



Artículo / Article

Establecimiento de parcelas permanentes para evaluar impactos del cambio climático en el Parque Nacional Izta-Popo

Permanent plot establishment to assess climate change impacts upon *Izta-Popo* National Park

Miguel Acosta Mireles¹, Fernando Carrillo Anzures¹, Diego Delgado² y Efraín Velasco Bautista³

Resumen

A fin de contar con una línea base de información para monitorear los impactos potenciales del cambio climático en los ecosistemas forestales, se establecieron y caracterizaron nueve Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) de una hectárea en el Parque Nacional Izta-Popo, México, que se distribuyeron en tres zonas: Paso de Cortés, Llano Grande y Tláloc en las tres cotas altitudinales de 3 500, 3 700 y 3 900 m dentro de bosques de *Pinus hartwegii*. Para el arbolado mayor a 7.5 cm de DAP, se estimaron parámetros dasométricos de área basal, volumen, biomasa y carbono. Mediante el modelo estadístico del diseño anidado se detectaron diferencias significativas entre zonas al 0.05 para el volumen, mientras que para el área basal y la biomasa las posibles diferencias pueden ocurrir al 0.1. No obstante, a través del ANOVA que consideró una combinación lineal de todas las variables, se confirmaron diferencias significativas entre zonas con una alfa del 0.05. La condición dasométrica del arbolado presente en las PPM establecidas en el Parque Nacional Izta-Popo sugiere una estructura del bosque de *Pinus hartwegii* con poca regeneración natural y presencia de plagas y enfermedades, que en el mediano plazo pueden incrementarse debido a la madurez y la falta de manejo de los ejemplares. El área relacionada con las parcelas no ostenta cambios de uso del suelo, por lo que es un sitio recomendable para el monitoreo y su relación con las variaciones climáticas.

Palabras clave: Llano Grande, Parcelas Permanentes de Muestreo, Parque Nacional Izta-Popo, Paso de Cortés, *Pinus hartwegii* Lindl., Tláloc.

Abstract

In order to have a baseline of information to monitor the potential impacts of climate change on forest ecosystems nine 1 ha permanent sample plots (PPM) were established and characterized at the *Izta-Popo* National Park, Mexico, which were placed in three areas: *Paso de Cortés*, *Llano Grande* and *Tláloc* in the three altitudinal levels of 3 500, 3 700 and 3 900 m in *Pinus hartwegii* forests. For the trees > 7.5 cm DBH, mensuration parameters of basal area, volume and biomass were estimated. Using the statistical model of the nested design, significant differences between areas to 0.05 for the volume is detected, while for the basal area and biomass potential differences may occur at 0.1. However, through the ANOVA that considered a linear combination of all variables, significant differences between areas with an alpha of 0.05 were confirmed. The mensuration condition of the trees present in the established PPM at the *Izta-Popo* National Park suggests a *Pinus hartwegii* forest structure with few natural regeneration and presence of pests and diseases, which in the medium term may increase due to the maturity and lack of management of the specimens. The plot area shows no signs of land use changes, making it a good place for monitoring and its relation to climate variations.

Key words: *Llano Grande*, Permanent Sampling Plots, *Izta-Popo* National Park, *Paso de Cortés*, *Pinus hartwegii* Lindl., *Tláloc*.

Fecha de recepción/date of receipt: 16 de noviembre de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 30 de julio de 2014.

¹ Campo Experimental Valle de México. Centro de Investigación Región Centro. INIFAP. Correo-e: carrillo.fernando@inifap.gob.mx

² Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP

Introducción

El cambio climático constituye una de las principales amenazas para el futuro de la biodiversidad (Sala *et al.*, 2000; Parmesan, 2006), pero para contar con información más confiable de lo que podrá verificarse en el futuro, es conveniente establecer estudios de fenómenos ecológicos a largo plazo para un entendimiento de las modificaciones ambientales que ocurren en el planeta y para la implementación de planes adecuados en el manejo de ecosistemas (Vallejo *et al.*, 2005), sobre todo en aquellos que son vulnerables como los terrestres de alta montaña (Escudero *et al.*, 2012).

Tradicionalmente las Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) se han utilizado en el contexto del manejo forestal (BOLFOR-PROMABOSQUE, 1999; Groothusen y Alvarado, 2000; Pinelo, 2000; Manzanero, 2003) porque hacen posible la observación de diversas variables ecológicas y económicas significativas, y reunir evidencia para apoyar el manejo sostenible (Kleinn y Morales, 2002).

La argumentación científica obtenida para ