árboles presentaban los conos maduros. El 20 de diciembre de 1999 el 100 % de los árboles presentó conos maduros pero aún sin entrar a la etapa de liberación de la semilla. De acuerdo con las observaciones finales que se llevaron a cabo, la liberación de semilla se lleva a cabo durante los meses de febrero a abril, para el 8 de abril el 100 % de los árboles que produjeron conos habían liberado la semilla. En la Figura 1 puede apreciarse el calendario de los eventos fenológicos observados a lo largo de estos dos años.

Ciclo biológico de *Abies hickelii*

De acuerdo con las observaciones llevadas a cabo, se decidió dividir el ciclo biológico de *A. hickelii* en siete estadios: plántulas I y II; juveniles I y II; y adultos I, II y III (Anexo III).

pueden observarse en el Cuadro 2. Estos datos se sometieron a un análisis de varianza, con el objeto de conocer la producción media de conos y semillas, así como la variación que se presenta en la misma.

El tamaño de los conos de *Abies hickelii* va de 10.4 a 10.8 cm de largo por poco más de 4 cm de ancho; el número de escamas puede variar entre 220 a 270, cada escama puede contener dos semillas, sin embargo, las escamas localizadas en la parte superior e inferior del cono pueden no presentarlas o contener tan sólo algunos rudimentos de ellas. Por ejemplo, un cono de 10.4 x 4.4 cm puede presentar 220 escamas y 383 semillas. De una muestra de 84 semillas se determinó el tamaño de la misma con ala, este es de 1.83 cm, con una desviación estándar de 0.19 y una varianza de 0.036.

De acuerdo con Franklin (1987), el porcentaje de semillas vanas en *Abies* es muy alto, entre 65 a 93 %), aunque también juegan un papel importante los factores ambientales de cada lugar. Para el caso de *A. hickelii* se tomó una muestra de 343 semillas, de ellas, con base en el tacto, resultaron vanas el 20 %. Es interesante hacer notar que las semillas viables presentan de 1 a 4 vesículas de resina, cosa que no se observó en las semillas vanas.

Cuadro 2. Características reproductivas de los árboles encontrados en tal etapa en los tres sitios permanentes de investigación.

N° de individuo	DAP (cm)	Altura (m)	N° total de conos	N° total de semillas
1	7.5	8.0	5	2020
2	9.1	9.0	9	3636
3	9.9	9.5	5	2020
4	9.9	9.5	4	1616
5	10.9	7.0	7	2828
6	11.4	11.0	29	11716
7	11.8	8.0	72	29088
8	12.7	11.0	7	2828
9	13.5	11.0	5	2020
10	14.8	11.0	11	4444

11	15.9	10.0	15	6060
12	16.3	10.4	6	2424
13	16.9	12.5	15	6060
14	19.2	12.0	71	26684
15	25.2	18.0	89	35956
16	28.7	20.0	118	47762
17	30.0	19.2	17	6868
18	30.7	27.0	235	94940
19	32.9	30.2	108	43632
20	33.0	24.4	33	13332
21	34.3	15.0	6	2424
22	36.3	22.0	305	123220
23	38.8	32.0	118	47672
24	39.5	22.0	154	62216
25	52.3	37.0	252	101808
26	59.5	26.0	69	27876
27	92.0	42.0	201	81204

La fecundidad media varió de un sitio a otro, así, en el sitio uno los adultos I produjeron 7924.61 semillas y los adultos II 88609.1; en el sitio dos los adultos I no produjeron semilla; los adultos II produjeron 4444 semillas y los adultos III 44440; en el sitio tres los adultos I produjeron 2424; los adultos II 30300 y los adultos III 70296.

Los resultados del análisis de varianza se pueden observar en el Cuadro 3, tanto la producción de conos como de semillas tiene una variación muy alta, la desviación de los datos también, todo ello se debe, como puede observarse en el Cuadro 2, a la gran diferencia que existe en la producción de conos entre un árbol y otro, aun en los que se consideran plenamente dentro de la etapa reproductiva, aparentemente no existe una relación entre el tamaño del árbol y la producción de conos.

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza de conos y semillas encontrados en los árboles en etapa reproductiva.

	Conos	Semillas
Desviación estándar	34623.53	35283.08
Varianza	87.32	85.69

De los tres sitios estudiados, el uno y el dos presentan una mayor cantidad de claros, de tamaño variable (de 20 a 100 m²), dadas las características de las plántulas de oyamel de establecerse en lugares más o menos abiertos (Manzanilla, 1974; Avila B., 1987), si la lluvia de semillas es abundante y las condiciones ambientales propicias, estos dos sitios en particular podrían tener una adecuada repoblación en los años venideros. De hecho, en algunos de los claros de la repetición dos del sitio dos, se pudo observar una grana cantidad de semilla depositada en la superficie del suelo.

Estructura de tamaños

La estructura de tamaños puede analizarse desde el punto de vista de la edad y del tamaño de los individuos. La relación tamaño – edad normalmente es muy débil o no existe y la población desarrolla una estructura de tamaños independiente de su edad (Harper, 1977). En la gran mayoría de los casos el tamaño del individuo más bien es una respuesta a los factores ambientales particulares del sitio. Para el caso de *A. hickelii*, al análisis de la estructura de tamaños se basó en las categorías de altura y diámetro en las que se dividió el ciclo biológico. De acuerdo con Barbour *et al* (1987) independientemente del ciclo de vida, se pueden reconocer en general ocho estadios importantes en una población: 1) semillas viables; 2) plántulas; 3) juveniles; 4) inmaduros o vegetativos; 5) maduros o vegetativos; 6) reproducción inicial; 7) vigor máximo (reproductivo y vegetativo) y 8) senescencia. De acuerdo con estos autores, si una población de plantas perennes presenta los cuatro o cinco estadios se encontrará en proceso de invasión de un lugar; si presenta los cuatro últimos estadios se encontrará declinando; en cambio, si presenta todos los estadios puede encontrarse en equilibrio estable y autoreemplazarse.

Para analizar los tres sitios se siguieron principalmente los planteamientos anteriores y los de Martínez R. y Álvarez B. (1995).

Sitio uno

La estructura de tamaños del sitio uno, como se mencionó anteriormente, tiene su origen en los fuertes incendios de 1998 que mataron a las dos primeras categorías (Figura 2).

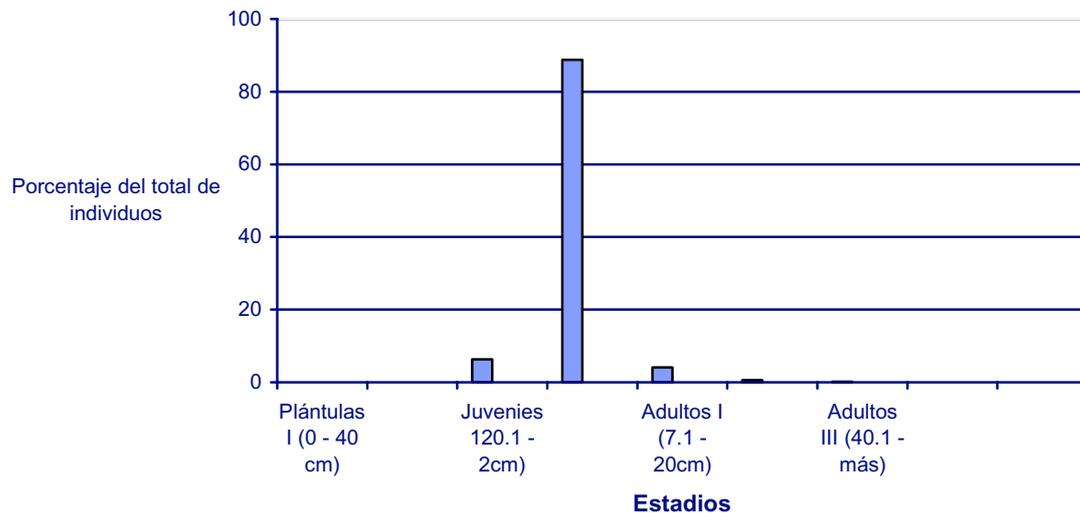


Figura 2. Estructura de tamaños del sitio 1 hacia los 2860 m de altitud.

El 95 % de los individuos de esta población están comprendidos entre juveniles I y II, merece mención el hecho de que la mayor parte de los adultos de este sitio son aquellos que están iniciando su etapa reproductiva. La predominancia de árboles que se encuentran dentro de los últimos cuatro estadios indica una tendencia hacia la senescencia. De acuerdo con Martínez R. y Álvarez B. (1995) esta población presenta, en coincidencia con el efecto de los incendios, una estructura de tipo II, es decir, es el resultado de fuertes limitantes ambientales para el establecimiento y sobrevivencia de individuos pequeños. Sin embargo, debemos recordar que este año varios individuos produjeron semillas por lo que resultará importante observar el establecimiento de las nuevas plántulas. En contraparte, Oliver y Larson (1996) anotan que un fuerte disturbio puede tener un efecto rejuvenecedor en el bosque, especialmente si coincide con un año semillero.

Sitio dos

La estructura de tamaños del sitio dos presenta algunos cambios en relación a la del sitio uno, así, todas las categorías ya se encuentran representadas, sin embargo, el fuego logró afectar a los dos primeros estadios (Figura 3).

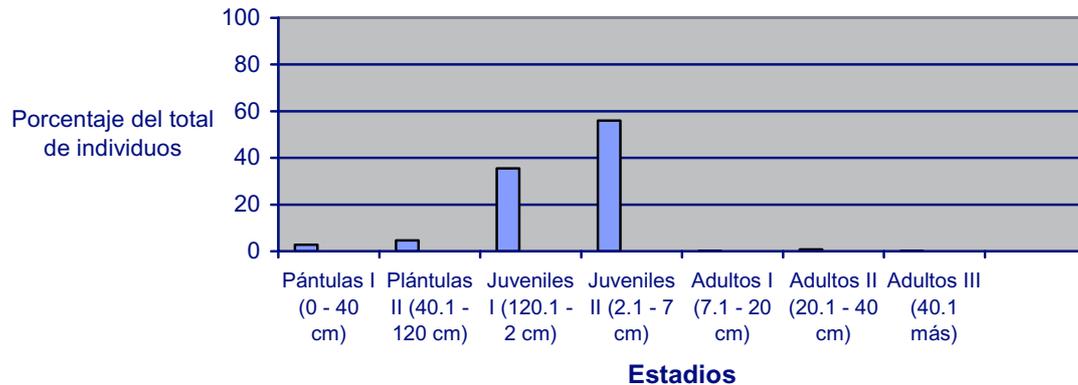


Figura 3. Estructura de tamaños del sitio 2 hacia los 2900 m de altitud.

Se puede observar que las categorías juveniles I y II representan el 91.46 % de esta población; mientras que plántulas I y I representan tan sólo el 7.45%. Los tres estadios de adultos se encuentran pobremente representados, con el 1.05 % de la población. Se debe agregar que en este sitio se presentó la más baja fecundidad de los tres estudiados. Aunado a lo anterior, en el segundo año de observación murieron, por derribo, cinco árboles comprendidos en el estadio de adultos II, aquellos que se encuentran en su etapa reproductiva más importante, lo que podría afectar el reclutamiento de individuos nuevos. Si bien todos los estadios están representados en este sitio no parece lógico pensar, como proponen Barbour *et al* (1987), que la presencia *per se* de los siete estadios de *A. hickelii* garantice su perpetuación, ya que como se mencionó, la proporción de adultos y plántulas es muy pequeña. Hecho que se ve confirmado, como se verá más adelante, con los análisis de matrices llevados a cabo.

Sitio tres

Este sitio se localizó hacia los 3130 m de altitud en la parte más abrupta del gradiente altitudinal y presentó la mejor estructura de las tres poblaciones estudiadas (Figura 4).

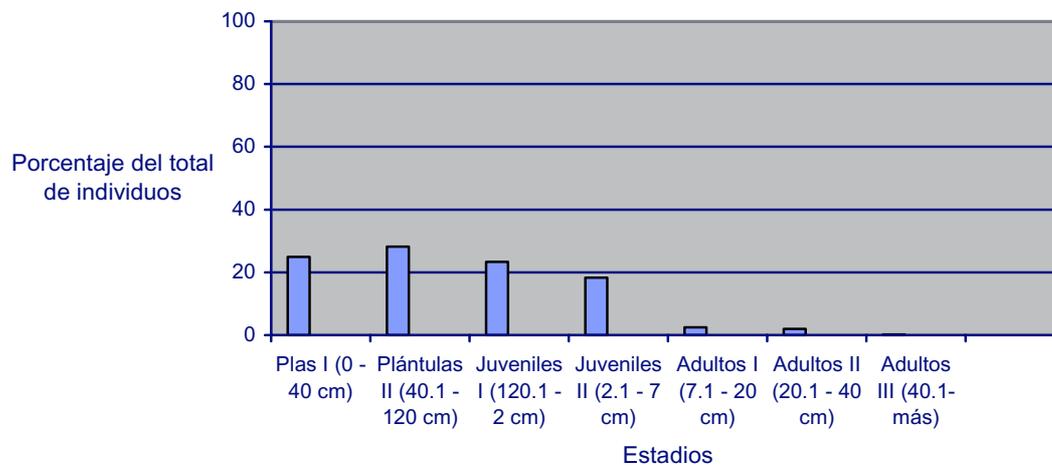


Figura 4. Estructura de tamaños del sitio 3 hacia los 3130 de altitud.

En este caso el efecto de los incendios fue nulo, de tal manera que los estadios comprendidos entre plántulas I a juveniles II representan el 94.74 % de la población; los tres estadios de adultos el 4.6 %. La estructura de esta población puede ajustarse un poco más a la que proponen Barbour *et al* (1987) para la perpetuación de la población. De acuerdo con Martínez R y Álvarez B. (1995) esta estructura se ajusta a la de tipo I, es decir, aquella en donde disminuye la frecuencia de los individuos al aumentar el tamaño. Lo anterior coincide también con el hecho de que la tasa de mortalidad de *A. hickelii* en este sitio disminuye proporcionalmente con el aumento del tamaño (Martínez R. y Álvarez B., 1995), de tal manera que no se encontraron individuos adultos muertos durante el segundo año de estudio. Como en el caso anterior, esto se reflejó fielmente en los valores de ζ que se obtuvieron para el modelo poblacional de este sitio.

Estructura general

Al conjuntar los datos de los tres sitios la estructura del bosque aparece diferente, todos los estadios se encuentran representados, la mayor proporción la ocupan los juveniles I y II que en conjunto representan el 75.4 % de la población, las plántulas, en sus dos categorías representan el 21.85 %, esto se debe al efecto que sobre ellas tuvieron los incendios ya comentados. Los adultos representan tan sólo el 2.72 % de la población, a pesar de ello, la contribución de estos individuos al mantenimiento de la población es fundamental, vía la

producción de semilla. En la Figura 5 se presenta gráficamente la estructura general del bosque.



Figura 5. Estructura general de tamaños del bosque de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz.

En general, a lo largo del gradiente altitudinal que cubre el bosque todos los estadios se encuentran representados, de acuerdo con lo anterior, el bosque presenta una estructura de tipo I, es decir, existe una disminución de la frecuencia de individuos con el aumento del tamaño (Martínez R. y Álvarez B., 1995); de acuerdo con Barbour *et al* (1987), esta estructura aseguraría la permanencia de la población en el futuro, aparentemente el valor de ζ obtenido con el modelo poblacional así lo indicaría, sin embargo, como se discutirá en la sección correspondiente, esto debe tomarse con mucho cuidado.

Tasa de mortalidad

La tasa de mortalidad se calculó para cada uno de los estadios con base en el número de individuos muertos en ese estadio dividido entre el número de individuos vivos al inicio de ese mismo estadio (Stiling, 1999); las tablas con los resultados por cada sitio pueden verse en el capítulo dedicado al modelo poblacional.

La tasa de mortalidad de los diferentes estadios varió en cada uno de los sitios (Figura 6)

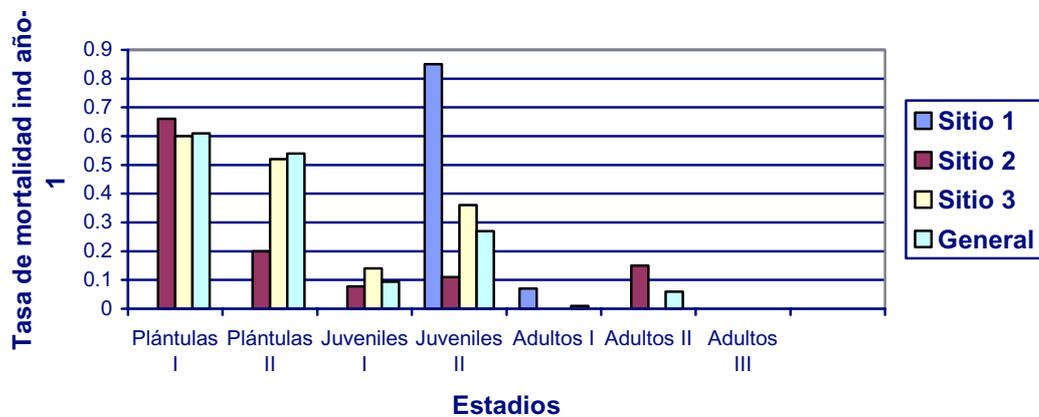


Figura 6. Mortalidad en los diferentes estadios del ciclo biológico de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz.

Las tasas de mortalidad encontradas, junto con las observaciones llevadas a cabo en los tres sitios sugieren lo siguiente:

- 1) La mayor tasa de mortalidad en plántulas se presentó en el sitio tres y en el bosque en general. Lo anterior sugiere que, como en caso de otras especies arbóreas (Durán y Franco, 1995), el período crítico de mortalidad se presenta en los estadios de plántulas a juveniles.
- 2) La mayor mortalidad de adultos se presentó en los sitios uno y dos, ello puede estar asociado con la accesibilidad de estos sitios para extraer árboles adultos, especialmente aquellos comprendidos entre 15 a 45 cm de DAP. Mientras tanto, la mortalidad de adultos fue nula en el sitio tres, lo que aparentemente tiene que ver con lo inaccesible del área.
- 3) Si bien en apariencia el sitio uno es el que menos mortalidad de plántulas presenta, no debe olvidarse que esta no se evaluó en el momento de los incendios de 1998.

Modelo poblacional

El modelo poblacional que se obtuvo para *A. hickelii* se basó en estadios de tamaño, las razones para ello fueron:

- 1) Los estadios de tamaño reflejan en muchos casos de mejor manera el desarrollo de las especies en respuesta a los factores ambientales que las rodean, de tal manera que, el

tamaño puede ser mucho más informativo desde el punto de vista ecológico que la edad (Enright y Ogden, 1979). A su vez, si las tasas vitales de una especie dependen del tamaño y el crecimiento es lo suficientemente plástico como para que individuos de la misma edad presenten diferente tamaño, la edad proveerá muy poca información acerca del destino de un individuo; caso que es muy posible que pase en *A. hickelii*.

- 2) La división del ciclo de vida en estadios de desarrollo puede dar una idea mucho más clara del futuro de la población que la división de la misma en edades verdaderas (Enright y Ogden, 1979).

En demografía, la construcción de modelos es importante para entender tanto la dinámica como la estructura de las poblaciones (Caswell, 1989), los modelos matriciales en especial permiten llevar a cabo este propósito con particular precisión.

Los datos obtenidos se analizaron sitio por sitio, tratando a cada uno de ellos como una población individual, del mismo modo, todos los datos se conjuntaron y se obtuvo un modelo poblacional general para el bosque. Las razones de lo anterior obedecen a que el gradiente altitudinal que cubre el bosque coincide con un gradiente de uso, que guarda una relación inversamente proporcional con la altitud, es decir a menor altitud mayor perturbación y viceversa.

Sitio uno

Los siguientes cuadros presentan los datos que definieron la matriz para el sitio uno.

Cuadro 4. Tabla de vida usada para definir la matriz de transición del sitio uno

ESTADIO	Nº de ind. ha ⁻¹ año 1	Nº de ind. ha ⁻¹ año 2	Nº de ind. muertos	Nº de ind. que transitan	Nº de ind. que permanece	Prob. de permanecer	Prob. de transitar	Prob de morir
Plántulas I	0	0	0	0	0	0	0	0
Plántulas II	0	0	0	0	0	0	0	0
Juveniles I	200	200	0	0	200	1.0	0.0	0.0
Juveniles II	2800	400	2400	0	400	0.14	0.0	0.85
Adultos I	130	120	10	0	120	0.92	0.0	0.07
Adultos II	20	20	0	0	20	1.00	0.0	0.0
Adulto III	5	5	0	0	5	1.00	0.0	0.0

La primera columna de la tabla define el estado inicial de la población para calcular la matriz de transición, cuya forma es la siguiente.

$$\begin{array}{l}
 \text{PI I} \\
 \text{PI II} \\
 \text{Juv. I} \\
 \text{Juv. II} \\
 \text{Ad. I} \\
 \text{Ad. II} \\
 \text{Ad. III}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & 7924.6 & 88609.1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1.0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0.14 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0.92 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.00 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0
 \end{bmatrix}
 \begin{array}{c}
 \\
 \\
 \\
 \text{X} \\
 \\
 \\
 \\
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 0 \\
 0 \\
 200 \\
 2800 \\
 130 \\
 20 \\
 5
 \end{bmatrix}$$

Figura 7. Matriz de transición del sitio uno.

Para este sitio, los valores generados por RAMAS/stage indican un valor de crecimiento de la población (ζ) de cero, es decir, la población irremediamente tendería a la extinción. Lo anterior se debe fundamentalmente a que no se encuentran plántulas, los juveniles también se encuentran pobremente representados, aunque constituyen cerca del 90 % de esta población; aunado a lo anterior, existen pocos adultos y su fecundidad es muy baja.

Sitio dos

Del mismo modo, el siguiente cuadro presenta la tabla de vida para los individuos de *A. hickelii* encontrados en el sitio dos.

Cuadro 5. Tabla de vida usada para definir la matriz de transición del sitio dos.

ESTADIO	N° de ind. ha ⁻¹ año 1	N° de ind. ha ⁻¹ año 2	N° de ind. muertos	N° de ind. que transitan	N° de ind. que permanece	Prob. de permanecer	Prob. de transitar	Prob. de morir
Plántulas I	600	200	400	200	0	0	0.33	0.66
Plántulas II	1000	800	200	0	800	0.80	0	0.20
Juveniles I	7600	7000	600	600	6400	0.84	0.078	0.078
Juveniles II	12000	10600	1400	0	10600	0.88	0	0.11
Adultos I	25	25	0	0	25	1.00	0	0
Adultos II	165	140	25	0	140	0.84	0	0.15
Adultos III	40	40	0	0	40	1.00	0	0

La matriz resultante de este conjunto de datos se presenta a continuación, como en el caso anterior, la primera columna constituye el vector inicial de la población.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccccc}
 & \text{Pl. I} & \text{Pl. II} & \text{Juv. I} & \text{Juv. II} & \text{Ad. I} & \text{Ad. II} & \text{Ad. III} \\
 \text{Pl. I} & \left[\begin{array}{ccccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4444 & 44440 \\
 0.33 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0.84 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0.88 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1.00 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.84 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{array} \right] & \text{X} & \left[\begin{array}{c}
 600 \\
 1000 \\
 7600 \\
 12000 \\
 25 \\
 165 \\
 40
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}$$

Figura 8. Matriz de transición del sitio dos.

El valor de ζ obtenido para este sitio es de 0.80, ello significa que la tasa finita de incremento de la población no es suficiente para reemplazarla, fundamentalmente debido al efecto combinado de los incendios y las cortas que se llevan a cabo, además, afecta la pobre representación de plántulas, la alta mortalidad que se presenta en plántulas uno y la ausencia de reproducción en el estadio de adultos I; sin embargo, es interesante notar la alta cantidad de juveniles, hecho que en el futuro podría permitir la recuperación de estos rodales, si se toman las medidas pertinentes.

Sitio tres

El sitio tres, como se mencionó anteriormente, fue el que mejores características presentó, ello se debe a lo difícil de su acceso. En el Cuadro 6 se presenta la tabla de vida de donde se obtuvieron los datos para la matriz de transición para este sitio.

Cuadro 6. Tabla de vida usada para definir la matriz de transición del sitio tres.

ESTADIO	N° de ind. ha ⁻¹ año 1	N° de ind. ha ⁻¹ año 2	N° de ind. muertos	N° de ind. que transitan	N° de ind. que permanece	Prob. de permanecer	Prob. de transitar	Prob. de morir
Plántulas I	3000	1200	1800	400	800	0.26	0.13	0.60
Plántulas II	3400	1200	2200	200	1000	0.29	0.058	0.64
Juveniles I	2800	2400	400	200	2200	0.78	0.07	0.14
Juveniles II	2200	1400	800	200	1200	0.54	0.09	0.36
Adultos I	355	355	0	0	355	1.00	0	0
Adultos II	235	235	0	0	235	1.00	0	0

Adultos III	25	25	0	0	25	1.00	0	0
-------------	----	----	---	---	----	------	---	---

La matriz resultante de este conjunto de datos se presenta a continuación.

	Pl. I	Pl. II	Juv. I	Juv. II	Ad. I	Ad. II	Ad. III		
Pl. I	0.26				2424	30300	70296	X	
Pl. II	0.13	0.29							3000
Juv. I	0	0.058	0.78						3400
Juv. II	0	0	0.07	0.54					2800
Ad. I	0	0	0	0.09	1.0				2200
Ad. II	0	0	0	0	0	1.0			355
Ad. III	0	0	0	0	0	0	1.0		235
								25	

Figura 9. Matriz de transición del sitio tres.

El valor resultante de ζ para este sitio fue de 1.29, es decir, la población está creciendo a un buen ritmo, de hecho, es uno de los valores más altos encontrados al revisar varios trabajos.

Modelo general

Al conjuntar los datos de los tres sitios estudiados el modelo poblacional presenta un valor de $\zeta = 1.17$, es decir, la población está creciendo, sin embargo, este valor está compensado por las buenas características del sitio tres que contrastan fuertemente con las de los sitios uno y dos (ver anexo fotográfico).

En el Cuadro 7 se presenta la tabla general de vida para el bosque de *A. hickelii*.

Cuadro 7. Tabla de vida usada para definir la matriz de transición general del bosque estudiado.

ESTADIO	N° de ind. ha ⁻¹ año 1	N° de ind. ha ⁻¹ año 2	N° de ind. muertos	N° de ind. que transitan	N° de ind. que permanece	Prob. de permanecer	Prob. de transitar	Prob. de morir
Plántulas I	3600	1400	2200	600	800	0.22	0.16	0.61
Plántulas II	4400	2000	2400	200	1800	0.41	0.045	0.54
Juveniles I	10600	9600	1000	800	8800	0.83	0.075	0.094
Juveniles II	17000	12400	4600	200	12200	0.71	0.011	0.27
Adultos I	510	505	5	0	505	0.99	0	0.01
Adultos II	420	395	25	0	395	0.94	0	0.059

Adultos III	70	70	0	0	70	1.00	0	0
-------------	----	----	---	---	----	------	---	---

A partir de los datos anteriores, se obtuvo la siguiente matriz de transición.

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{l} \text{Pl. I} \\ \text{Pl. II} \\ \text{Juv. I} \\ \text{Juv. II} \\ \text{Ad. I} \\ \text{Ad. II} \\ \text{Ad. III} \end{array}
 \begin{bmatrix}
 \text{Pl. I} & \text{Pl. II} & \text{Juv. I} & \text{Juv. II} & \text{Ad. I} & \text{Ad. II} & \text{Ad. III} \\
 0.22 & 0 & 0 & 0 & 3449.5 & 41117.7 & 67768.3 \\
 0.16 & 0.41 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0.045 & 0.83 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0.075 & 0.71 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0.011 & 0.99 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.94 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0
 \end{bmatrix}
 \times
 \begin{bmatrix}
 3600 \\
 4400 \\
 10600 \\
 17000 \\
 510 \\
 420 \\
 70
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Figura 10. Matriz de transición general del bosque de *Abies hickelii*.

Sensibilidades y elasticidades

Los resultados obtenidos por el programa RAMAS/stage se sintetizan en los análisis de sensibilidad y elasticidad, aun cuando se generan diversos tipos de gráficos, estos análisis permiten establecer algunas recomendaciones de cosecha y a su vez posibilitan el conocer cuál de los estadios es el más sensible a cambios en la población. En términos sencillos, las sensibilidades miden la respuesta de la población a las perturbaciones en cualquiera de los estadios; un valor grande indica que el estadio del que se trate es sensible a las perturbaciones, de tal manera que afectará el crecimiento de la población (Ferson, 1994). Del mismo modo, las elasticidades son una medida de la contribución de cada elemento de la matriz a lambda, estos valores son sensibilidades proporcionales e indican qué tanto el crecimiento de una población está determinado por cierto estadio (Ferson, 1994).

En nuestro caso se presentan sólo los análisis para el sitio tres y el general, ya que el programa no reporto estos valores para los dos primeros sitios.

Cuadro 8. Valores de sensibilidad para el sitio tres del bosque de *Abies hickelii*.

ESTADIO	Plántulas I	Plántulas II	Juveniles I	Juveniles II	Adultos I	Adultos II	Adultos III
Plántulas I	0.1115	0.0144	0.0016	0.00015	0.00005	0	0
Plántulas II	0.884	0.1148	0.0130	0.0012	0.0003	0	0
Juveniles I	15.2651	1.982	0.2250	0.0209	0.0064	0	0
Juveniles II	111.4122	14.470	1.6428	0.1531	0.0473	0	0

Adultos I	929.540	120.732	13.706	1.277	0.3953	0	0
Adultos II	11619.25	1509.15	171.329	15.971	4.9415	0	0
Adultos III	25956.67	3501.23	397.483	37.054	11.464	0	0

Cuadro 9. Valores de elasticidad para el sitio tres del bosque de *A. hickelii*.

ESTADIO	Plántulas I	Plántulas II	Juveniles I	Juveniles II	Adultos I	Adultos II	Adultos III
Plántulas I	0.02247	0	0	0	0.08908	0	0
Plántulas II	0.08908	0.02581	0	0	0	0	0
Juveniles I	0	0.08908	0.1361	0	0	0	0
Juveniles II	0	0	0.08908	0.06406	0	0	0
Adultos I	0	0	0	0.08908	0.30624	0	0
Adultos II	0	0	0	0	0	0	0
Adultos III	0	0	0	0	0	0	0

Como puede observarse en los análisis de sensibilidad, los estadios más sensibles a cambios en la población son los de juveniles II y adultos, esto significa que la el bosque se verá sumamente afectado cuando se cosechen individuos de estas categorías, en el caso de los adultos debemos recordar, como se mencionó anteriormente que la cosecha se concentra en los individuos de 15 a 45 cm de DAP, es decir, aquellos en plena etapa reproductiva. Con base en el valor de ζ obtenido para esta población (1.29), si se aplica la formula $C = 100 \zeta^{-1}/\zeta$, la población podría soportar una cosecha del 22.4 % y mantener una distribución estable de tamaños.

Para el modelo general del bosque los valores de sensibilidad y elasticidad se presentan en los Cuadros 10 y 11, como puede observarse, los valores cambian por efecto de las fuertes perturbaciones que han sufrido los sitios uno y dos.

Cuadro 10. Valores de sensibilidad para el modelo general del bosque de *A. hickelii*.

ESTADIO	Plántulas I	Plántulas II	Juveniles I	Juveniles II	Adultos I	Adultos II	Adultos III
Plántulas I	0.0808	0.01701	0.0022	0.0003	0.00002	0	0
Plántulas II	0.4804	0.1010	0.0133	0.0021	0.00013	0	0
Juveniles I	8.1199	1.7080	0.2256	0.0367	0.0022	0	0
Juveniles II	36.878	7.7573	1.024	0.1668	0.0101	0	0
Adultos I	1544.222	324.83	42.914	6.987	0.425	0	0

Adultos II	14416.19	3032.521	400.634	65.233	3.972	0	0
Adultos III	32115.63	6755.69	892.513	145.323	8.850	0	0

Cuadro 11. Valores de elasticidad para el modelo general del bosque de *Abies hickelii*.

ESTADIO	Plántulas I	Plántulas II	Juveniles I	Juveniles II	Adultos I	Adultos II	Adultos III
Plántulas I	0.0152	0	0	0	0.0656	0	0
Plántulas II	0.0656	0.0353	0	0	0	0	0
Juveniles I	0	0.0656	0.16	0	0	0	0
Juveniles II	0	0	0.0656	0.1012	0	0	0
Adultos I	0	0	0	0.0656	0.359	0	0
Adultos II	0	0	0	0	0	0	0
Adultos III	0	0	0	0	0	0	0

Como en el caso del sitio tres, podemos observar que las mayores sensibilidades se encuentran entre juveniles II y los adultos, especialmente adultos III, la cosecha excesiva de estos individuos afectará la capacidad de crecimiento y recuperación del bosque ya que en esta etapa se presentan los mayores valores de fecundidad. De acuerdo con el valor de ζ obtenido (1.17) y al aplicar la fórmula antes mencionada, se puede cosechar el 14.5 % sin afectar negativamente a la población, sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos para los dos primeros sitios y bajo la idea de que existe una compensación en el valor de λ debido al buen estado que presenta el sitio tres; lo anterior nos lleva a pensar que es importante observar la situación que guarda el bosque a lo largo del gradiente que cubre, ya que la forma como se está llevando a cabo el aprovechamiento actualmente podría resultar en la creación de “islas” de bosque que al menos deben conservar una estructura y tasa intrínseca de crecimiento como la del sitio tres o la general del bosque. Lo más razonable parece ser emprender algunas acciones de recuperación y conservación del bosque, para tal efecto se propone lo siguiente.

Lineamientos de manejo

De acuerdo con Oliver y Larson (1996) el manejo forestal ideal es el que se da para “bosques regulares”, es decir, aquellos en donde los árboles tienen más o menos la misma edad o tamaño, sin embargo los bosques regulares no existen debido a diferentes circunstancias, guerras, perturbaciones, crisis económicas, que más bien han dado origen a

bosques irregulares. En el caso del bosque de *Abies hickelii* debemos recordar que, aunque cada sitio se trató como una población diferente, el bosque forma o formaba un continuo, que va desde los 2700 a los 3200 o 3600 m de altitud, dependiendo de la barranca en la que uno se encuentre. Aunque los siguientes lineamientos deben aplicarse para todo el bosque:

- 1) Mantener claros dentro del bosque con el fin de asegurar el establecimiento de la repoblación del mismo, ya que si el bosque llega a formar penumbra será imposible su establecimiento. En áreas densas se pueden llevar a cabo cortas de aclareo, para liberar a los mejores individuos (Liocurt, 1989).
- 2) La parte que se usa actualmente para extraer pertenece al Parque Nacional Pico de Orizaba, por lo que una de las mejores maneras de conservarlo es capacitando a los campesinos para el uso del área como Parque y cedérselos para tal propósito.
- 3) Dos acciones parecen también fundamentales ante el avance de la destrucción del bosque: por un lado, el establecimiento de plantaciones de recuperación y por el otro el establecimiento de plantaciones de arbolitos de navidad, estos pueden funcionar como una fuente extra de ingreso, un factor de cohesión dentro de la comunidad y, aunque parezca contradictorio, una buena forma de conservar el bosque en las barrancas del Parque Nacional, ya que no existe otra fuente local de semilla. Lo anterior conlleva otras acciones complementarias, pero fundamentales para el éxito de lo propuesto: el involucramiento de las comunidades locales y la capacitación de los campesinos para el trabajo comunitario; capacitación para la colecta y tratamiento adecuado de la semilla de *Abies hickelii*. Capacitación para el establecimiento y mantenimiento de viveros comunitarios.
- 4) Dos actividades fundamentales para la sobrevivencia de los campesinos del área están afectando al bosque, la agricultura y la ganadería, por tal motivo, se propone lo siguiente: el establecimiento de sistemas agroforestales que posibiliten la diversificación de la producción y de los ingresos; junto con ello, es importante encontrar los puntos críticos en los factores productivos del sistema agrícola, es decir, presencia de plagas, enfermedades, problemas de comercialización, etc. Por otro lado, en cuanto a la ganadería, el mayor efecto lo ejercen el ganado ovino y caprino, no tanto por el número de productores que tienen ganado, sino por el número de cabezas que tiene cada uno de ellos, se tienen datos de algunas áreas usadas como agostadero, sin

embargo, es necesario extender los estudios (de condición y tendencia) a otras zonas usadas para este propósito; del mismo modo, deben estudiarse también las características y formas de manutención de los animales, ya que el objetivo debe ser obtener animales de mayor calidad y no una mayor cantidad de ellos. En este sentido, también será necesaria la capacitación para los campesinos.

- 5) Es importante retomar el punto del involucramiento de las comunidades locales, este debe darse propiciando la participación de los campesinos en el proceso de toma de decisiones respecto al destino de sus recursos naturales o las modificaciones que se pretendan llevar a cabo, esto se puede lograr por medio de la investigación participativa o de la apreciación rural participativa (Tuxill y Nabhan, 1999), de tal manera que los productores se sientan responsables de las decisiones futuras respecto al uso sustentable de sus recursos naturales.
- 6) El uso sustentable de los recursos naturales requiere la participación de todos los miembros de una comunidad, por ello, resulta fundamental estimular la participación de la mujer en el proceso de la toma de decisiones.
- 7) Finalmente, es importante pensar no sólo en el manejo del bosque, sino en el manejo del ecosistema y en este sentido, dada la evolución que localmente ha tenido uso del mismo, necesariamente debe involucrarse el estudio y manejo de todo el sistema, es decir, la agricultura, la ganadería, las actividades menores como elaboración de quesos, venta de leche, colecta de hongos y plantas medicinales, así como la venta de fuerza de trabajo fuera y dentro de la comunidad.
- 8) Los resultados obtenidos, incluidos los del presente trabajo, deben ser presentados ante los miembros de la comunidad.

Indicadores de sustentabilidad

Un indicador de sustentabilidad describe un proceso específico o de control y son particulares de los procesos de los que forman parte (Masera *et al*, 1999). Acorde con el propósito de contribuir al uso sustentable del bosque de *Abies hickelii* y sus recursos asociados, se proponen los siguientes indicadores de sustentabilidad para esta zona:

- 1) Mantener una $\zeta = 1.17$ para el bosque de *A. hickelii*.
- 2) Observar el nivel de erosión en la zona.
- 3) Evaluar la tasa de deforestación.

- 4) Diversificar los cultivos y el uso del bosque.
- 5) Evaluar rendimientos.
- 6) Evaluar el nivel económico de los productores.
- 7) Incentivar la participación de la mujer.

Conclusiones

A partir de lo encontrado se pueden derivar las siguientes conclusiones:

- 1) *Abies hickelii* no forma banco de semillas.
- 2) La repoblación del bosque presenta mejores características en los sitios más abruptos y protegidos.
- 3) La mayor densidad de árboles adultos se encuentra en los sitios más protegidos.
- 4) El ciclo biológico de *A. hickelii* se divide en siete etapas: plántulas I y II; juveniles I y II y adultos I, II y III.
- 5) La fecundidad de *A. hickelii* es muy variable y aparentemente no guarda relación con el tamaño del árbol.
- 6) La mortalidad en el bosque disminuye al aumentar el tamaño del árbol.
- 7) El aprovechamiento actual del bosque puede derivar en la creación de islas de esta población.
- 8) La tasa intrínseca de crecimiento de la población es buena, sin embargo, por sitio o por rodal puede tender a la extinción de la especie, bajo las formas actuales de manejo.
- 9) Mantener claros en el bosque es importante para asegurar un buen establecimiento de la repoblación.
- 10) Dos aspectos son fundamentales para la conservación y manejo del ecosistema: estimular la participación campesina y capacitar a los productores para el manejo y administración comunitaria de los recursos naturales de esta zona del Pico de Orizaba.
- 11) Manejar los recursos como un sistema.

Literatura citada

- Álvarez – B, E. y R. García – B. 1991. Seed and forest dynamics: a theoretical framework and an example from the neotropics. *The American Naturalist* 137 (2): 133 – 154.
- Avila B, C. H. 1987. Distribución, ecología y usos de *Abies hickelii* Flous et Gausson en Veracruz. Informe técnico final. INIFAP – CIRGOC. Córdoba, Veracruz. México. 85 p.

- Ávila B, C. H.; J. R. Aguirre R y E. García M 1994. Variación estructural del bosque de oyamel (*Abies hickelii* Flous et Gausson) en relación con factores ambientales en el Pico de Orizaba, México. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 3(1): 5 – 17
- Ávila B, C. H y B. Ruiz A. 1995. Condición y tendencia de los agostaderos forestales en el Pico de Orizaba, Veracruz. INIFAP – CIRGOC. Memoria científica núm. 8 p.p. 17 – 27.
- Bello G, M A. 1988. Consideraciones metodológicas para estudios fenológicos en bosques templados de coníferas. *Ciencia Forestal* 13(64): 89 – 109.
- Barbour, M. G; J. H. Birk y W. D. Pitts. 1987. *Terrestrial plant ecology*. Second edition. Benjamin Cummings. California, USA. 634 p.
- Caswell, H. 1989. *Matrix population models: construction, analysis and interpretation*. Sinauer. Sunderland, Massachusetts, USA
- Cisneros S, V. M 1981. Estudio para la caracterización del marco geográfico regional de la zona centro del Edo. de Veracruz. Centro Regional Universitario Oriente. UACH. Huatusco, Veracruz. 22 p.
- Clutter, L. J *et al.* 1983. *Timber management. A quantitative approach*. Wiley, Nueva York, USA. 333 p.
- Chacón S, J. M y J. Sánchez C. 1986. Dinámica del establecimiento de la regeneración de *Pinus arizonica* Engelm. , en Madera, Chihuahua. *Ciencia Forestal* 11(59): 15 – 42.
- Domínguez A, F. A. 1986. Estudio ecológico de *Pseudotsiga menziesii* (Mirb.) Franco, en la región de Huayacocotla, Ver. Tesis profesional. Ciencias Forestales. Univ. Autón. Chapingo. Chapingo, México. 266 p.
- Durán, R y M. Franco B. 1995. La contribución de la ecología de poblaciones: el caso de *Pseudophoenix sargentii* Wendl. Ex Sarg. En la Península de Yucatán. En: E. Linares, P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T. Elias (edits.). *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. UNAM – Inst. de Biol. P.p. 77 – 86.
- Enright, N y J. Ogden. 1979. Application of transition matrix in forest dynamics: *Araucaria* in Papua New Guinea and *Notofagus* in New Zealand. *J. Ecol.* 4: 3 – 23.
- Ferson, S. 1994. RAMAS/stage. Generalized stage-based modeling for population dynamics. *Applied biomathematics*. Setauket, Nueva York, USA. 107 p.

- Franco B, M y J. Sarukhán K. 1979. Un modelo de simulación de la productividad forestal de un bosque de pino. Premio Nacional Forestal. S. F y F – SARH. 71 p.
- Franco B, M 1990. Ecología de poblaciones. Ciencias. Núm. Especial 4: 4- 9.
- Greene, D. F. 1994. Estimating the mean annual seed production of trees. *Ecology* 75 (3): 42 – 47.
- Harper, J. L y J. White. 1974. The demography of plants. *Ann. Rev Ecol Syst.* 5: 419 – 463.
- Hutchings, M. J. 1986. Plant population biology. En: P. D. Moore y S. B. Chapman (edit.) *Methods in plant ecology.* Blackwell Scientific Publications. London. P. p. 377 – 435.
- Jardel P. E. J. 1985. Una revisión crítica del método mexicano de ordenación de bosques desde el punto de vista de la ecología de poblaciones. *Ciencia forestal* 10(58): 3 – 16
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Krebs, C. J. 1985. Ecología, estudio de la distribución y la abundancia. Harla. México, D.F. 622 p.
- Lesli, P. H. 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika* 33(3): 183 – 212.
- Liocurt de, F. 1989. Manejo de abetales. *Ciencia forestal* 66(14): 15 – 30.
- Manly, F. J. B. 1990. Stage – structured populations. *Sampling, analysis and simulation.* Chapman and Hall. London. 187 p.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 410 p.
- Masera, O.; M. Astier y S. López-R. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. Mundi prensa – Gira – Instituto de Ecología – UNAM. México, D. F. 109 p.
- Mendoza B., M. 1993. Conceptos básicos de manejo forestal. UTEHA. México, D.F. 161 p.
- Molina M., C.; E. García M.; J. R. Aguirre R. Y F. V. González C. 1991. La reserva de semillas de un pastizal de *Bouteloua gracilis*. *Agrociencia. Recursos Naturales Renovables* 1(3): 93 – 103.
- Mueller – Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology.* John Wiley and Sons. Nueva York. USA. 547 p.

- Narave F., H. 1985. La vegetación de Perote, Veracruz, México. *Biótica* 10(1): 35 – 64.
- Negreros, P. y L Snook. 1984. Análisis del efecto de la intensidad de corta sobre la regeneración natural en un bosque de pino – encino. *Ciencia forestal* 9(47): 48 – 61.
- Oliver, Ch. D. y B. Larson. 1996. *Forest stand dynamics*. Update edition. Wiley & Sons. Nueva York. USA. 520 p.
- Ramírez G., J. A. y F. Nepamuceno M. 1986. Fenología de tres especies de coníferas en la región de los altos de Chiapas. *Ciencia Forestal* 11(60): 21 – 50.
- Romero M., A.; E. García M. Y T. Saito. 1991. Respuesta de *Dalea bicolor* (Leguminosae) al ramoneo. *Agrociencia. Recursos Naturales Renovables* 1(1): 73 – 91.
- Sarukhán K., J. 1979. Mecanismos de regulación de poblaciones vegetales. En: J. Rabinovich y G. Halfter (edits.). *Tópicos de ecología contemporánea*. Fondo de cultura económica. México, D.F. p. p. 13 – 36.
- Silvertown, J. 1987. *Introduction to plant population ecology*. Longman. Essex, England. 229 p.
- Steel, R. G. D. Y J. H. Torrie. 1985. *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw Hill. México, D. F. 622 p.
- Stiling, P. 1999. *Ecology. Theories and applications*. Third edition. Prentice Hall. Nueva Jersey. USA. 638 p.
- Swokowski, E. W. 1986. *Matrices y determinantes*. Grupo editorial Iberoamérica. México, D. F. 32 p.
- Tamayo, J. L. 1984. *Geografía moderna de México*. 9^a ed. Trillas, México, D. F. 400 p.
- Tello B., J. J. ; E. García M. Y R. Reyna R. Atributos poblacionales del maguey mezcalero (*Agave salmiana* Otto ex Salm ssp. *Crassipina* (Trel.) Gentry): efecto del manejo y las condiciones ambientales en su dinámica. *Agrociencia. Recursos Naturales Renovables* 1(2): 37 – 56.
- Tuxill, J. y G. P. Nabhan. 1999. *Plants and protected areas. A guide to insitu management*. Stanley Thornes Ltd. WWF. UNESCO. Royal Botanic Gardens Kew. Cheltenham, Reino Unido. 248 p.
- Usher, M. B. 1969. A matrix model for forest management. *Biometrics* 25(2). 309 – 315.

ANEXO I

En los siguientes cuadros se puede observar el tránsito de individuos en los tres sitios permanentes marcados para tal efecto. Debe señalarse que los estadios denominados plántulas, hasta juveniles I fueron medidos por medio de altura, el resto de los estadios se midió en diámetro a la altura del pecho (DAP), es decir a 1.30 m de altura del suelo por la parte alta de la pendiente.

Características de los individuos marcados y censados en el sitio 1, hacia los 2860 m de altitud sobre el nivel del mar.

N° de individuo	Estadio	Diámetro o altura/ año 1	Diámetro o altura/ año 2	Estadio
1	Adulto I	13.1	13.8	Adulto I
2	Adulto I	10.1	10.3	Adulto I
3	Adulto I	14.2	14.5	Adulto I
4	Adulto I	12.6	13.1	Adulto I
5	Adulto I	16.1	16.7	Adulto I
6	Adulto I	10.1	10.8	Adulto I
7	Adulto I	13.6	14.0	Adulto I
8	Adulto I	11.7	12.2	Adulto I
9	Adulto I	10.5	10.9	Adulto I
10	Adulto I	10.2	10.5	Adulto I
11	Adulto I	16.0	16.4	Adulto I
12	Adulto I	13.8	14.2	Adulto I
13	Adulto I	16.9	17.2	Adulto I
14	Adulto I	10.7	11.2	Adulto I
15	Adulto I	10.1	10.4	Adulto I
16	Juvenil II	5.5	5.9	
17	Juvenil II	4.2	4.2	
18	Juvenil I	1.2	1.6	
19	Adulto I	9.5	9.9	Adulto I

20	Adulto I	7.7	7.8	Adulto I
21	Juvenil II	5.0	Muerto	
22	Juvenil II	5.7	Muerto	
23	Juvenil II	3.9	Muerto	
24	Juvenil II	5.7	Muerto	
25	Juvenil II	5.4	Muerto	
26	Juvenil II	5.9	Muerto	
27	Adulto I	12.5	12.8	Adulto I
28	Adulto I	11.5	11.9	Adulto I
29	Adulto I	11.1	11.4	Adulto I
30	Adulto III	40.5	40.9	Adulto III
31	Adulto II	22.1	22.5	Adulto II
32	Adulto II	25.0	25.3	Adulto II
33	Adulto I	17.4	17.7	Adulto I
34	Adulto II	25.9	26.2	Adulto II
35	Adulto II	21.3	21.6	Adulto II
36	Adulto I	19.0	19.0	Adulto I
37	Adulto I	12.5	12.8	Adulto I
38	Adulto I	7.1	8.0	Adulto I
39	Juvenil II	6.3	Muerto	
40	Juvenil II	3.0	Muerto	
41	Adulto I	8.2	Muerto	
42	Juvenil II	3.0	Muerto	
43	Juvenil II	4.0	Muerto	
44	Juvenil II	7.0	Muerto	
45	Adulto I	7.7	7.8	Adulto I
46	Juvenil II	4.0	Muerto	
47	Adulto I	8.2	Muerto	

Características de los individuos marcados y censados en el sitio 2, hacia los 2900 m de altitud sobre el nivel del mar.

N° de individuo	Estadio	Diámetro o altura/ año 1	Diámetro o altura/ año 2	Estadio
1	Adulto II	39.0	Muerto	
2	Adulto II	30.1	Muerto	
3	Adulto II	31.9	Muerto	
4	Adulto II	34.2	Muerto	
5	Adulto II	31.8	32.1	Adulto II
6	Adulto II	25.6	26.6	Adulto II
7	Adulto II	36.8	Muerto	
8	Adulto III	90.4	96.4	Adulto III
9	Adulto III	81.0	81.6	Adulto III
10	Adulto II	25.1	25.3	Adulto II
11	Adulto II	28.3	30.2	Adulto II
12	Adulto II	24.6	24.8	Adulto II
13	Juvenil I	1.0	Muerto	
14	Juvenil II	2.5	3.0	
15	Juvenil II	2.1	2.3	
16	Plántulas I	40.0	53.0	
17	Juvenil II	2.5	Muerto	
18	Juvenil II	3.0	4.0	
19	Juvenil II	3.5	4.8	
20	Juvenil II	3.9	Muerto	
21	Plántulas II	100.0	98.0	
22	Plántulas II	100.0	120.0	
23	Juvenil I	1.1	1.0	
24	Juvenil II	2.1	6.2	
25	Juvenil II	3.0	3.3	
26	Juvenil I	120.0	136.0	

27	Juvenil II	3.5	2.8	
28	Juvenil II	2.3	3.0	
29	Juvenil II	2.4	4.7	
30	Juvenil II	2.5	3.0	
31	Juvenil I	1.6	2.0	
32	Juveniles II	4.3	4.7	
33	Juvenil I	150.0	130.0	
34	Juvenil II	5.9	6.2	
35	Juvenil I	1.0	4.0	Juvenil II
36	Juvenil II	5.9	6.6	
37	Juvenil II	4.3	3.7	
38	Juvenil II	5.8	6.2	
39	Juvenil II	4.5	4.8	
40	Juvenil II	3.0	3.8	
41	Juvenil I	2.0	2.2	Juvenil II
42	Juvenil II	2.2	2.5	
43	Juvenil II	4.2	3.5	Juvenil II
44	Juvenil II	2.8	6.1	Juvenil II
45	Juvenil I	2.0	Muerto	
46	Juvenil II	3.4	3.9	
47	Juvenil II	3.6	3.0	
48	Juvenil I	2.0	2.2	Juvenil II
49	Juvenil II	3.0	3.2	
50	Juvenil II	2.2	2.5	
51	Juvenil II	1.5	1.8	
52	Juvenil II	3.0	3.2	
53	Juvenil II	5.4	6.3	
54	Juvenil I	1.6	2.2	Juvenil II
55	Juvenil I	2.0	Muerto	
56	Juvenil II	3.0	3.3	

57	Juvenil II	3.0	3.3	
58	Juvenil I	1.9	2.0	
59	Juvenil II	3.0	3.0	
60	Juvenil II	4.9	5.4	
61	Juvenil II	3.0	3.2	
62	Juvenil II	5.2	5.7	
63	Juvenil II	3.0	3.0	
64	Juvenil II	5.0	5.5	
65	Juvenil II	5.0	5.5	
66	Juvenil II	2.0	2.0	
67	Juvenil II	3.5	4.8	
68	Juvenil II	4.0	5.6	
69	Juvenil I	1.0	1.5	
70	Juvenil II	3.0	4.0	
71	Juvenil II	4.0	5.0	
72	Adulto I	8.2	7.8	
73	Juvenil II	3.0	Muerto	
74	Juvenil II	2.5	Muerto	
75	Juvenil II	6.4	Muerto	
76	Juvenil II	3.0	Muerto	
77	Adultos II	43.0	43.5	
78	Adultos II	25.3	25.8	
79	Adultos II	28.0	28.0	
80	Adultos III	75.0	75.5	
81	Adultos II	31.0	31.3	
82	Adultos II	27.9	28.3	
83	Adultos II	31.2	31.6	
84	Adultos I	19.4	19.8	
85	Adultos II	39.5	39.8	
86	Adultos II	28.4	28.7	

87	Adultos II	37.3	37.5	
88	Adultos I	19.0	19.5	
89	Adultos II	32.0	32.4	
90	Adultos II	32.2	32.8	
91	Adultos II	21.0	21.3	
92	Adultos III	60.0	60.5	
93	Adultos III	80.7	80.7	
94	Adultos II	24.6	25.3	
95	Adultos II	27.3	27.3	
96	Adultos I	11.3	10.6	
97	Adultos II	22.0	22.3	
98	Adultos II	29.2	29.6	
99	Adultos III	61.0	61.0	
100	Adultos II	23.7	23.7	
101	Adultos II	36.3	36.9	
102	Adultos II	28.8	29.5	
103	Adultos II	25.5	24.5	
104	Adultos I	10.0	10.0	
105	Adultos II	33.4	34.1	
106	Adultos II	29.7	30.4	
107	Adultos III	42.5	43.3	
108	Adultos II	22.1	22.2	
109	Adultos II	32.0	32.3	
110	Juveniles I	1.1	1.5	
111	Juveniles I	1.0	1.0	Juveniles I
112	Plántulas I	15.0	Muerta	
113	Juveniles I	1.5	2.0	
114	Plántulas I	30.0	Muerta	
115	Juveniles I	1.5	2.0	
116	Juveniles I	1.4	1.2	

117	Juveniles I	2.0	1.7	
118	Juveniles I	1.8	1.8	
119	Juveniles II	2.5	2.9	
120	Juveniles II	2.2	2.2	
121	Juveniles I	1.8	1.7	
122	Plántulas II	60.0	85.0	
123	Plántulas II	92.0	106.0	
124	Juveniles I	160	161	
125	Juveniles II	4.6	4.9	
126	Juveniles I	2.0	1.5	
127	Juveniles I	1.8	1.8	
128	Juveniles II	3.3	3.5	
129	Juveniles II	6.6	6.6	
130	Juveniles II	7.0	5.0	
131	Juveniles II	2.6	2.1	
132	Juveniles II	6.0	6.0	
133	Juveniles II	1.7	1.4	
134	Juveniles II	4.7	4.6	Juveniles II
135	Juveniles I	1.7	1.7	
136	Juveniles I	1.4	1.5	
137	Juveniles I	1.1	1.1	
138	Juveniles II	4.3	4.3	
139	Juveniles II	3.7	4.0	
140	Juveniles I	1.0	1.4	
141	Juveniles II	1.0	1.8	
142	Juveniles I	2.0	1.8	
143	Juveniles I	1.6	1.6	
144	Juveniles I	1.5	1.5	
145	Juveniles I	112	1.3	
146	Plántulas II	60	Muerto	

147	Juveniles II	3.3	3.3	
148	Juveniles II	4.2	Muerto	
149	Juveniles II	4.2	4.7	
150	Juveniles I	1.9	1.9	
151	Juveniles II	5.0	5.0	

Características de los individuos marcados y censados en el sitio tres, hacia los 3130m de altitud sobre el nivel del mar.

N° de individuo	Estadio	Diámetro o altura/ año 1	Diámetro o altura/ año 2	Estadio
1	Adulto I	11.2	11.3	Adulto I
2	Adulto I	11.0	11.0	Adulto I
3	Adulto II	20.5	20.8	Adulto II
4	Adulto I	13.6	14.2	Adulto I
5	Adulto II	32.9	33.3	Adulto II
6	Adulto II	30.6	30.6	Adulto II
7	Adulto II	37.9	38.3	Adulto II
8	Adulto II	23.1	23.3	Adulto II
9	Adulto I	11.8	12.1	Adulto I
10	Adulto I	17.1	17.1	Adulto I
11	Adulto I	16.5	16.8	Adulto I
12	Adulto II	22.3	22.5	Adulto II
13	Adulto II	27.4	27.7	Adulto II
14	Adulto I	19.5	19.5	Adulto I
15	Adulto I	15.6	15.8	Adulto I
16	Adulto II	22.9	23.2	Adulto II
17	Adulto I	15.7	16.1	Adulto I
18	Adulto I	13.9	14.2	Adulto I
19	Adulto II	20.6	20.6	Adulto II
20	Adulto I	17.6	17.6	Adulto I

21	Adulto II	20.5	20.8	Adulto II
22	Adulto I	14.2	14.5	Adulto I
23	Adulto II	30.0	30.0	Adulto II
24	Adulto II	33.4	33.6	Adulto II
25	Adulto I	19.8	20.3	Adulto I
26	Adulto I	18.2	18.5	Adulto I
27	Adulto II	26.0	26.0	Adulto II
28	Adulto III	43.9	44.3	Adulto III
29	Adulto II	28.5	28.9	Adulto II
30	Adulto II	32.6	33.0	Adulto II
31	Adulto II	37.4	37.4	Adulto II
32	Adulto II	20.2	20.5	Adulto II
33	Adulto II	23.2	23.5	Adulto II
34	Adulto II	26.1	26.5	Adulto II
35	Adulto II	30.7	31.0	Adulto II
36	Adulto II	23.9	24.3	Adulto II
37	Adulto II	34.2	34.7	Adulto II
38	Adulto II	22.5	22.8	Adulto II
39	Adulto I	18.1	18.4	Adulto I
40	Adulto II	30.9	31.2	Adulto II
41	Adulto I	14.9	14.9	Adulto I
42	Adulto II	27.7	28.1	Adulto II
43	Adulto I	10.0	10.0	Adulto I
44	Adulto I	14.9	14.9	Adulto I
45	Adulto I	13.0	13.3	Adulto I
46	Adulto I	12.8	13.3	Adulto I
47	Adulto II	33.0	33.0	Adulto II
48	Adulto I	17.8	17.8	Adulto I
49	Plántulas I	7.8	Muerta	
50	Plántulas I	9.1	Muerta	

51	Plántulas I	9.5	21.0	
52	Plántulas I	10.2	18.0	
53	Plántulas I	16.5	Muerta	
54	Juvenil I	1.3	1.7	
55	Plántulas I	8.5	10.2	
56	Plántulas I	16.8	20.5	
57	Juvenil I	137	1.0	
58	Juvenil I	121	130	
59	Juvenil I	125	128	
60	Plántulas I	15.5	Muerta	
61	Adulto I	11.9	12.3	Adulto I
62	Adulto II	34.3	34.4	Adulto II
63	Adulto II	25.2	25.6	Adulto II
64	Adulto I	16.4	16.4	Adulto I
65	Adulto I	13.6	13.9	Adulto I
66	Adulto I	10.5	11.0	Adulto I
67	Adulto I	14.4	14.7	Adulto I
68	Adulto I	14.2	14.6	Adulto I
69	Adulto I	12.4	12.8	Adulto I
70	Adulto III	59.5	59.8	Adulto III
71	Adulto I	10.7	11.0	Adulto I
72	Adulto I	14.7	14.9	Adulto I
73	Adulto I	10.1	10.3	Adulto I
74	Adulto I	15.1	15.1	Adulto I
75	Adulto I	15.9	16.1	Adulto I
76	Adulto II	25.8	26.2	Adulto II
77	Adulto I	17.3	17.6	Adulto I
78	Adulto II	22.2	22.3	Adulto II
79	Adulto II	34.4	34.7	Adulto II
80	Adulto II	22.7	22.7	Adulto II

81	Adulto II	24.5	24.5	Adulto II
82	Adulto I	10.0	10.3	Adulto I
83	Adulto I	15.4	15.4	Adulto I
84	Adulto II	23.0	23.3	Adulto II
85	Adulto III	96.0	96.0	Adulto III
86	Adulto I	16.2	16.2	Adulto I
87	Adulto I	13.7	14.0	Adulto I
88	Adulto I	13.1	13.3	Adulto I
89	Adulto I	16.7	17.1	Adulto I
90	Adulto I	17.6	17.9	Adulto I
91	Adulto II	22.0	22.2	Adulto II
92	Adulto III	44.8	45.0	Adulto III
93	Adulto I	18.3	18.5	Adulto I
94	Adulto II	28.2	28.5	Adulto II
95	Adulto II	39.4	39.7	Adulto II
96	Adulto I	11.0	11.2	Adulto I
97	Adulto I	16.0	16.0	Adulto I
98	Adulto I	11.1	11.1	Adulto I
99	Adulto I	11.5	11.7	Adulto I
100	Adulto I	11.5	11.6	Adulto I
101	Adulto I	18.2	18.4	Adulto I
102	Adulto I	18.2	18.4	Adulto I
103	Adulto I	16.7	17.0	Adulto I
104	Adulto I	11.2	11.2	Adulto I
105	Adulto I	11.8	12.1	Adulto I
106	Adulto II	20.3	20.5	Adulto II
107	Adulto I	18.0	18.2	Adulto I
108	Adulto I	14.1	14.3	Adulto I
109	Adulto I	13.7	14.0	Adulto I
110	Adulto III	52.1	52.1	Adulto III

111	Adulto I	11.0	11.0	Adulto I
112	Adulto I	12.6	12.9	Adulto I
113	Adulto I	16.8	17.0	Adulto I
114	Adulto I	10.9	11.1	Adulto I
115	Adulto I	13.8	14.2	Adulto I
116	Adulto I	16.0	16.1	Adulto I
117	Adulto I	12.2	12.4	Adulto I
118	Adulto I	17.8	18.1	Adulto I
119	Adulto I	17.2	17.4	Adulto I
120	Adulto I	17.1	17.3	Adulto I
121	Adulto II	25.8	26.0	Adulto II
122	Adulto II	29.8	30.0	Adulto II
123	Adulto II	21.0	21.0	Adulto II
124	Adulto I	15.0	15.4	Adulto I
125	Adulto I	19.6	19.9	Adulto I
126	Adulto I	12.1	12.4	Adulto I
127	Adulto I	10.5	10.7	Adulto I
128	Adulto I	17.2	17.4	Adulto I
129	Adulto I	13.6	13.7	Adulto I
130	Adulto II	23.0	23.3	Adulto II
131	Adulto II	20.2	20.5	Adulto II
132	Adulto II	25.4	26.0	Adulto II
133	Adulto I	19.2	19.5	Adulto I
134	Adulto II	21.8	22.0	Adulto II
135	Adulto II	20.7	21.0	Adulto II
136	Juveniles II	6.4	7.2	Adulto I
137	Juveniles I	1.5	2.0	
138	Juveniles II	2.5	3.4	
139	Juveniles II	3.2	3.5	
140	Plántulas II	20.0	Muerta	

141	Plántulas II	77.0	87.0	
142	Juvenil I	1.6	2.0	
143	Plántulas I	36.5	Muerta	
144	Juvenil I	160.0	1.3	
145	Plántulas II	26.0	Muerta	
146	Plántulas II	97.0	103	
147	Juvenil I	140	Muerta	
148	Juvenil I	155	Muerta	
149	Juvenil I	123	125	
150	Juvenil I	129	139	
151	Juvenil I	133	1 cm	
152	Plántulas II	93.0	100.0	
153	Plántulas II	56.0	Muerta	
154	Plántulas I	75.0	83.6	
155	Juvenil I	126	133	
156	Plántulas II	61.0	Muerta	
157	Plántulas II	45.0	Muerta	
158	Plántulas II	41.0	Muerta	
159	Plántulas I	35.0	Muerto	
160	Juvenil II	3.2	3.5	
161	Juvenil II	2.9	3.5	
162	Plántulas II	68.0	74.5	
163	Plántulas I	33.0	41.0	
164	Plántulas II	47.0	Muerta	
165	Plántulas II	48.0	Muerta	
166	Plántulas II	28.0	47.0	
167	Plántulas II	19.0	Muerta	
168	Plántulas II	97.0	Muerto	
169	Plántulas II	41.0	Muerto	
170	Juvenil II	165.0	Muerto	

171	Plántulas II	63	75	
172	Plántulas II	73	Muerta	
173	Juvenil I	127	133	
174	Juvenil II	3.2	3.6	
175	Juvenil II	3.0	3.3	
176	Plántulas II	79	89	
177	Plántulas II	116	2.3	
178	Juvenil II	3.5	4.1	
179	Juvenil II	4.6	5.1	
180	Juvenil II	4.0	4.7	

ANEXO II

Lista florística del bosque de *Abies hickelii*

Estrato herbáceo

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
<i>Acaena elongata</i> L.	Rosaceae
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	Rosaceae
<i>Argemone orchioleuca</i> Sweet.	Papaveraceae
<i>Bidens triplinervia</i> H. B. K.	Compositae
<i>Bidens</i> spp.	Compositae
<i>Bromus</i> sp.	Gramineae
<i>Calea integrifolia</i> (DC) Hemsl.	Compositae
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L) Medic.	Cruciferae
<i>Castilla</i> spp.	Moraceae
<i>Castilleja</i> sp.	Scrophulariaceae
<i>Cerastium aff. brachypodium</i>	Caryophyllaceae
<i>Cheilanthes notolaenoides</i> (DESV) Maxon.	Polypodiaceae
<i>Coccoloba</i> spp.	Polygonaceae
<i>Cosmos</i> spp.	Compositae
<i>Cryplochola swallen</i>	Compositae
<i>Cucurbita</i> sp	Cucurbitaceae
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Compositae

<i>Dahlia merchili</i> Cav.	Compositae
<i>Dissanthelium</i> sp.	Compositae
<i>Erodium cicutarium</i> L.	Geraniaceae
<i>Eryngium monocephalum</i> Cav.	Umbelliferae
<i>Eryngium</i> spp.	Umbelliferae
<i>Eupatorium</i> sp.	Compositae
<i>Erysimum asperum</i> DC.	Cruciferae
<i>Fuchsia microphylla</i> H. B. K.	Onagraceae
<i>Galium aschenbornii</i> Schaner	Rubiaceae
<i>Lopezia hirsuta</i> L.	Onagraceae
<i>Macromeria pringlei</i> Greenman	Boraginaceae
<i>Microsechium</i> sp.	Cucurbitaceae
<i>Nama prostratum</i> Brand ex Char.	Hydrophyllaceae
<i>Oxalis alpina</i> Rose.	Oxalidaceae
<i>Phacelia platycarta</i> Spreng.	Hydrophyllaceae
<i>Phanerophlebia nobilis</i> (Schlecht. et Cham)	Polygonaceae
<i>Phoradendron</i> spp.	Loranthaceae
<i>Plantago australis</i> Lam.	Plantaginaceae
<i>Plecusurus speciosissimus</i> Moore.	Polypodiaceae

<i>Polygonum argyrocoleon</i> Steud.	Polygonaceae
<i>Potentilla glandulosa</i> L.	Rosaceae
<i>Rumex acetosella</i> L.	Polygonaceae
<i>Sedum</i> sp.	Crasulaceae
<i>Senecio angulifolius</i> DC.	Compositae
<i>Senecio barba-johannis</i> DC.	Compositae
<i>Senecio callosus</i> Schultz Bip.	Compositae
<i>Senecio cinerarioides</i> H. B. K.	Compositae
<i>Senecio platanifolius</i> Benth.	Compositae
<i>Senecio salignus</i> DC.	Compositae
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> H. B. K.	Compositae
<i>Silene aff. lacineata</i> Cav.	Caryophyllaceae
<i>Smilacina scilloidea</i> Mart. & Gal.	Liliaceae
<i>Smilacina</i> sp.	Liliaceae
<i>Smilax</i> spp.	Liliaceae
<i>Solanum cervantessi</i> Lag.	Solanaceae
<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae
<i>Stachys agraria</i> Cham. & Schlecht.	Labiatae
<i>Stachys sanchezii</i> Rzedowsky & Zuñiga	Labiatae

<i>Stevia glandulosa</i> DC.	Compositae
<i>Tagetes</i> spp.	Compositae
<i>Vitis bourgaeana</i> Planch.	Vitaceae

Estrato arbustivo

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
<i>Abies hickelii</i> Flous et Gausson	Pinaceae
<i>Abies religiosa</i> H. B. K. et Schum	Pinaceae
<i>Baccharis conferta</i> H. B. K.	Compositae
<i>Buddleia sesiliflora</i> H. B. K.	Loganiaceae
<i>Cestrum benthamii</i> Miers.	Solanaceae
<i>Cestrum</i> sp.	Solanaceae
<i>Corallorhiza</i> spp.	Orchydaceae
<i>Fragaria mexicana</i> Schlechter	Rosaceae
<i>Gaultheria lanafolia</i> Small	Ericaceae
<i>Lamouroxia rhinonthifolia</i> H. B. K.	Scrophulariaceae
<i>Penstemon gentianoides</i> H. B. K.	Scrophulariaceae
<i>Pinus ayacahuite</i> Enr.	Pinaceae
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pinaceae
<i>Quercus</i> aff. <i>tristis</i>	Fagaceae
<i>Rubus liebmanii</i> Focke.	Rosaceae
<i>Rubus trilobus</i> Ser. (Bpe.)	Rosaceae

<i>Salvia elegans</i> Vahl.	Labiatae
<i>Senecio callosus</i> Sch. Bip.	Compositae
<i>Stevia elongata</i> H. B. K.	Compositae
<i>Vitis bourgaena</i> Planch.	Vitaceae

Estrato arbóreo inferior

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
<i>Abies hickelii</i>	Pinaceae
<i>Abies religiosa</i>	Pinacea
<i>Alnus firmifolia</i> Fern.	Betulaceae
<i>Alnus</i> sp.	Betulaceae
<i>Arbutus xalapensis</i> H. B. K. (Bpe.)	Ericaceae
<i>Litsea</i> aff. <i>glaucescens</i> H. B. K.	Lauraceae
<i>Lonicera mexicana</i> H. B. K. (Rehder)	Caprifoliaceae
<i>Lonicera</i> aff. <i>mexicana</i>	Caprifoliaceae
<i>Pernettya</i> aff. <i>ciliaris</i> Schetman.	Ericaceae
<i>Pinus ayacahuite</i> Enr.	Pinaceae
<i>Pinus patula</i> Schl. & Cham.	Pinaceae
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Pinaceae
<i>Quercus</i> aff. <i>crassifolia</i> Hum & Bompl.	Fagaceae
<i>Quercus dysophylla</i> Benth.	Fagaceae

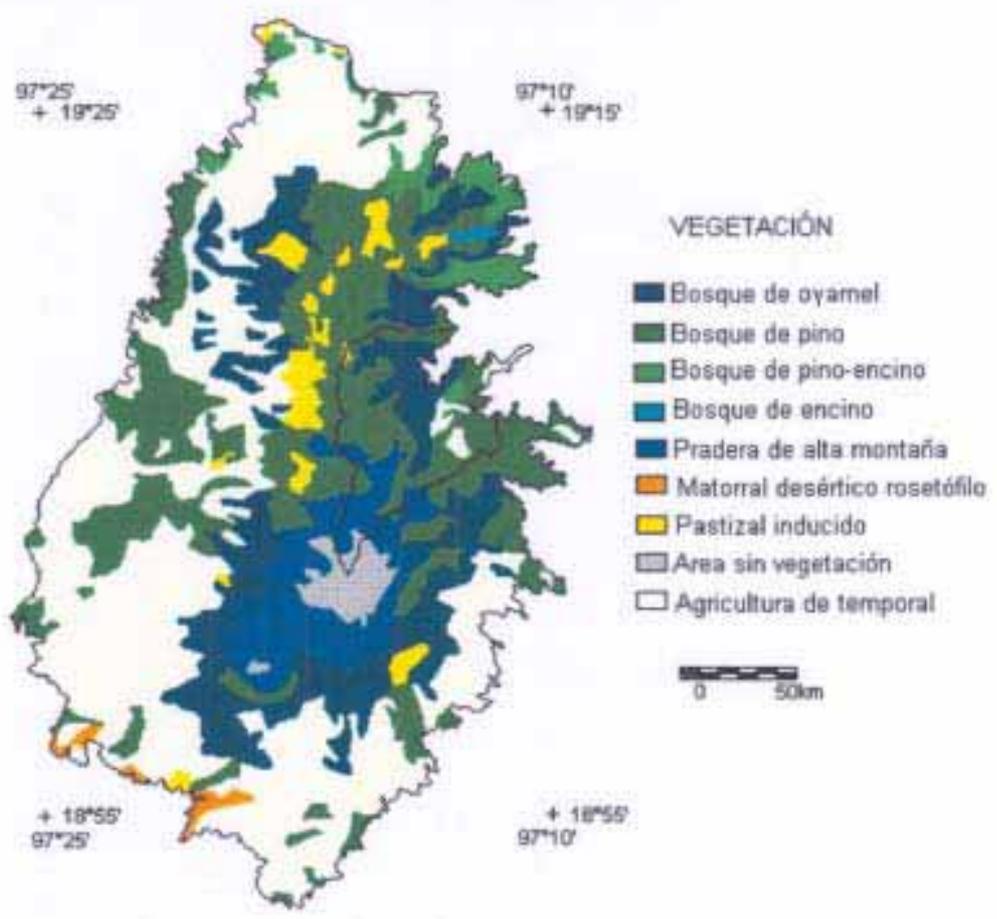
<i>Quercus glabrescens</i> Benth.	Fagaceae
<i>Quercus gregii</i> Trel.	Fagaceae
<i>Quercus laurina</i> Hum. & Bompl.	Fagaceae
<i>Salix oxylepis</i> Sch.	Salicaceae
<i>Salix paradoxa</i> H. B. K.	Salicaceae
<i>Salix</i> sp.	Salicaceae
<i>Sambucus mexicana</i> Presl.	Caprifoliaceae
<i>Trema micrantha</i> (L.)	Ulmaceae

Estrato arbóreo superior

NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
<i>Abies hickelii</i>	Pinaceae
<i>Abies religiosa</i>	Pinaceae
<i>Pinus ayacahuite</i>	Pinaceae
<i>Pinus patula</i>	Pinaceae
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Pinaceae

ANEXO III

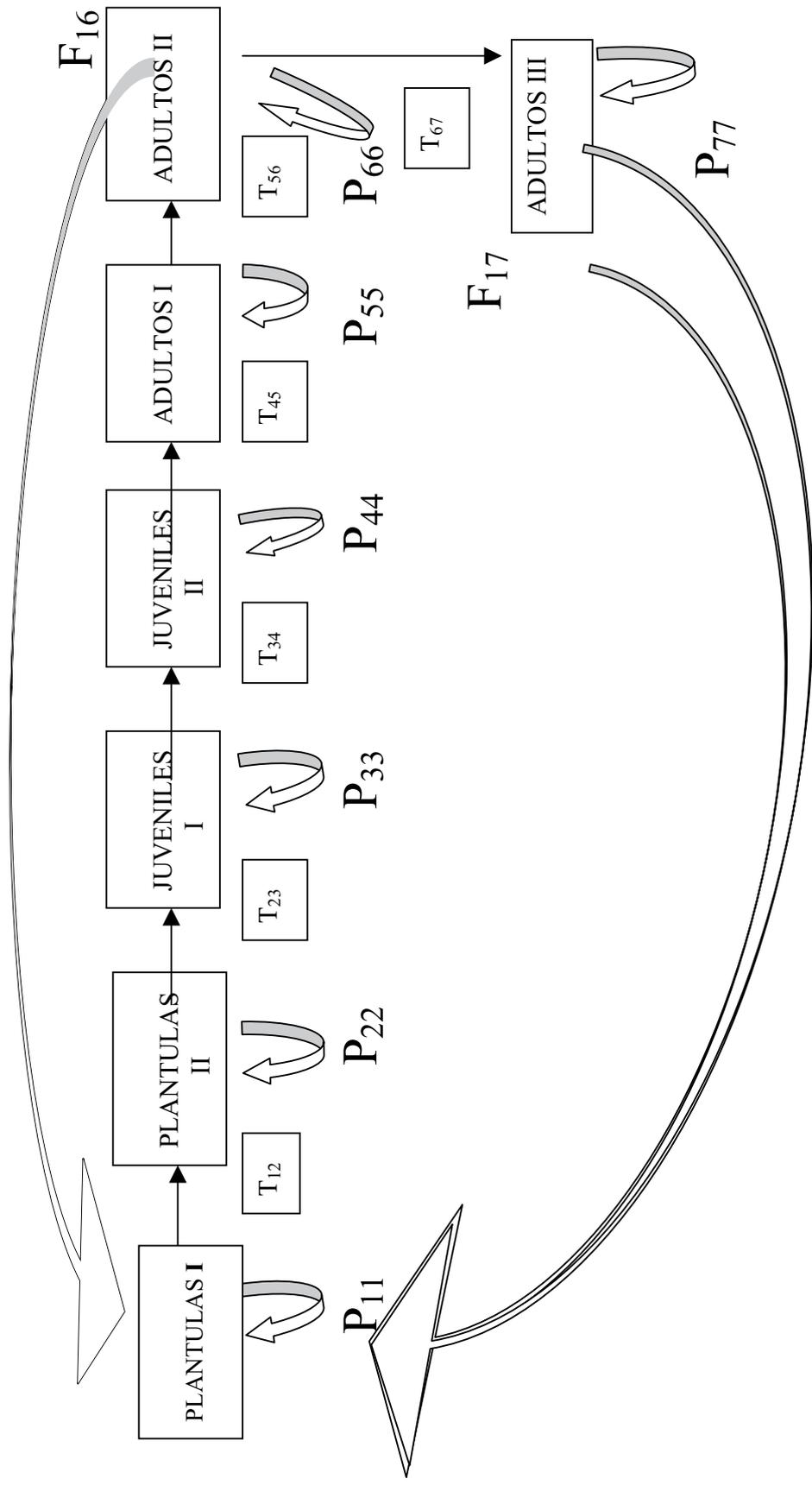
Características generales de los árboles y arbolitos encontrados en los sitios permanentes de investigación.



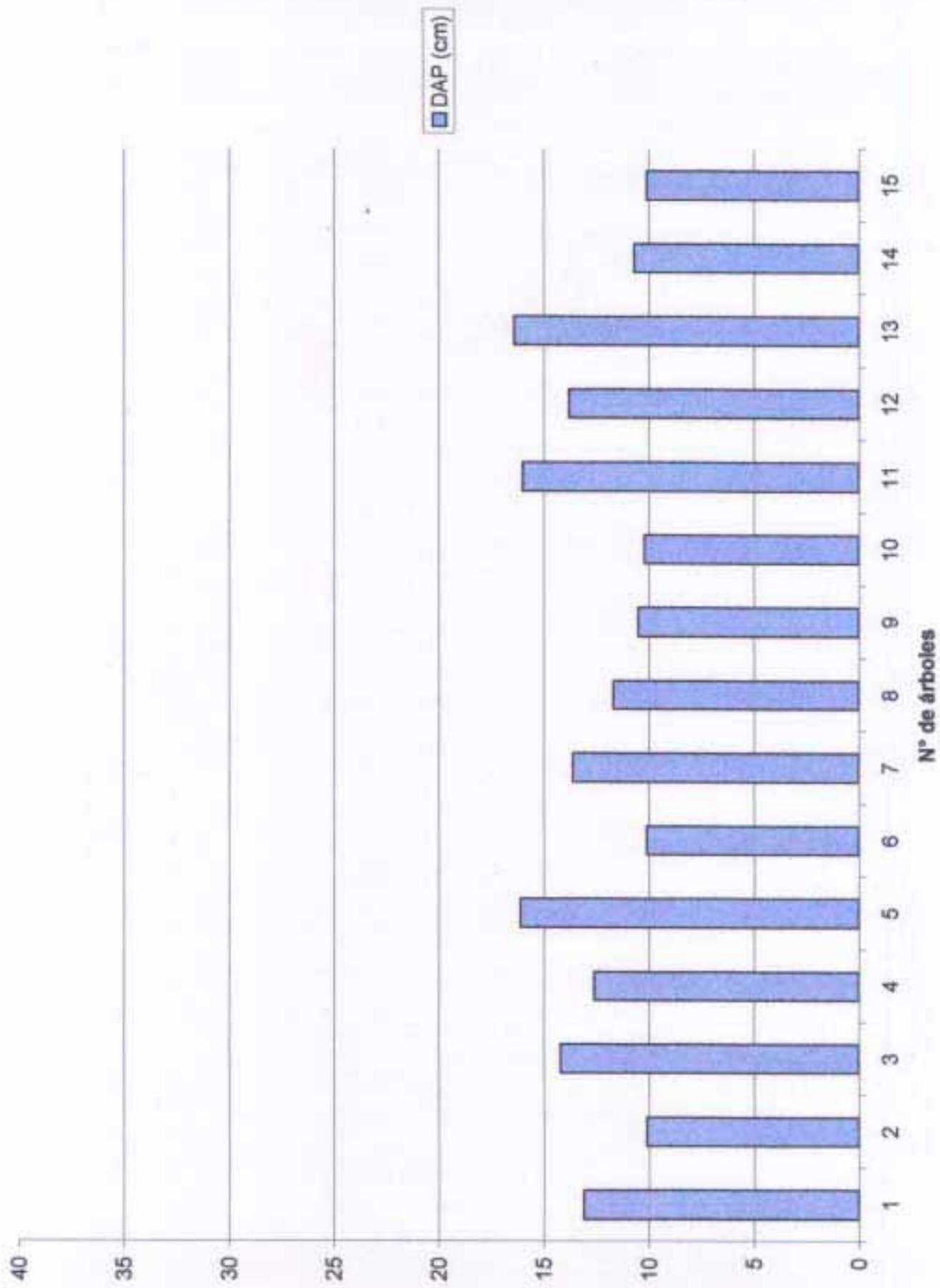
ANEXO IV.

Mapa de distribución actual del bosque de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, delineada se encuentra la zona en donde potencialmente se distribuye el bosque.

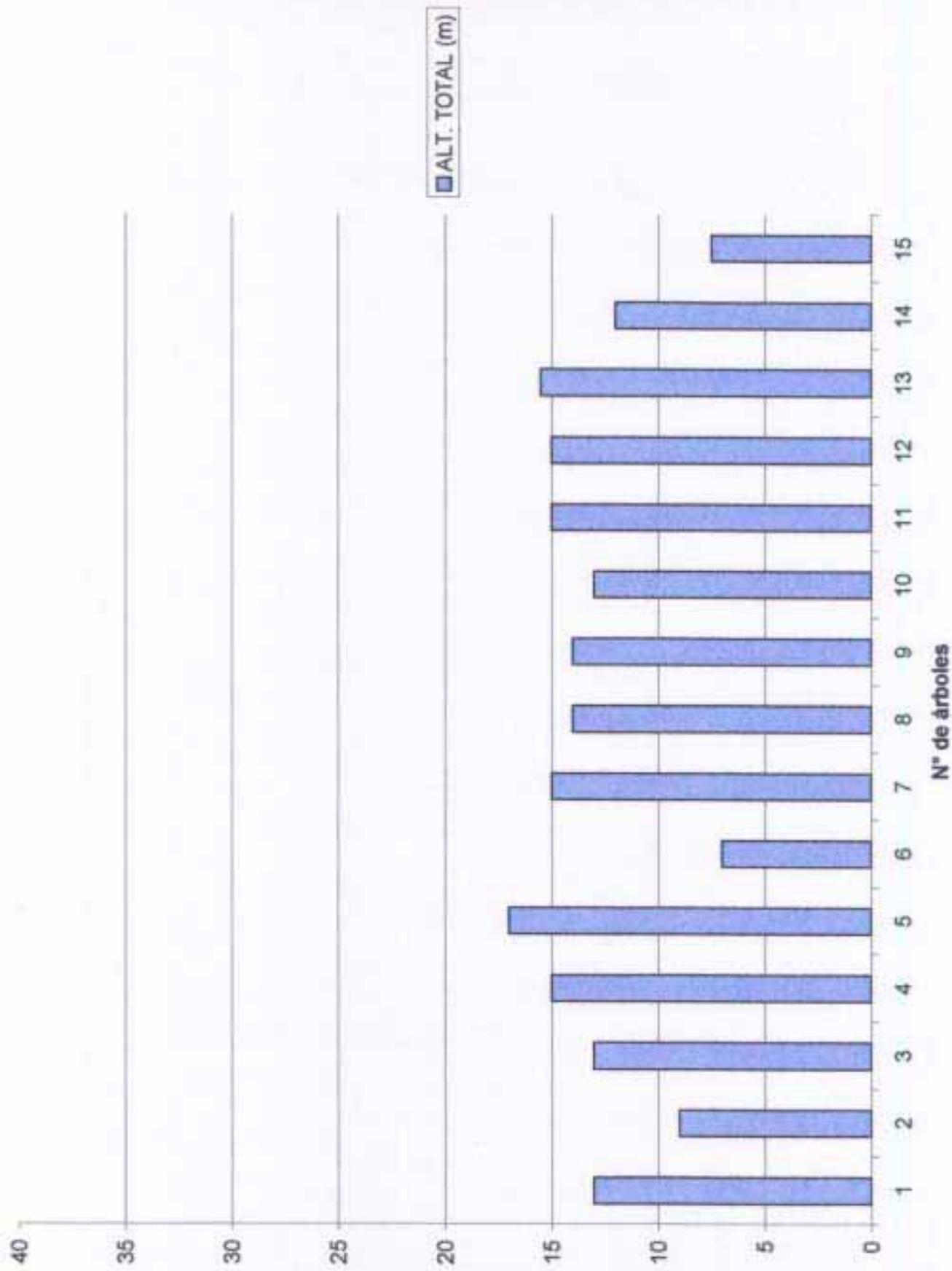
Anexo IV. Ciclo biológico de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz



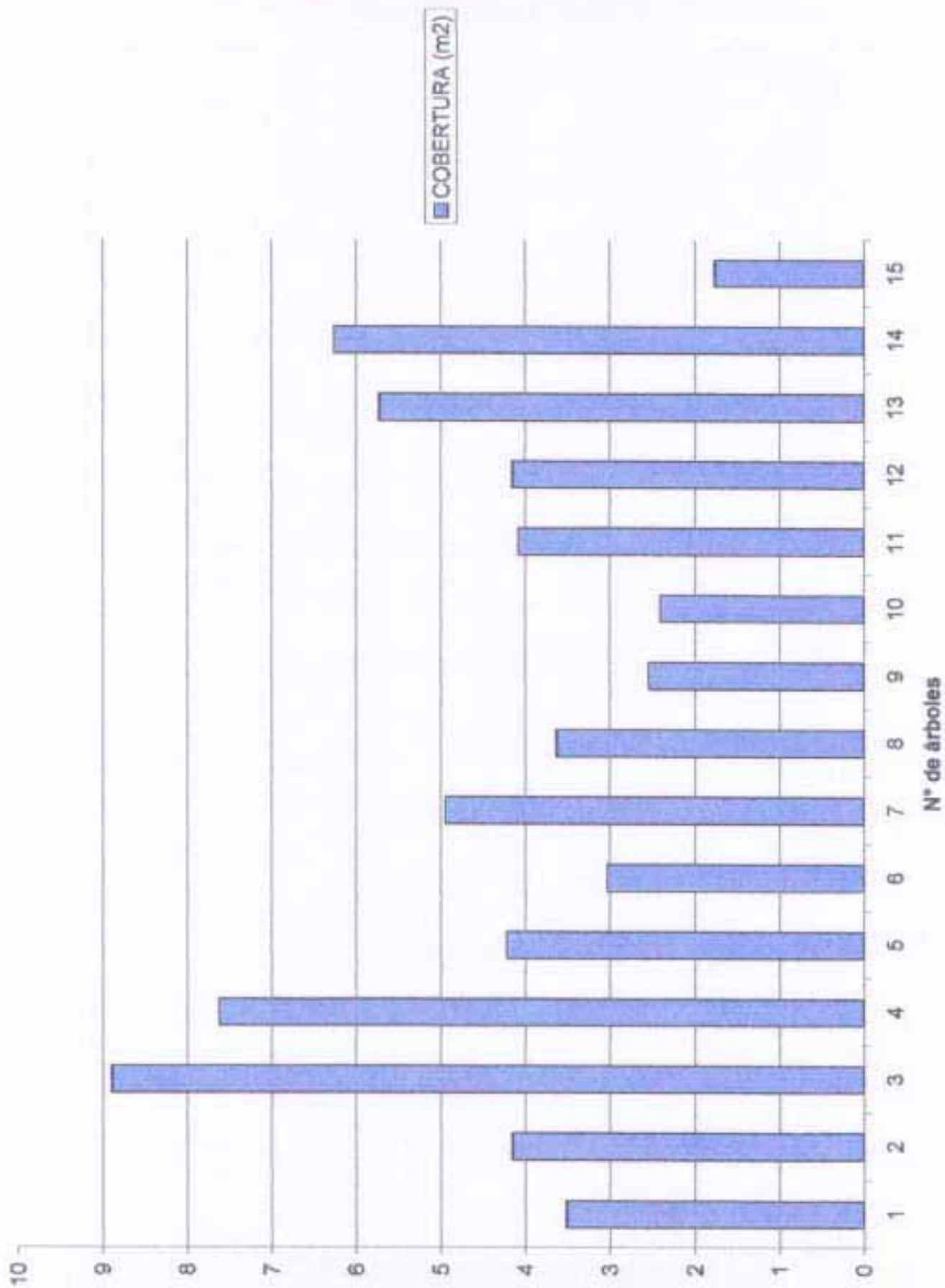
Diámetro de árboles en la repetición uno del sitio 1



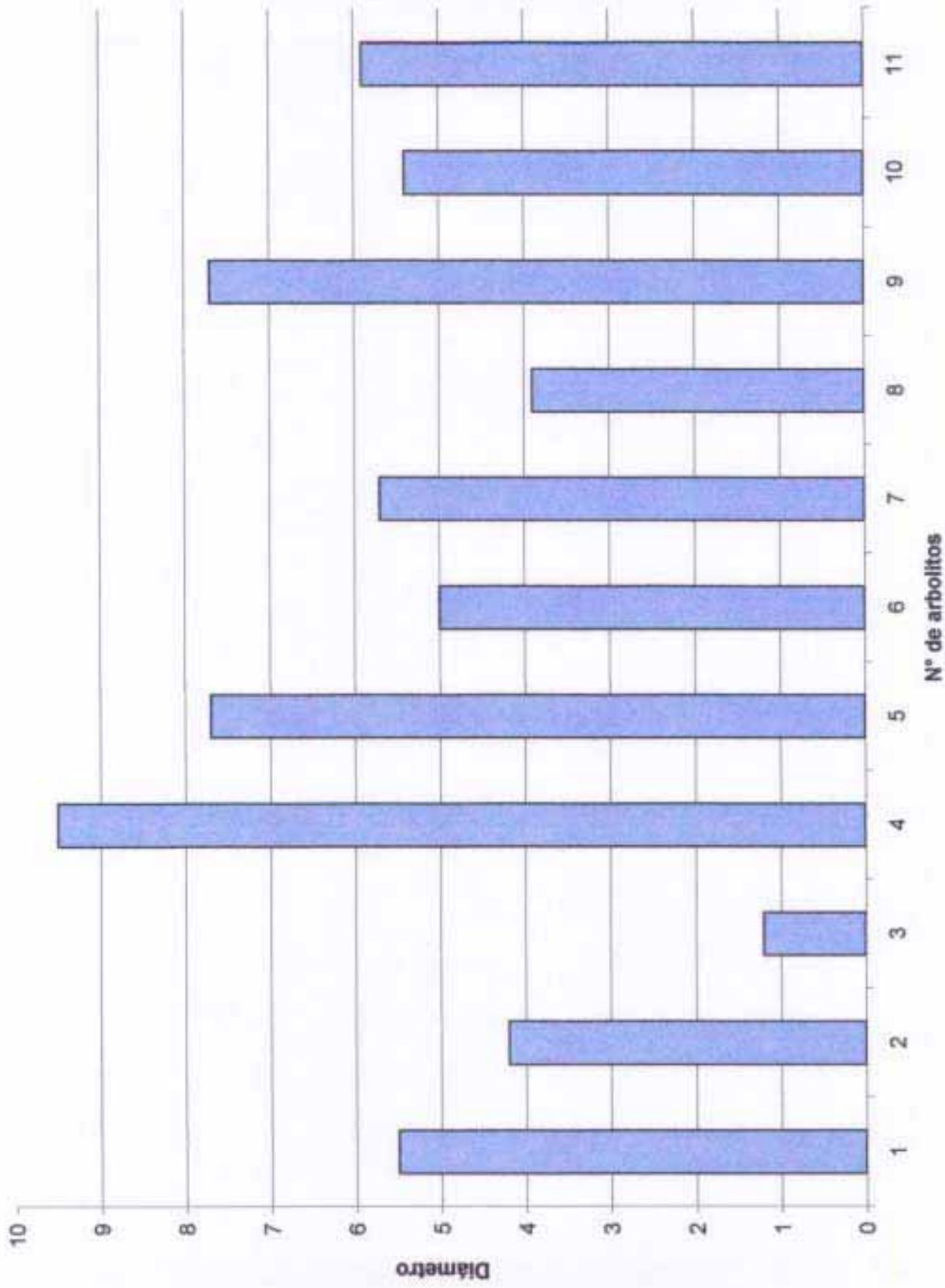
Altura total de árboles en la repetición uno del sitio 1



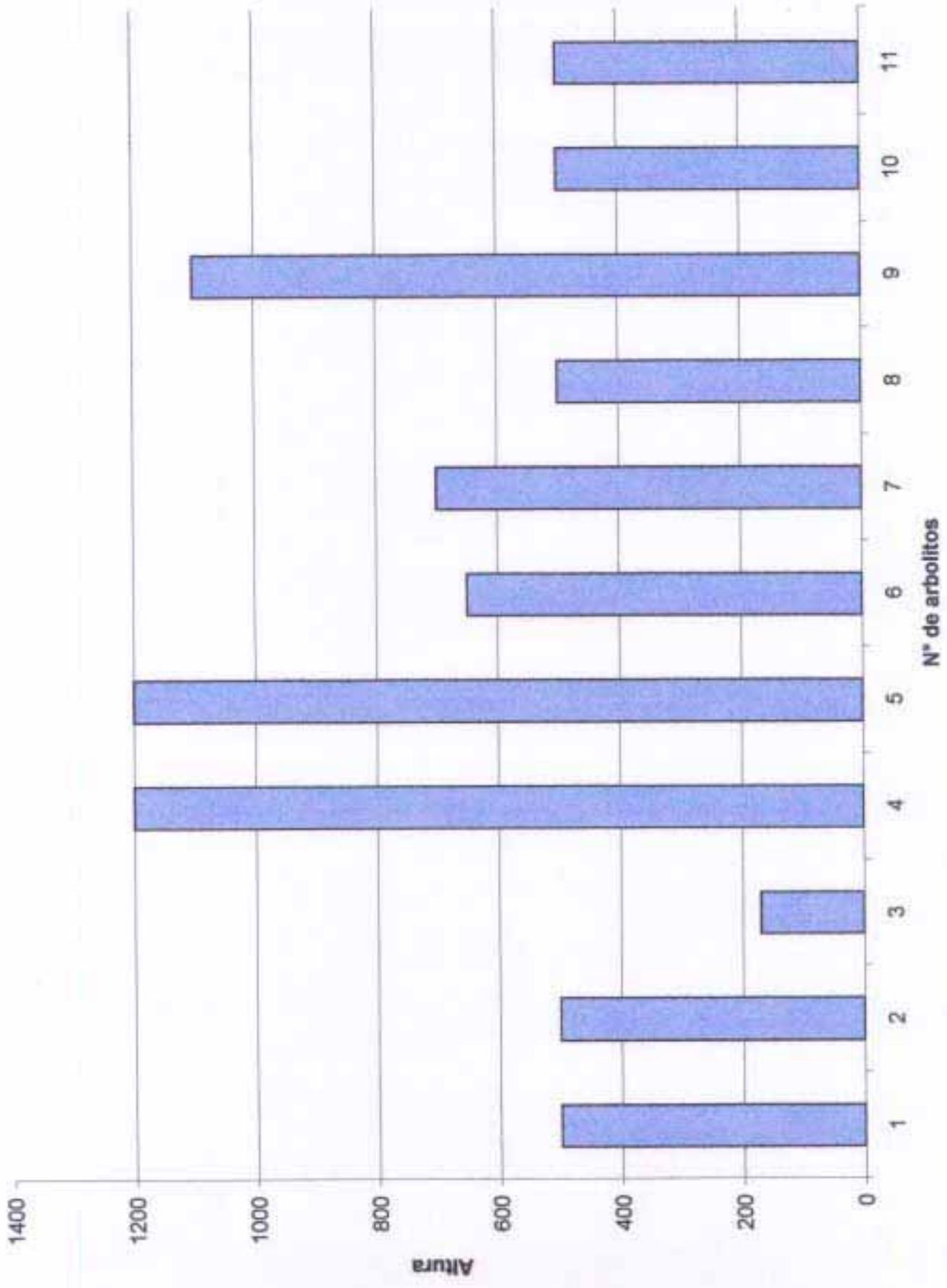
Cobertura de árboles en la repetición uno del sitio 1



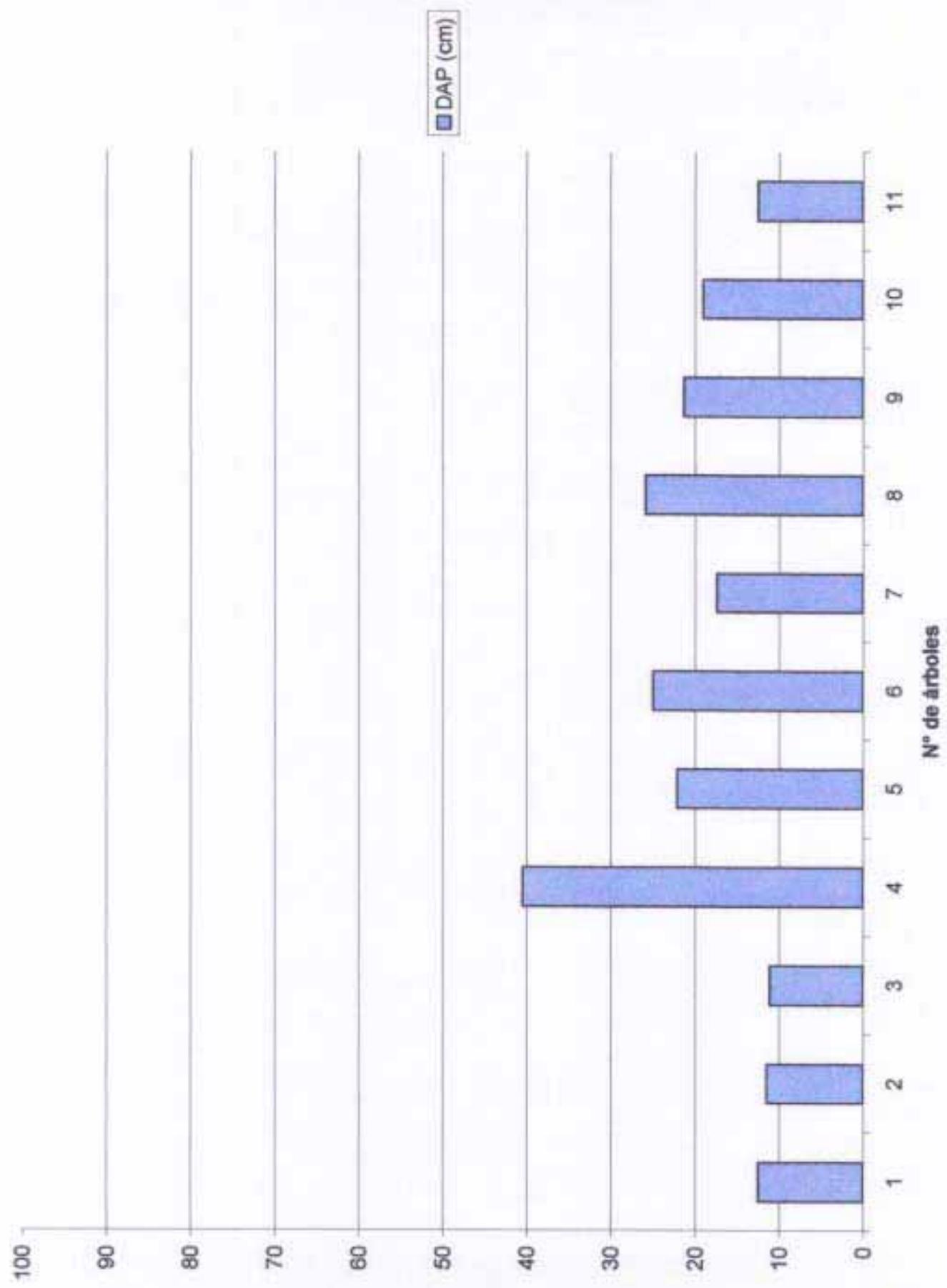
Diámetro de arbolitos en la repetición uno del sitio 1 hacia los 2860 m de altitud



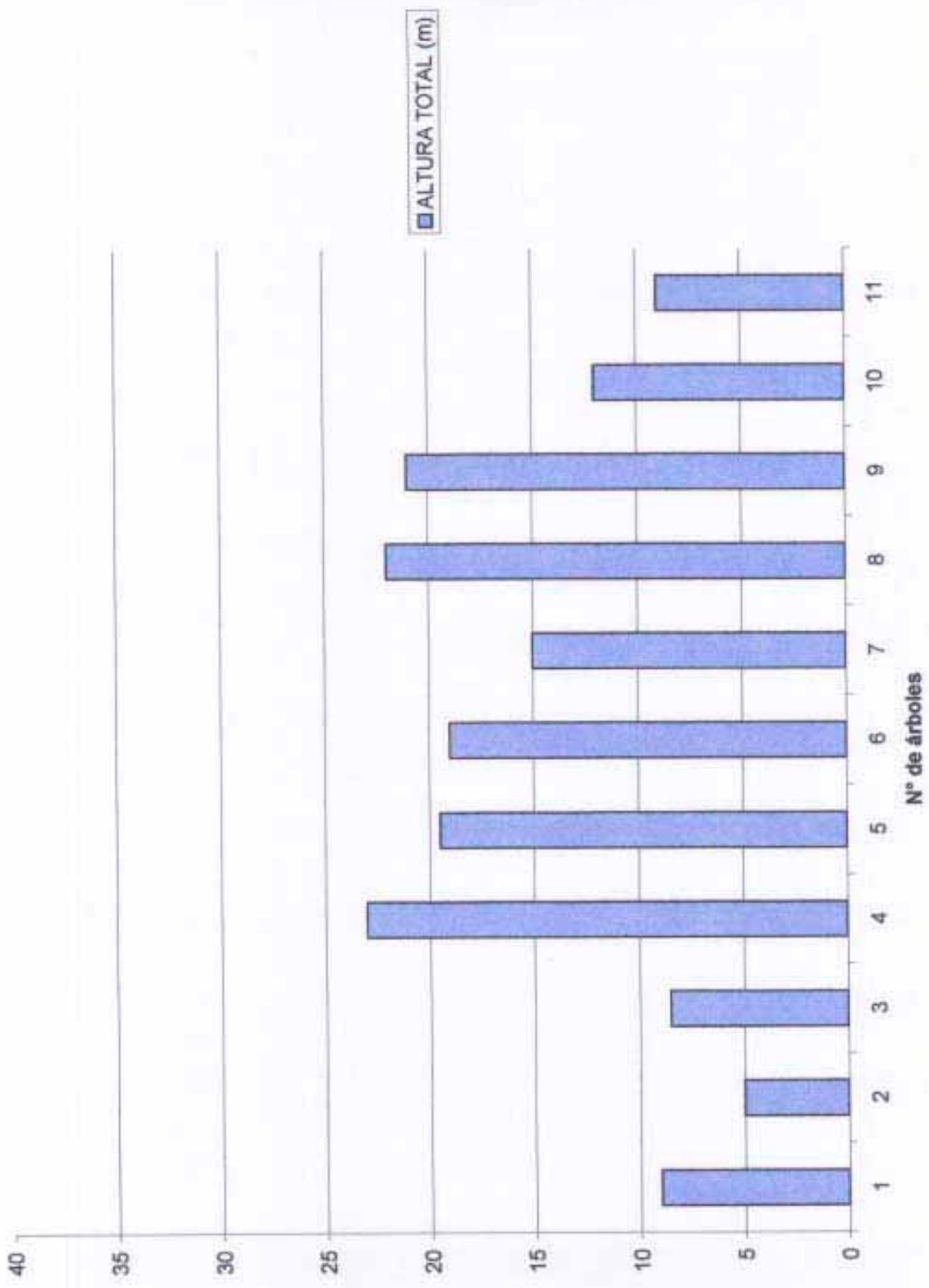
Altura de arbolitos en la repetición uno del sitio 1 hacia los 2860 m de altitud



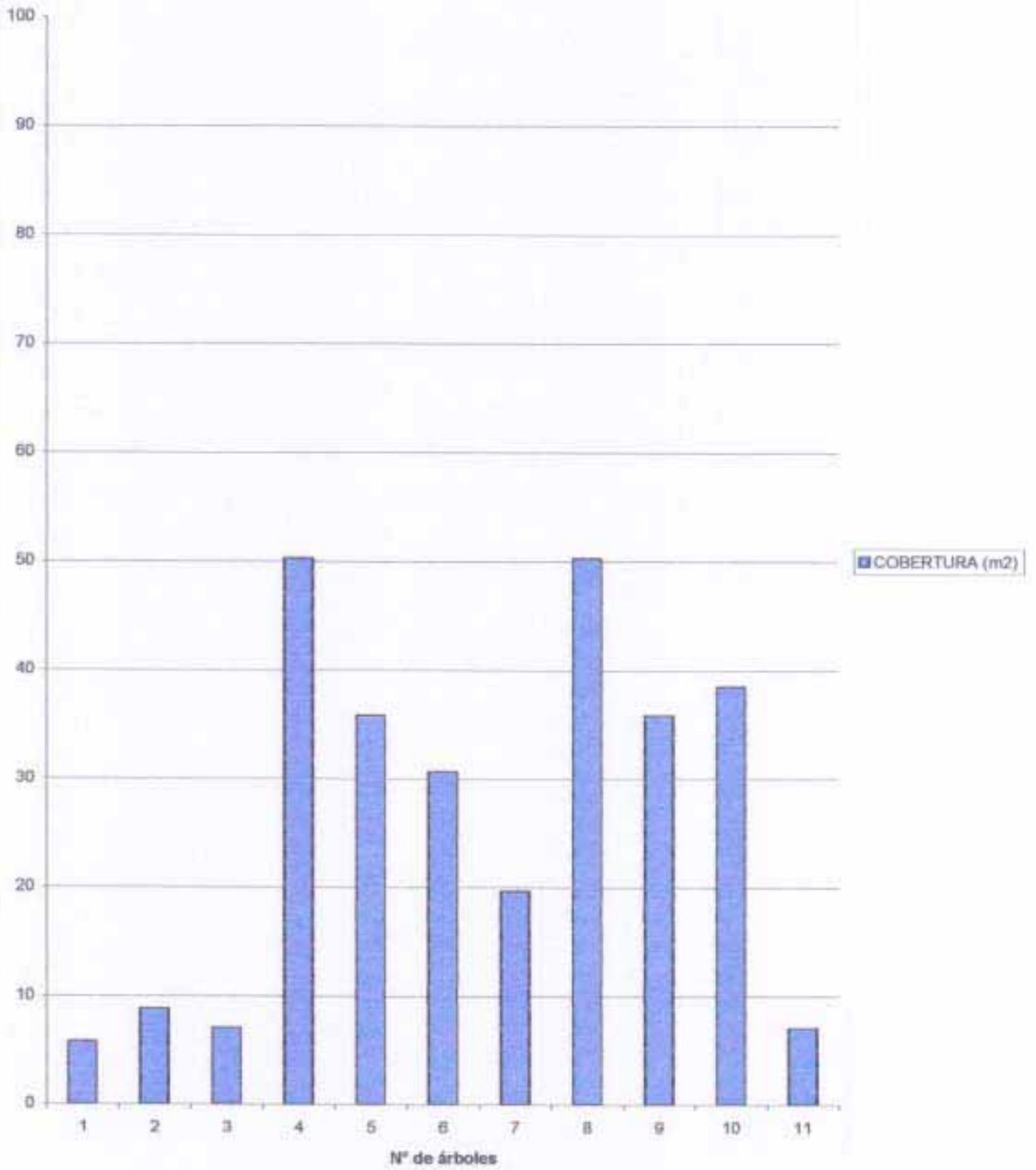
Diámetro de árboles en la repetición dos del sitio 1



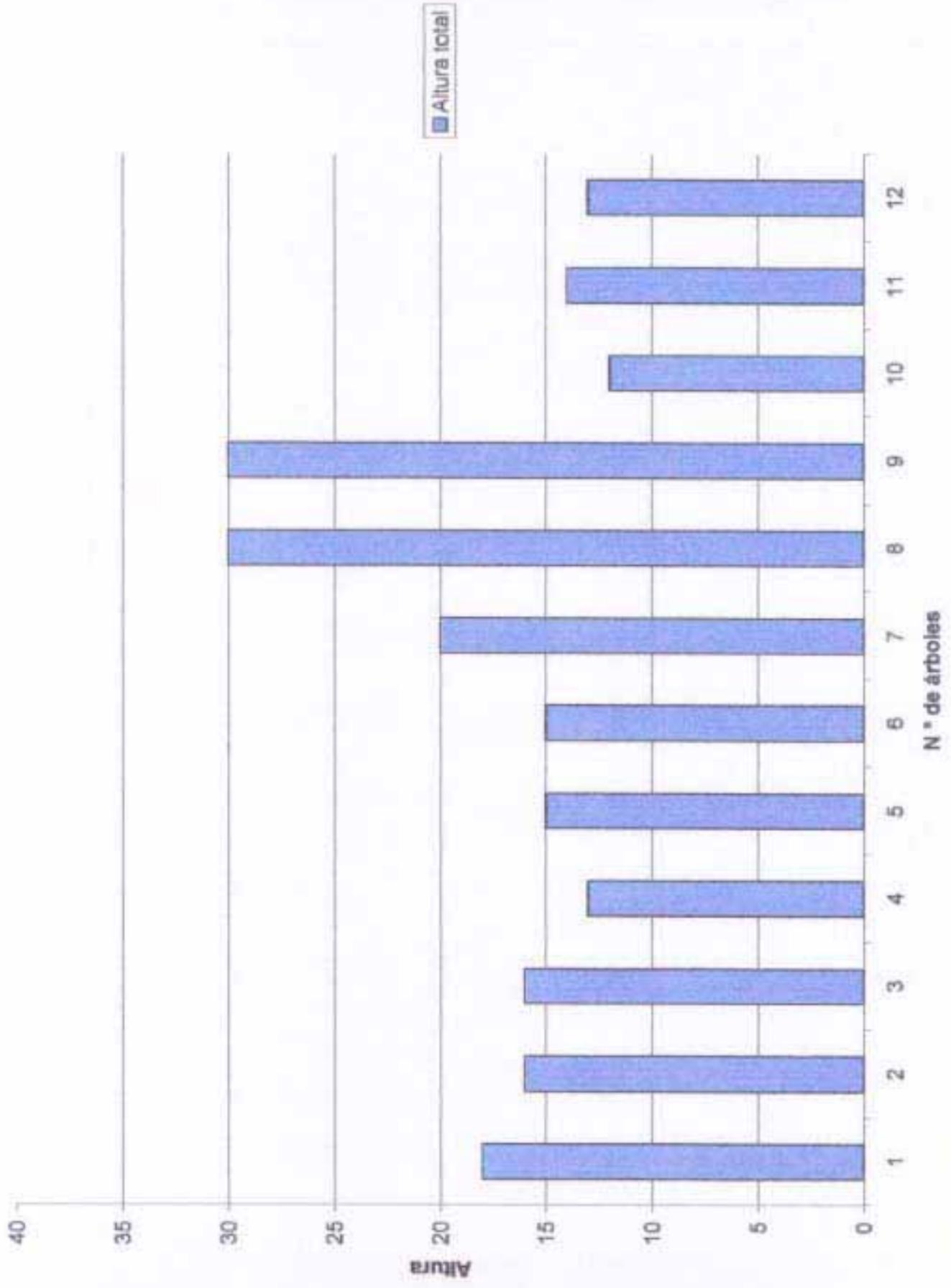
Altura total de árboles en la repetición dos del sitio 2



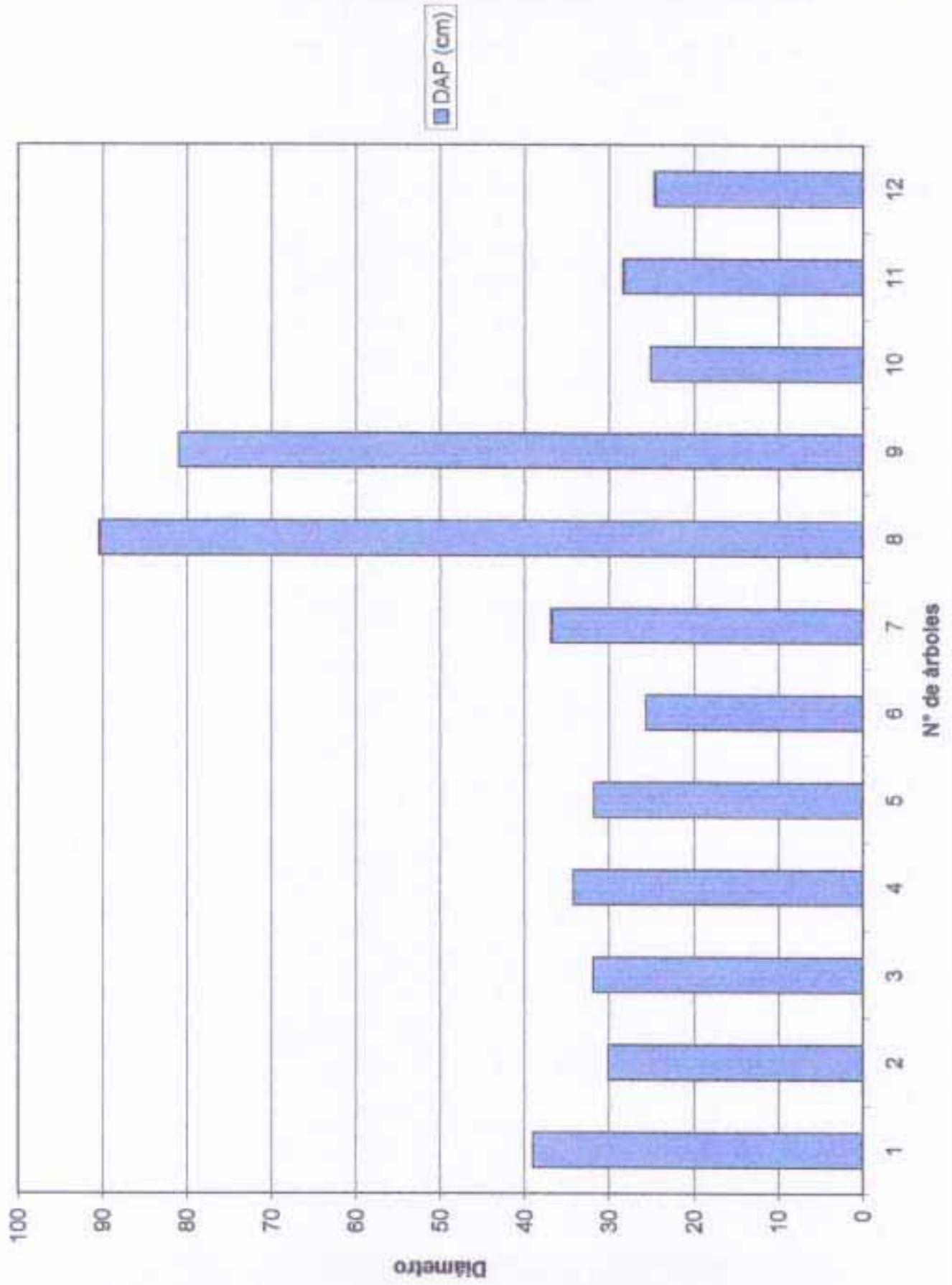
Cobertura de árboles en la repetición dos del sitio 1



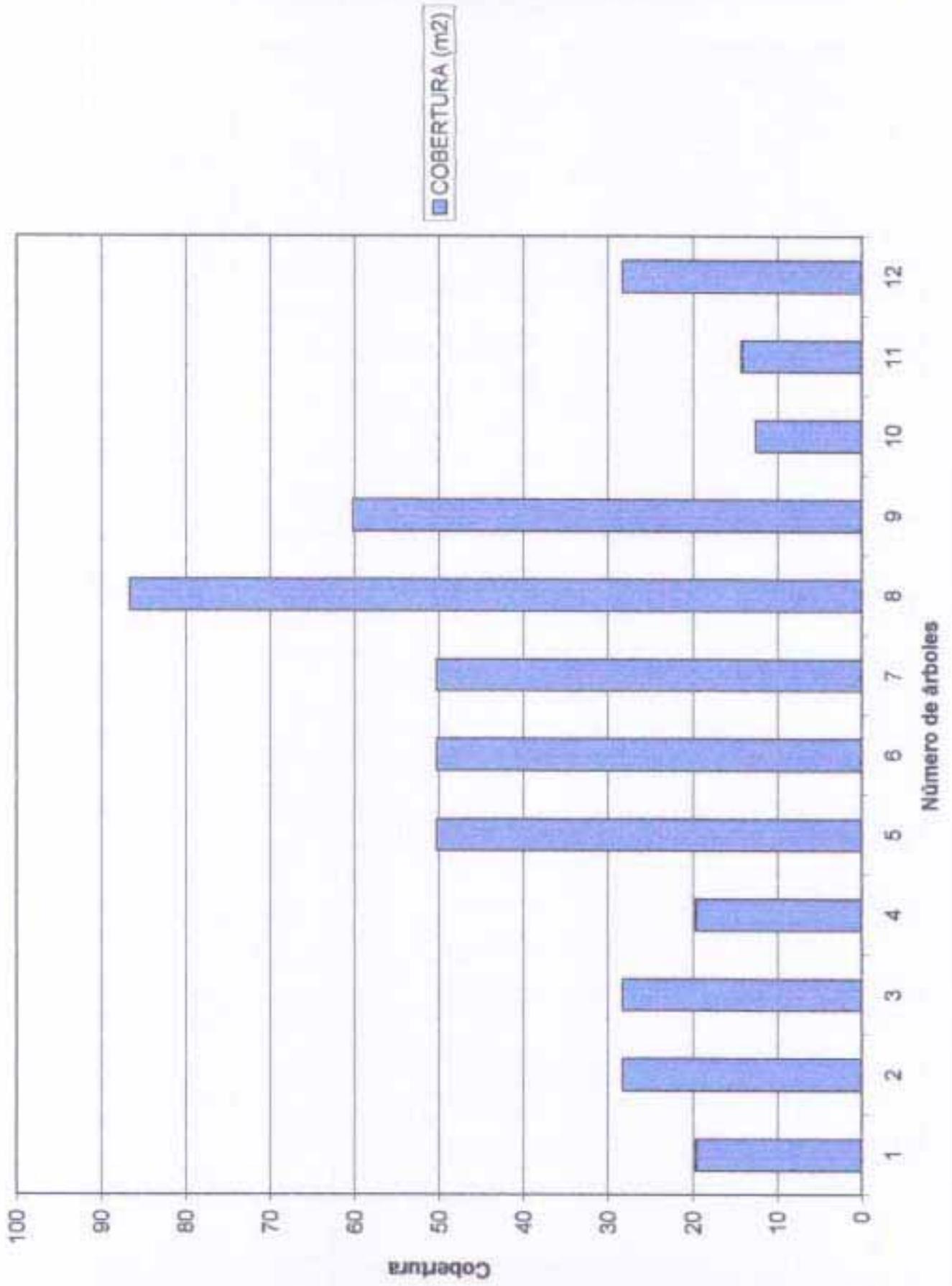
Altura total de los árboles en la repetición uno del sitio 2.



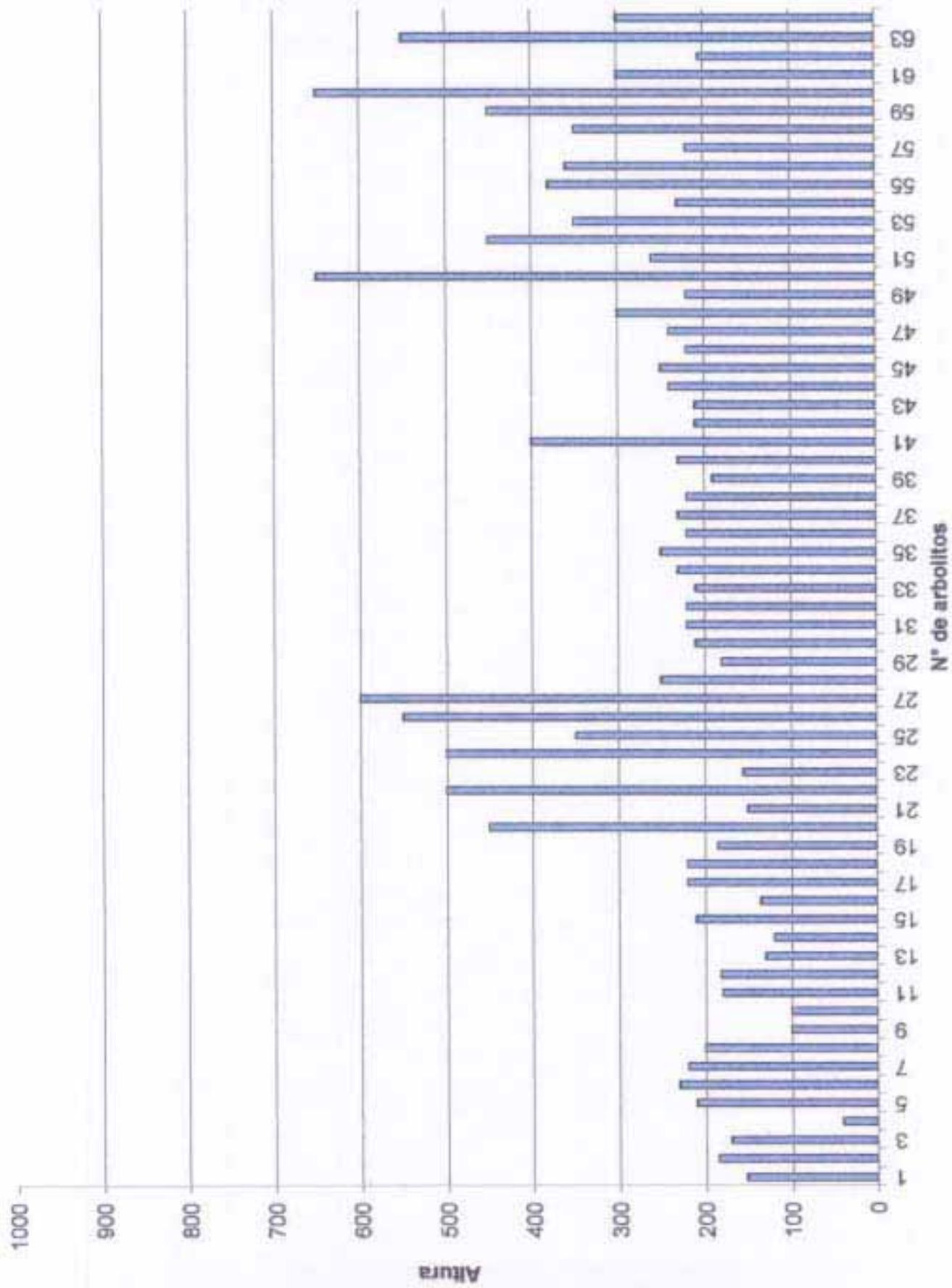
Diámetro de árboles en la repetición uno del sitio dos



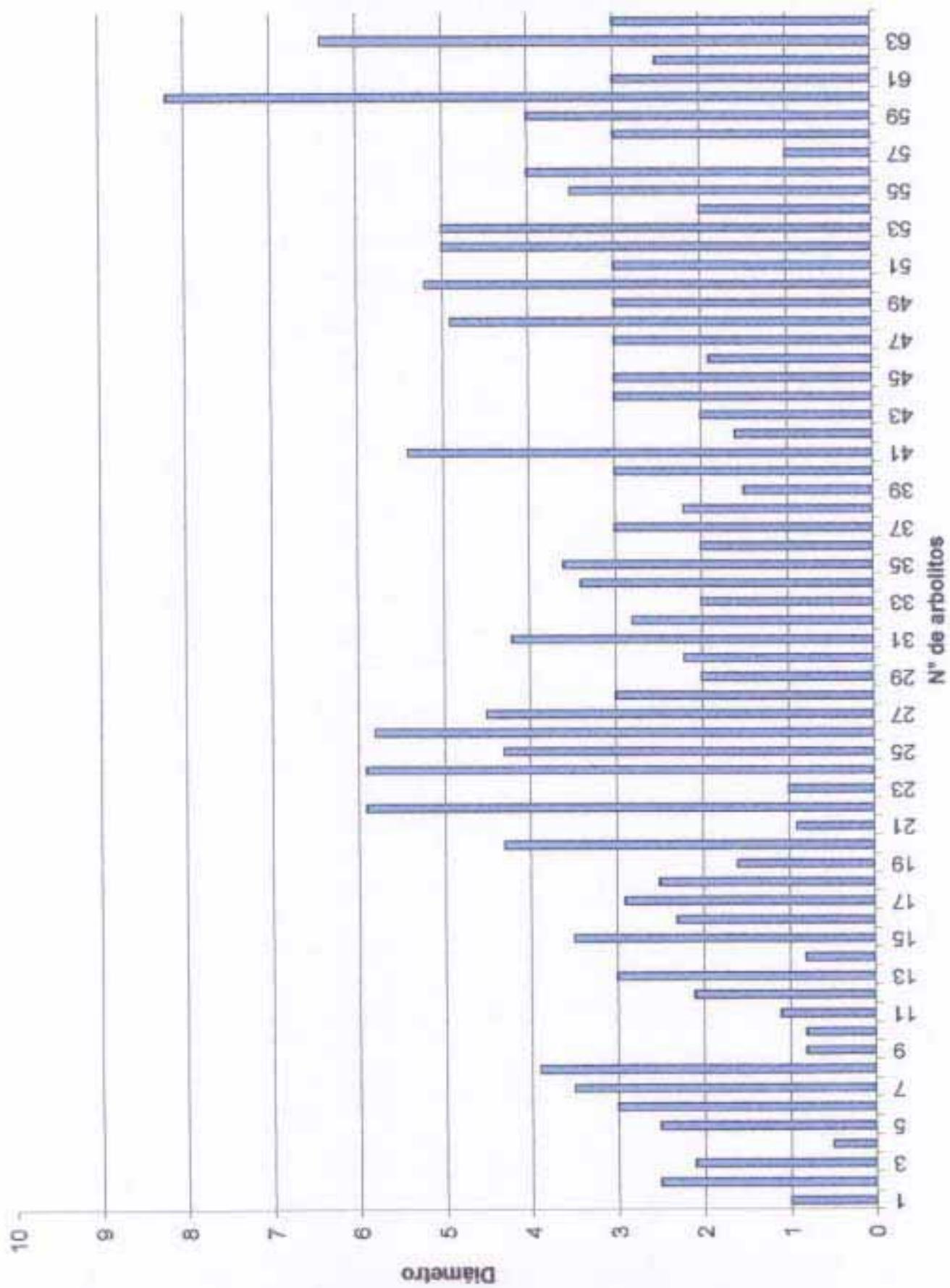
Cobertura de árboles en la repetición uno del sitio 2



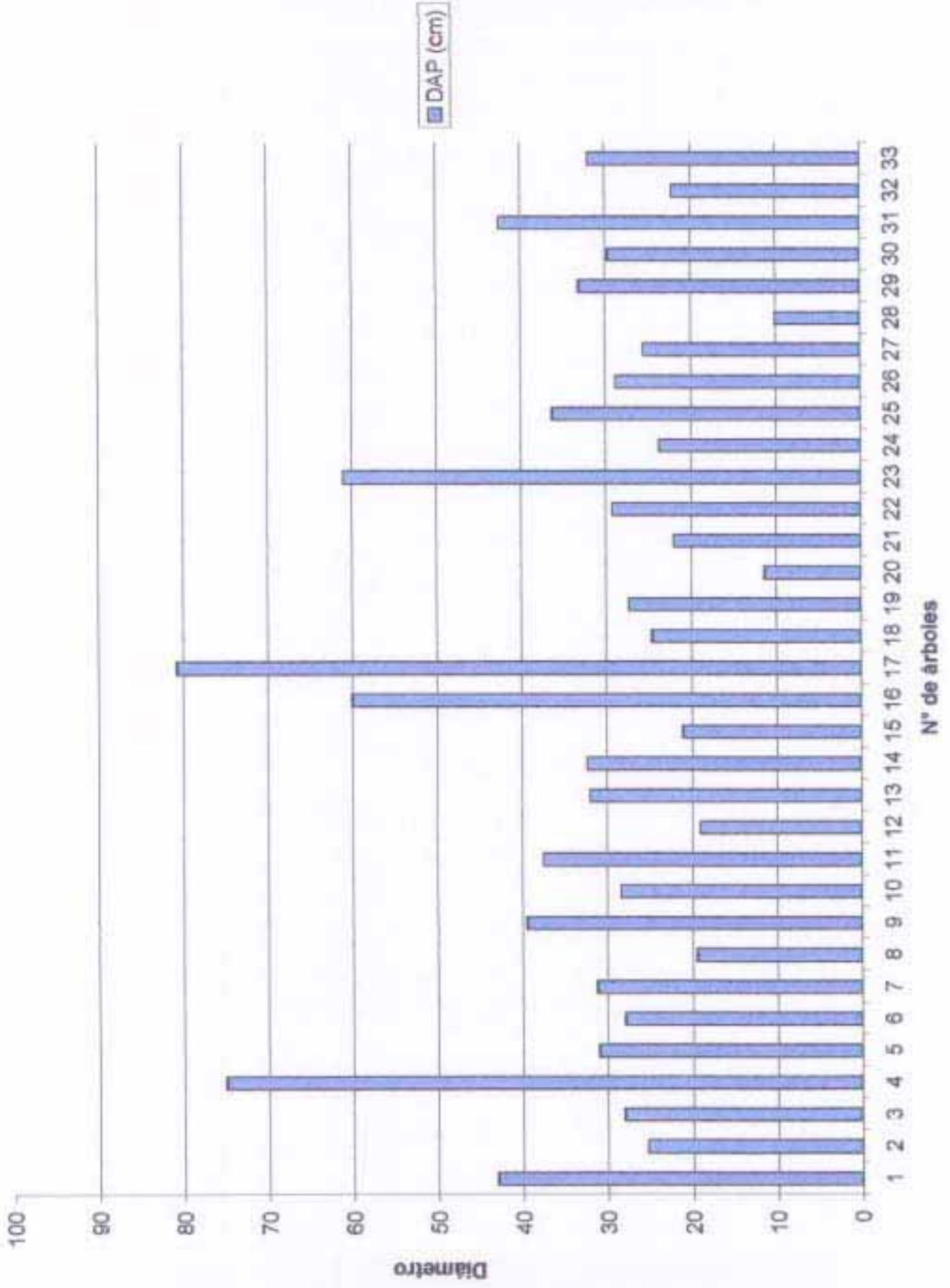
Altura de arbolitos en la repetición uno del sitio 2 hacia los 2900 m de altitud



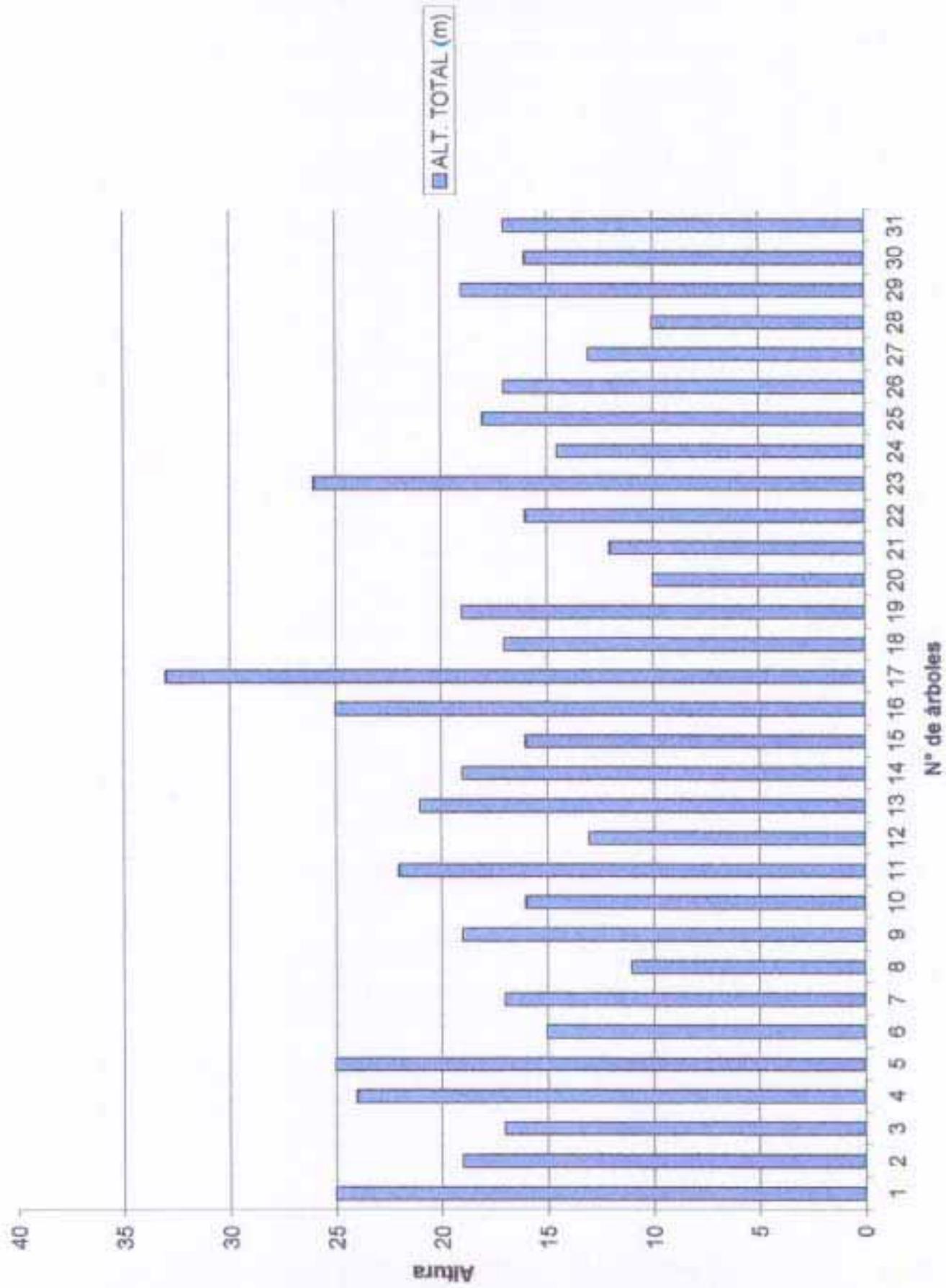
Diámetro de arbolitos en la repetición uno del sitio 2 hacia los 2900 m de altitud



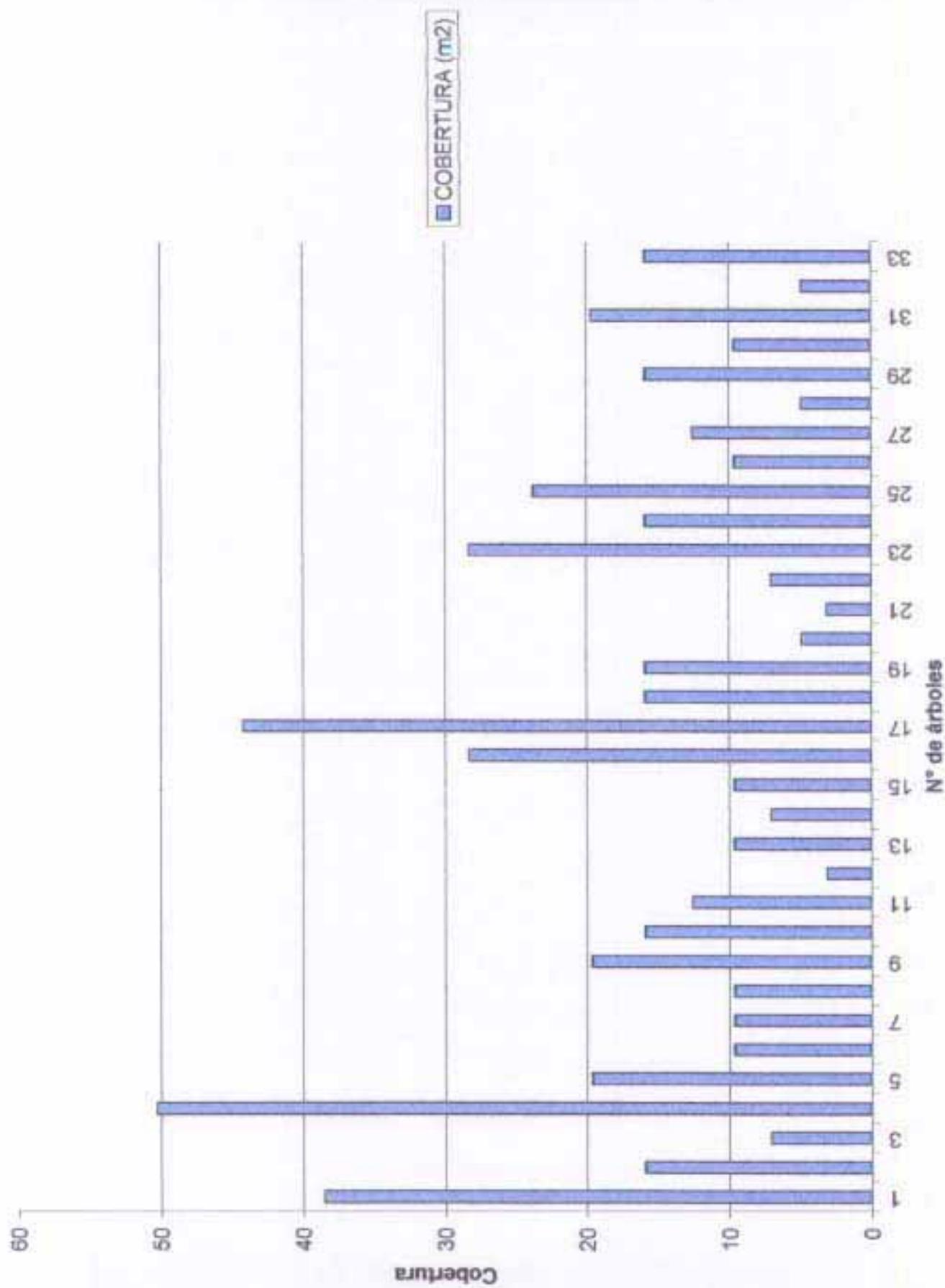
Diámetro de árboles en la repetición dos del sitio 2



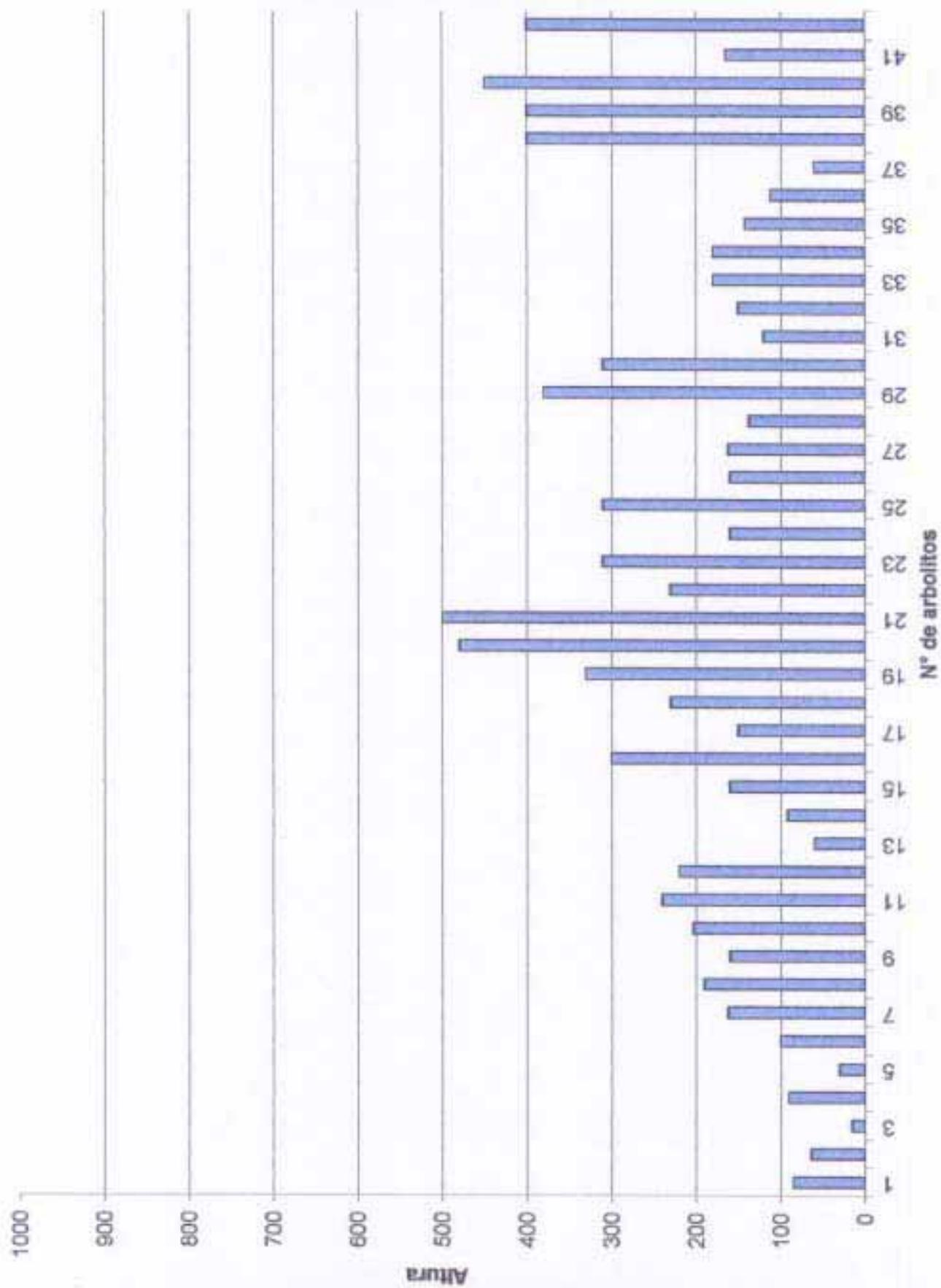
Altura total de árboles en la repetición dos del sitio 2



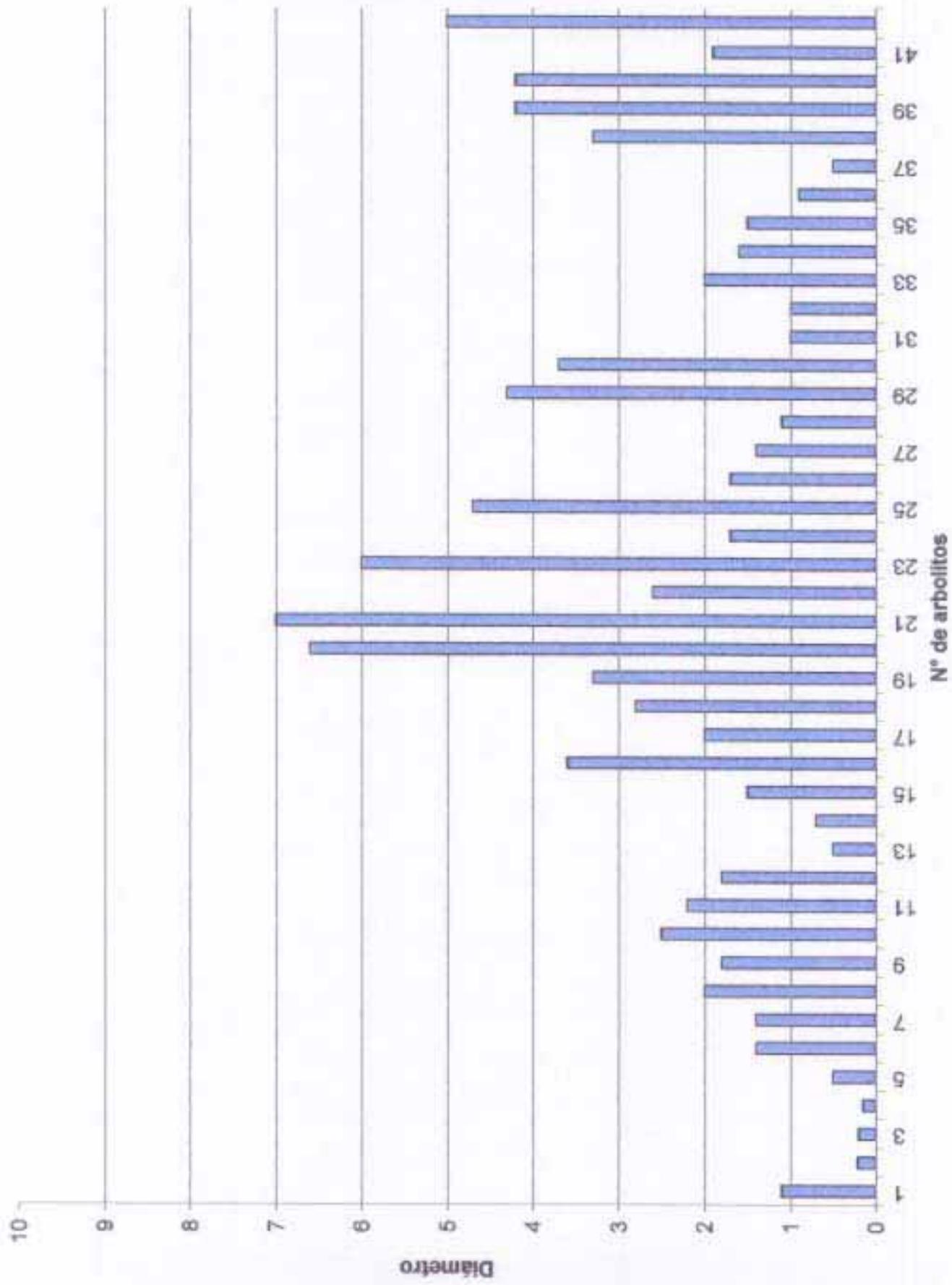
Cobertura de árboles en la repetición dos del sitio 2



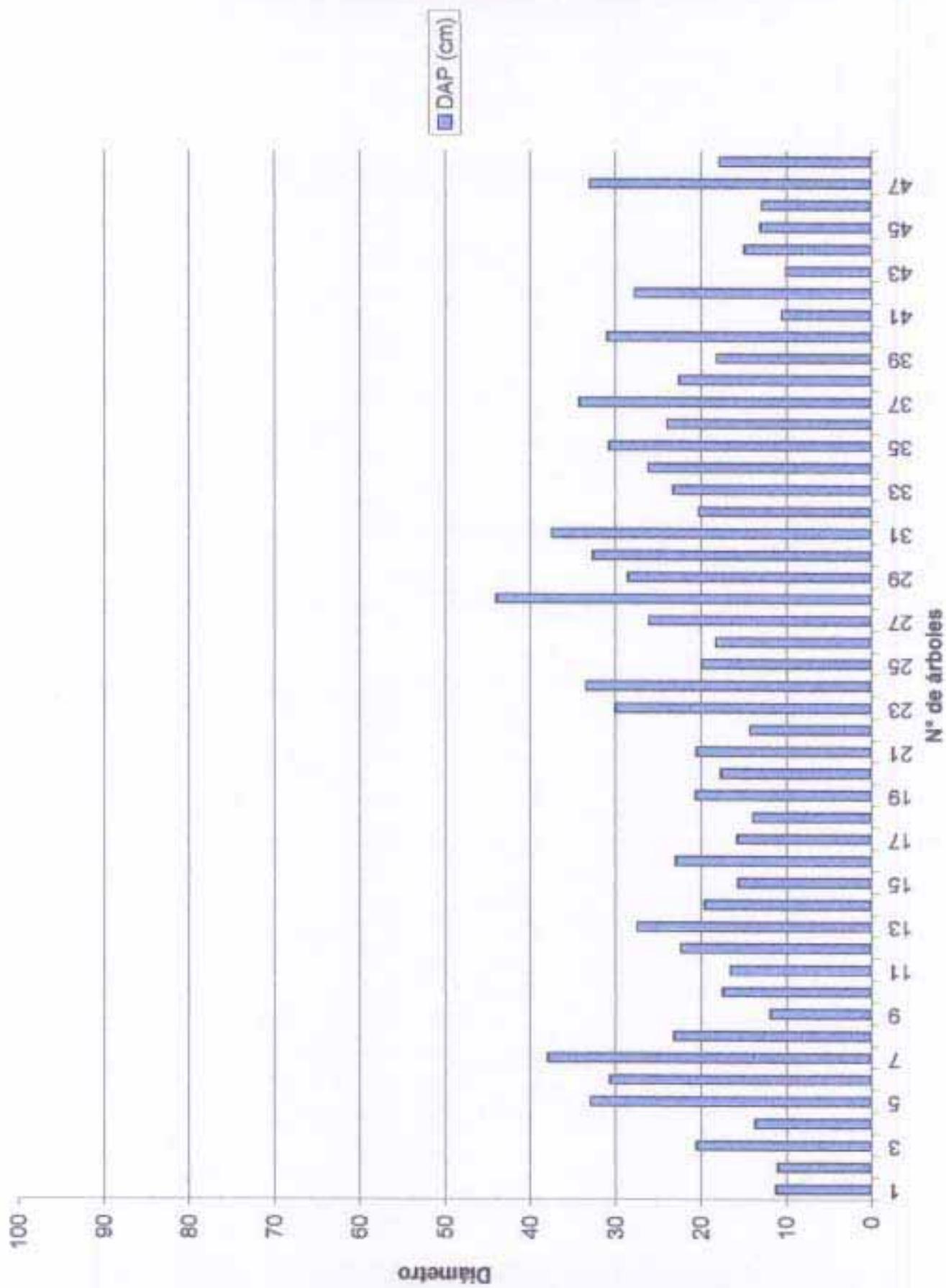
Altura de arbolitos en la repetición dos del sitio 2 hacia los 2900 m de altitud



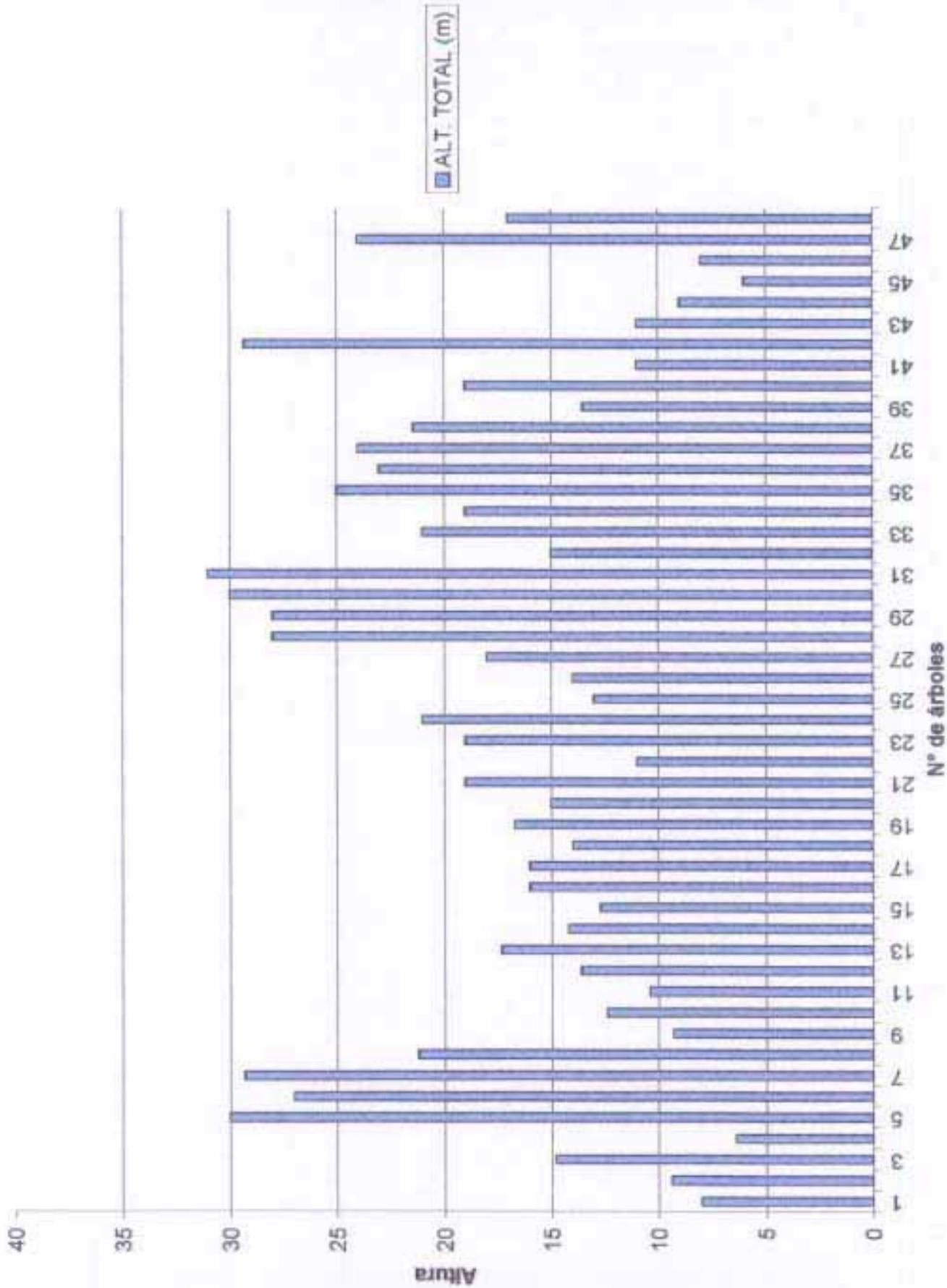
Diámetro de arbolitos en la repetición dos del sitio 2 hacia los 2900 m de altitud



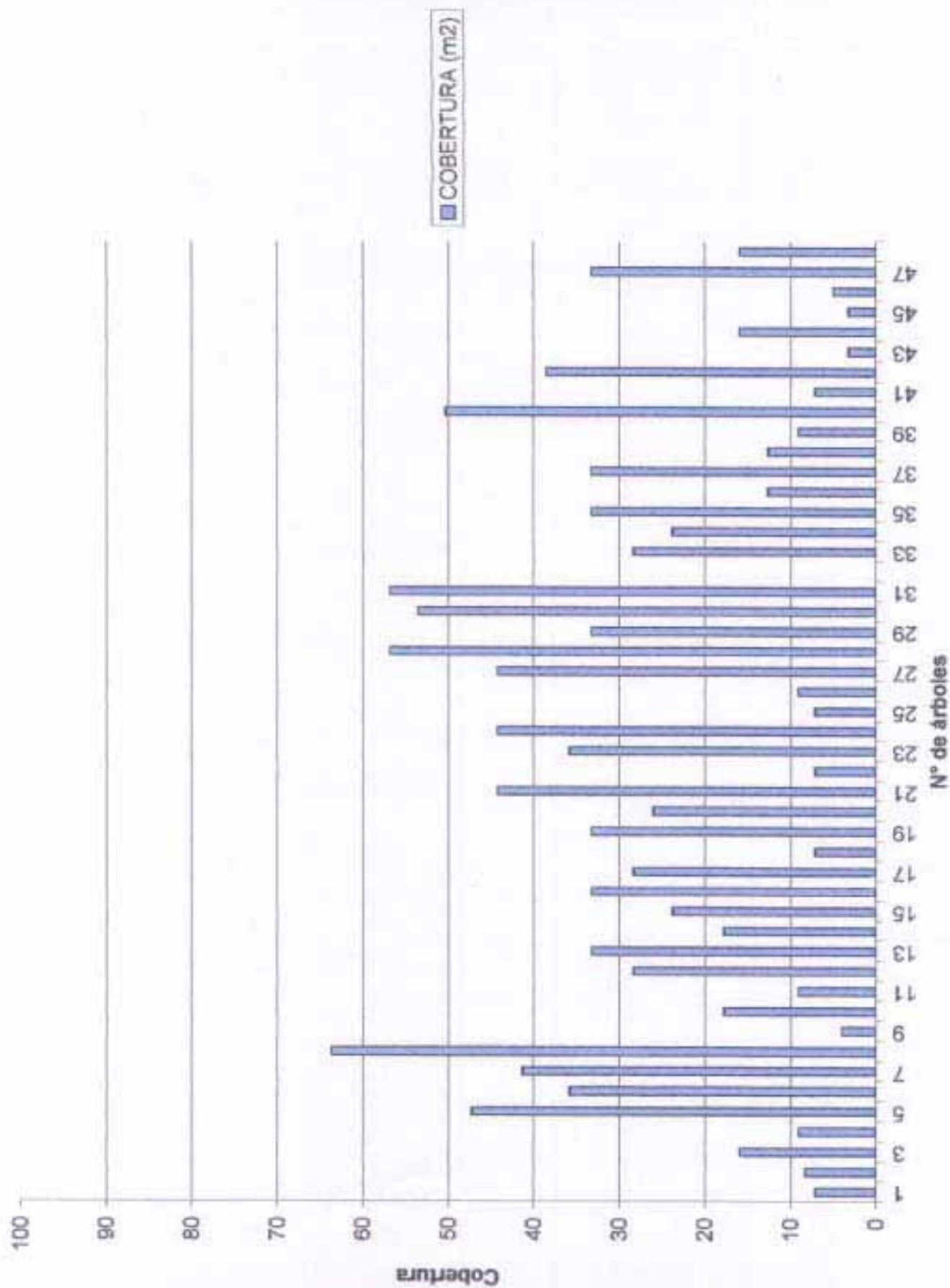
Diámetro de árboles en la repetición uno del sitio 3



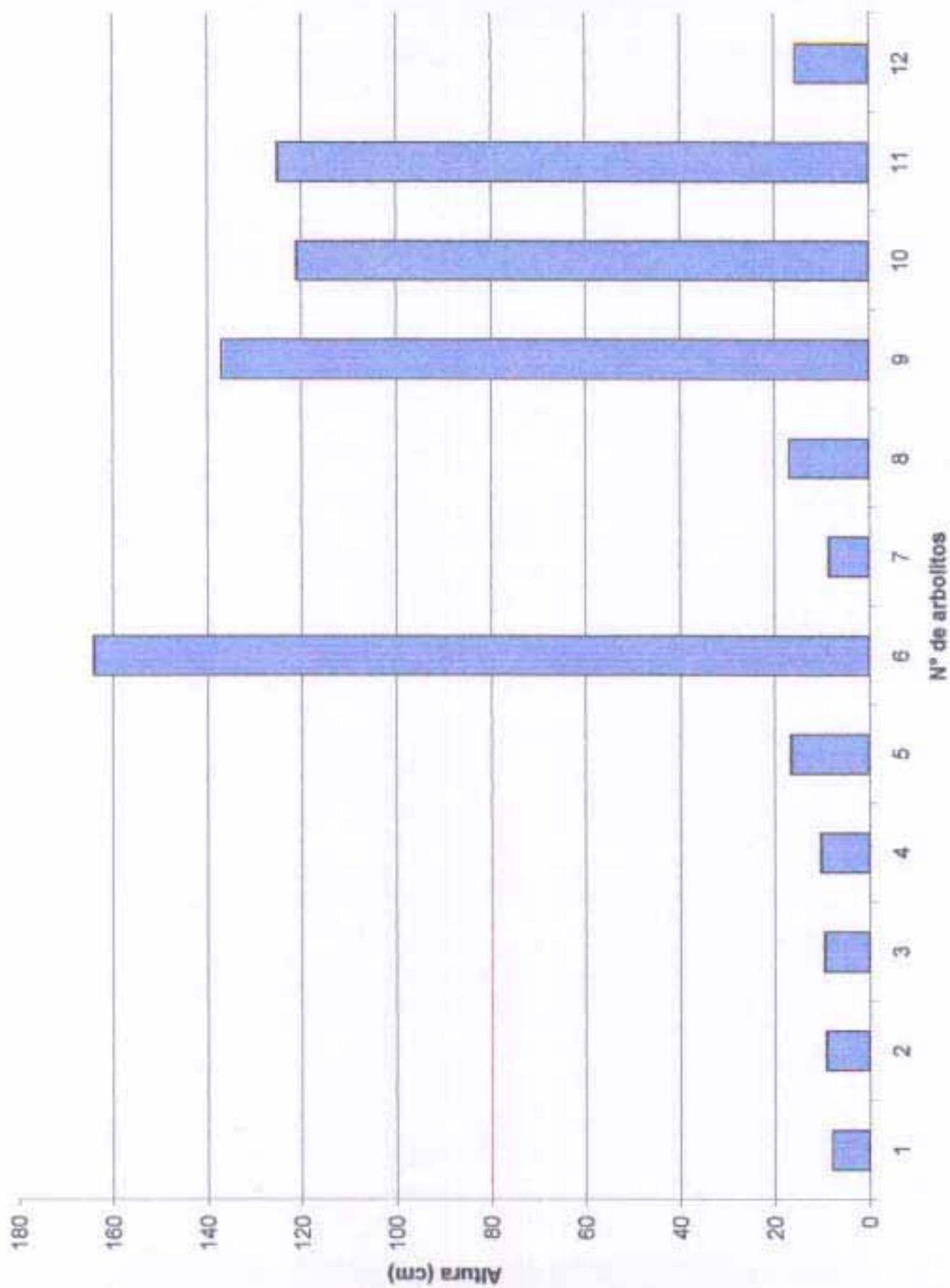
Altura total de árboles en la repetición uno del sitio 3



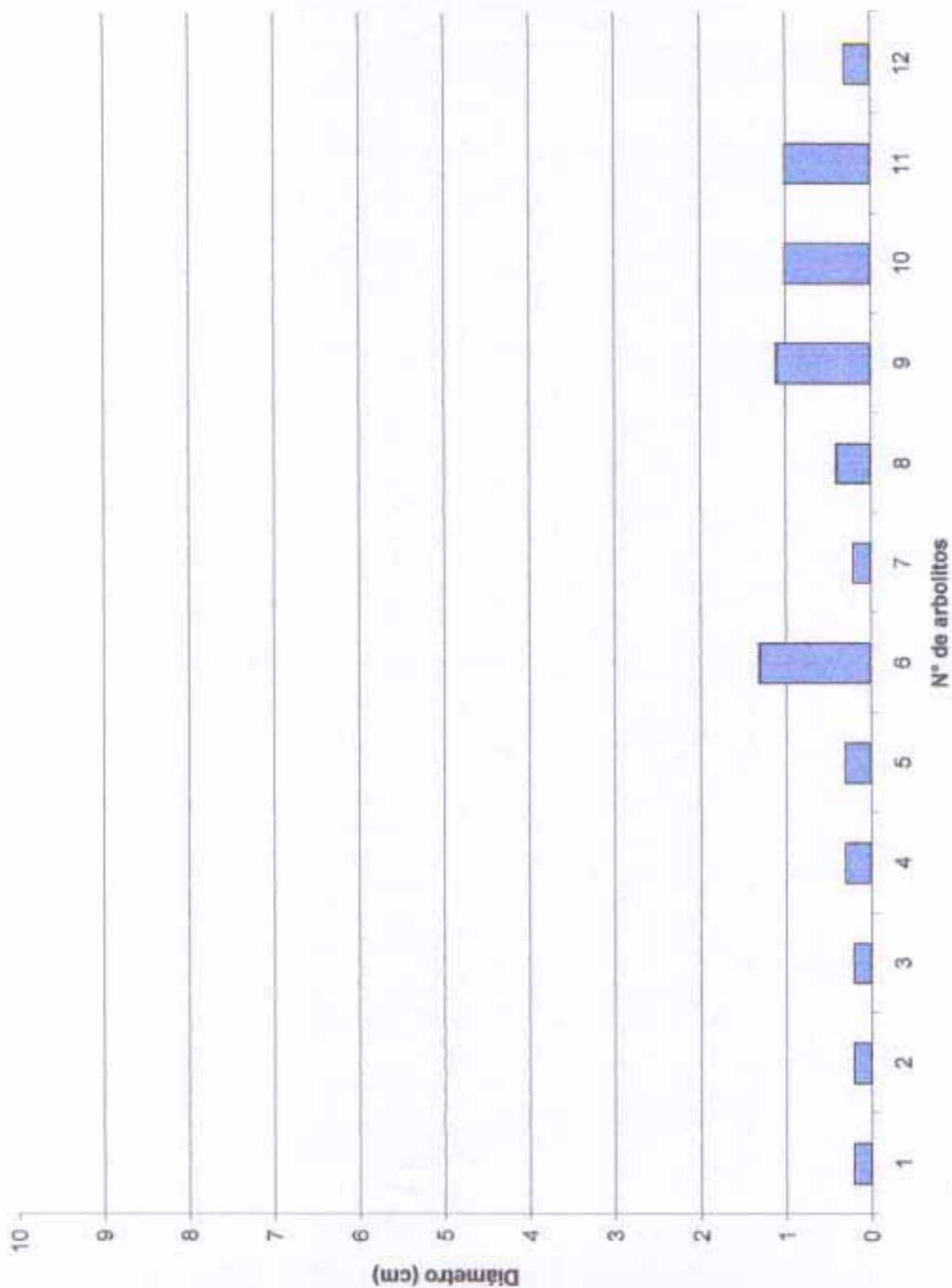
Cobertura de árboles en la repetición uno del sitio 3



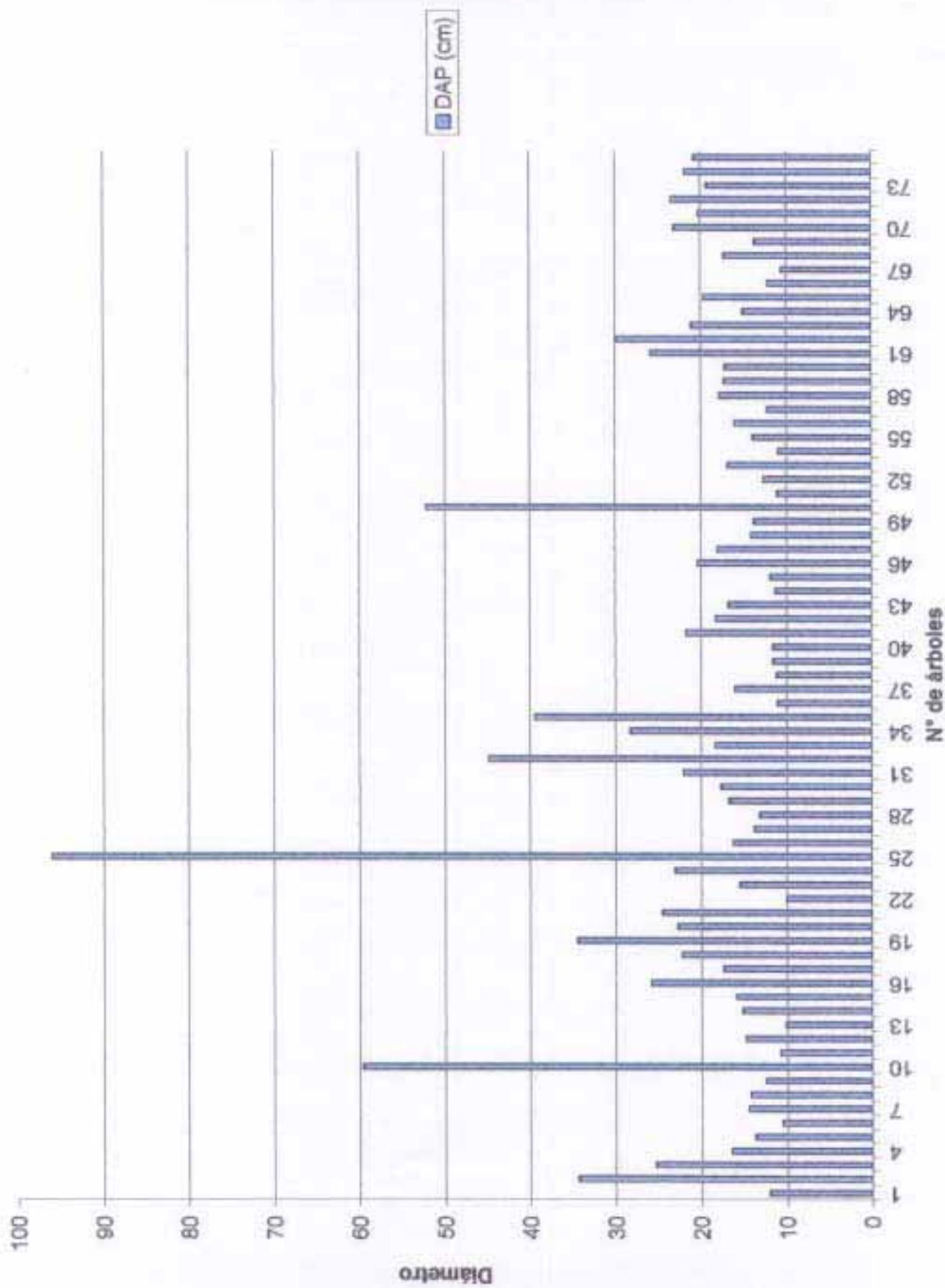
Altura de arbolitos en la repetición uno del sitio 3 hacia los 3130 m de altitud



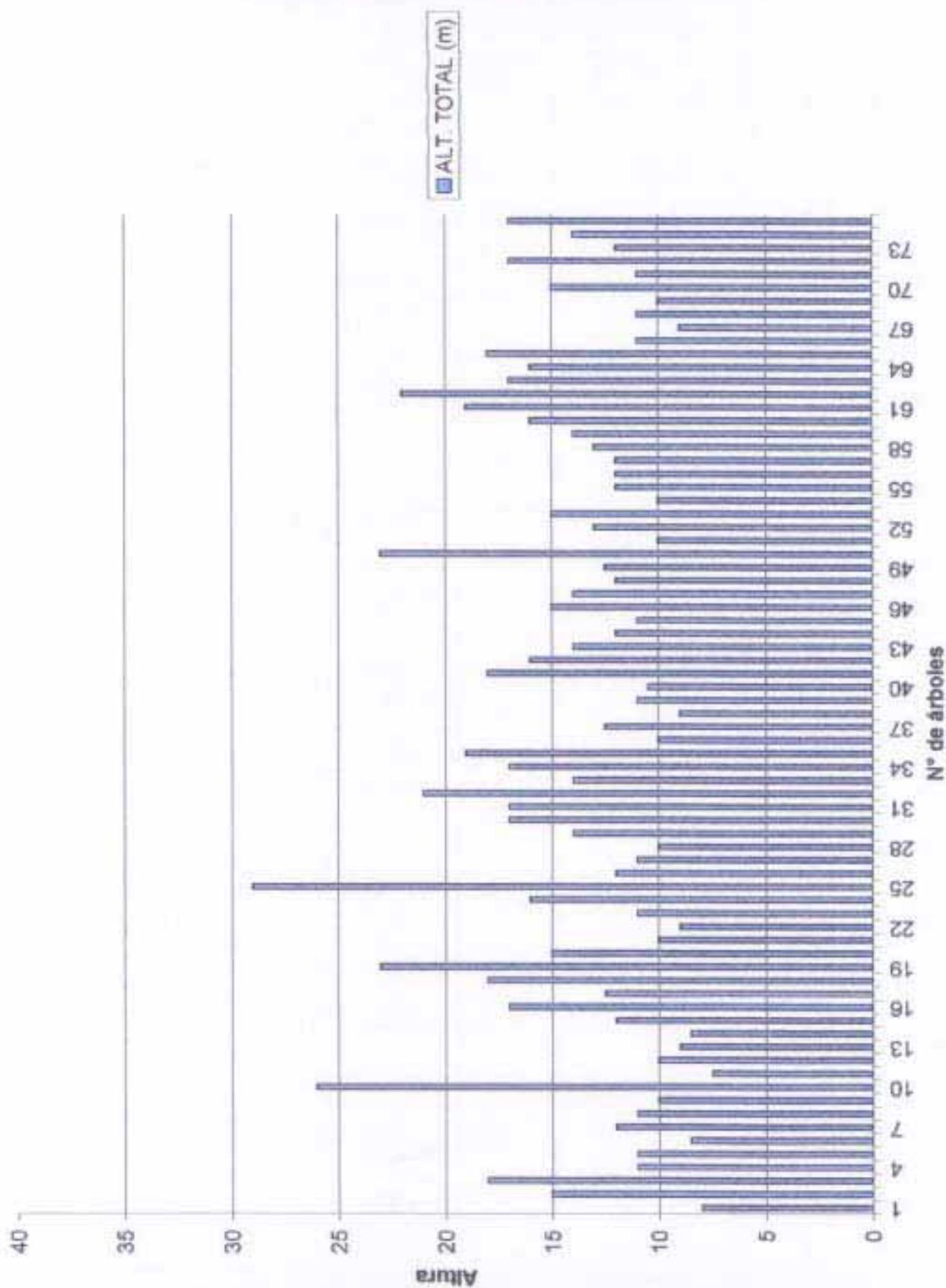
Diámetro de arbolitos en la repetición uno del sitio 3 hacia los 3130 m de altitud



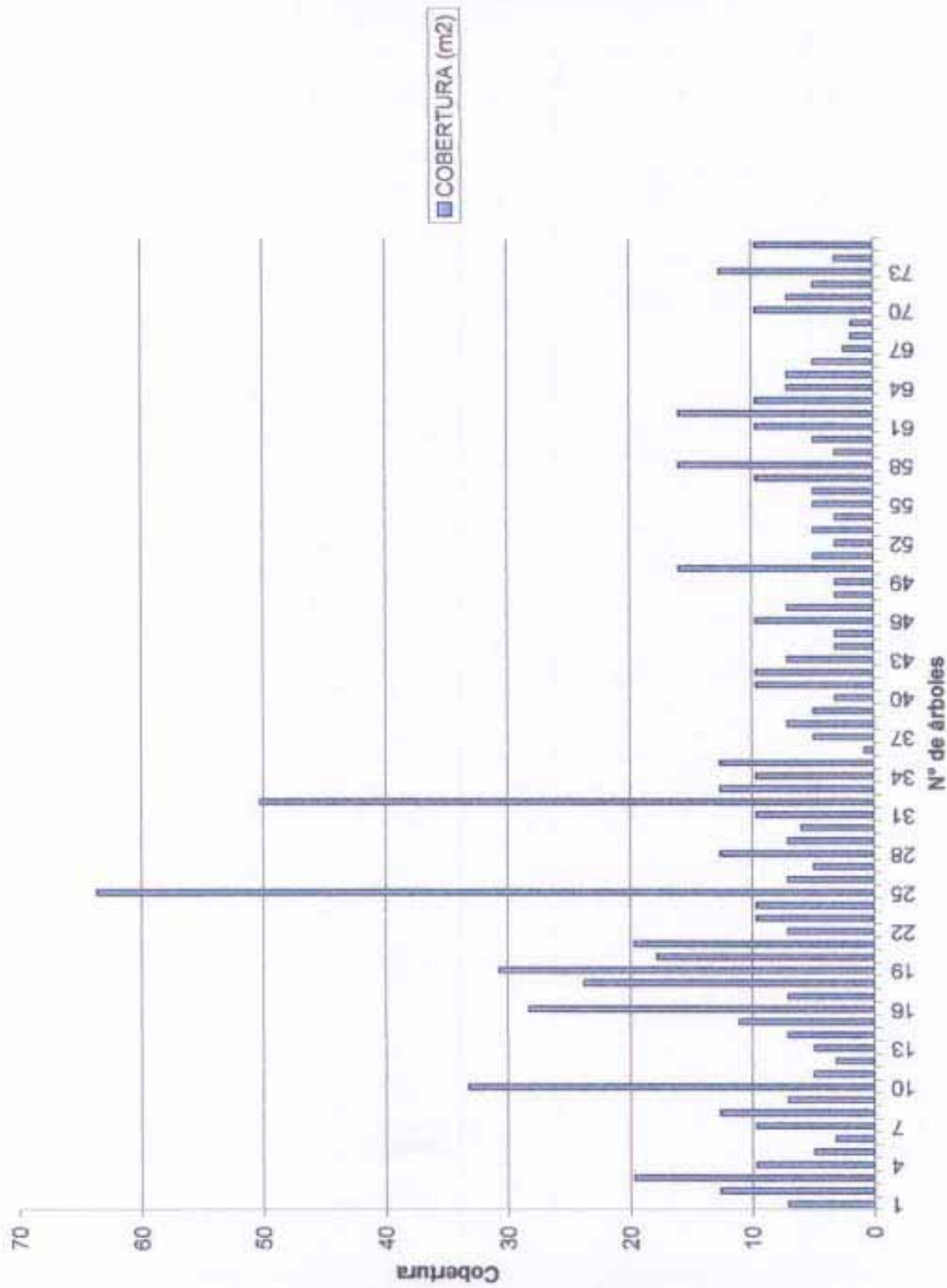
Diámetro de árboles en la repetición dos del sitio 3



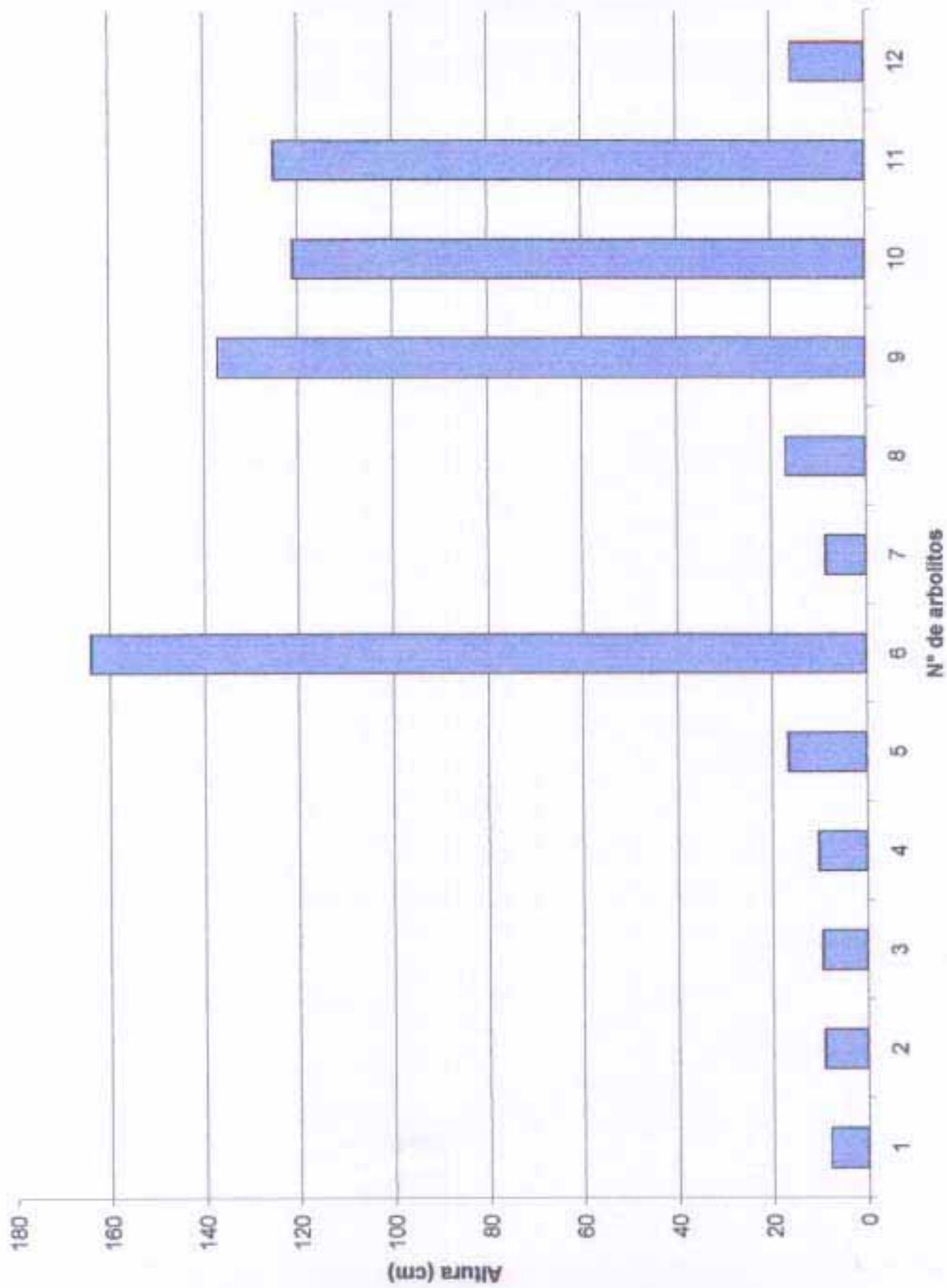
Altura total de árboles en la repetición dos del sitio 3



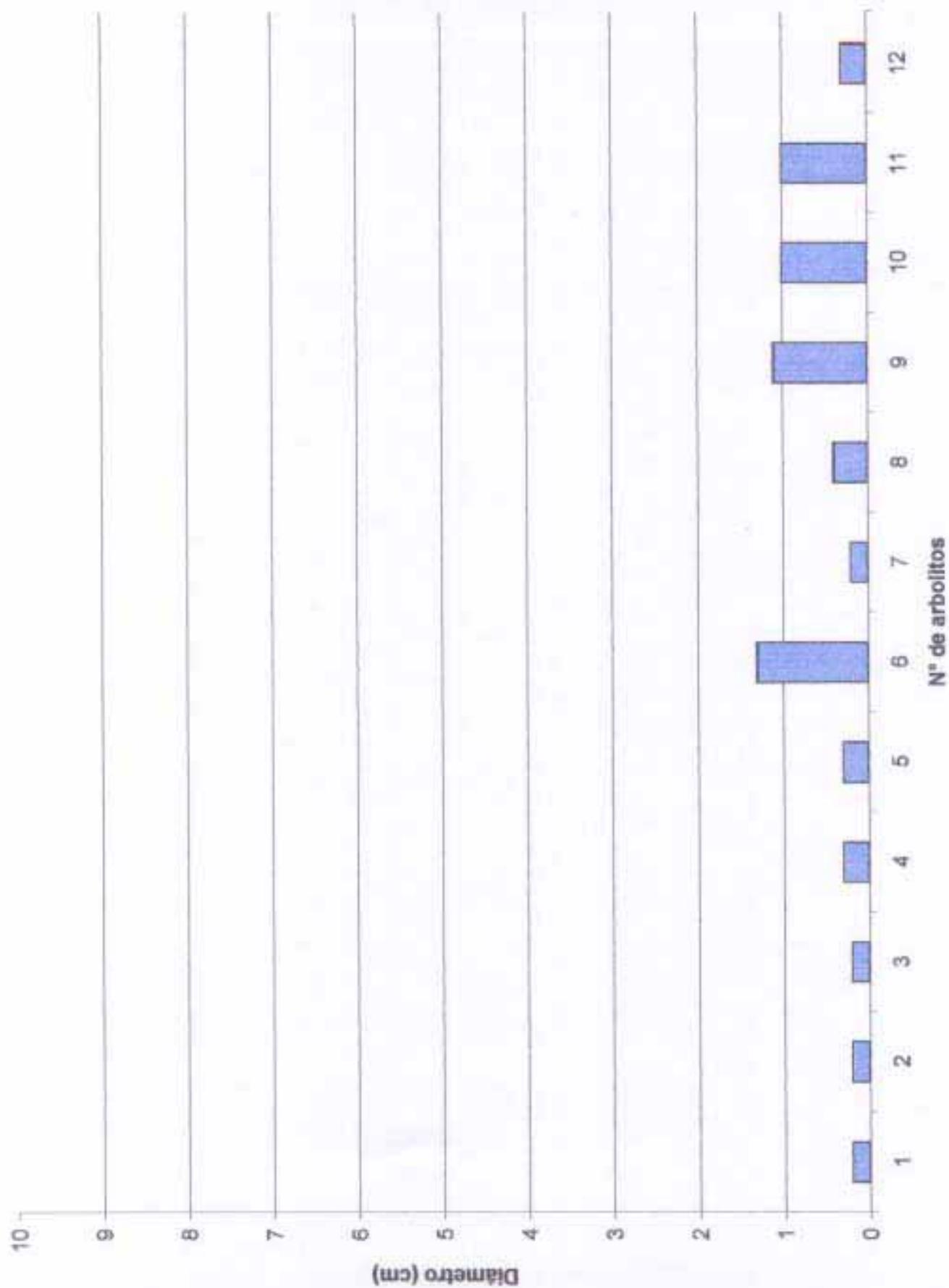
Cobertura de árboles en la repetición dos del sitio 3



Altura de arbolitos en la repetición uno del sitio 3 hacia los 3130 m de altitud



Diámetro de arbolitos en la repetición uno del sitio 3 hacia los 3130 m de altitud



En las siguientes fotos pueden observarse algunas características de la zona estudiada.



Foto 1. Estado actual que guarda el bosque de *Abies hickelii* hacia los 2800 m de altitud, cerca de los sitios uno y dos.



Foto 2. Parte de la sucesión secundaria después de los incendios



Foto 3. Otro aspecto de los efectos provocados por los incendios.



Foto 4. Aspecto general del uso del suelo en la zona cercana a las áreas de muestreo.

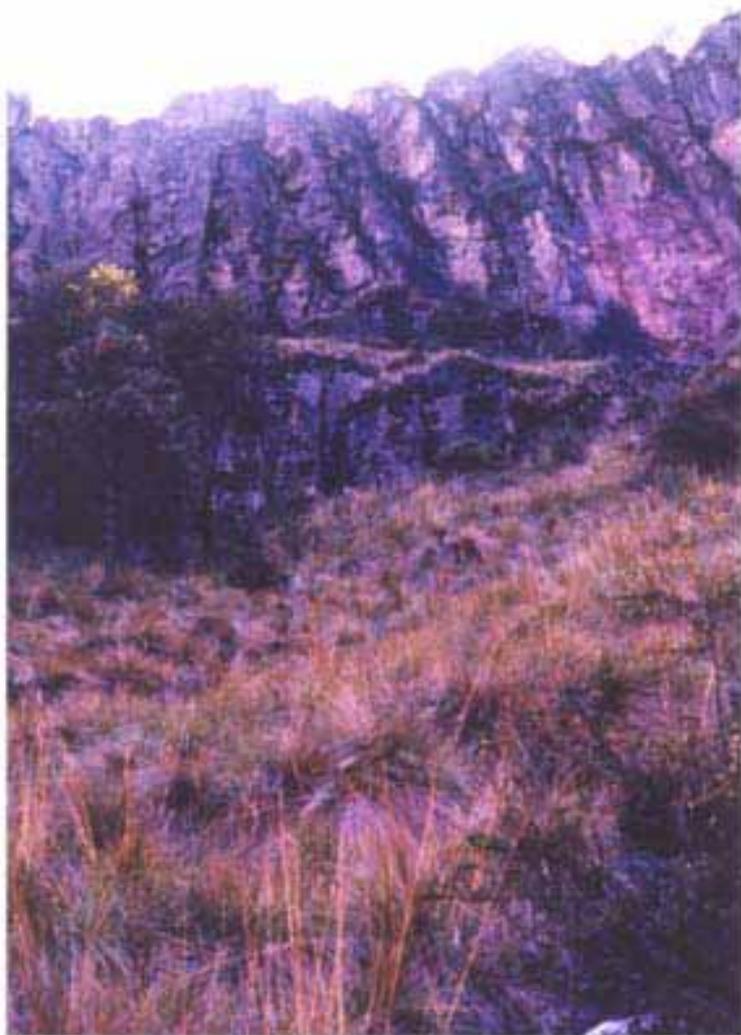


Foto 5. Aspecto general de la zona cercana al sitio tres, hacia los 3130 m de altitud



Fotos 6 y 7. Aspecto general del sitio tres, hacia los 3130 m de altitud.



Foto 8. Forma como se marcó la repoblación del bosque de *Abies hickelii*

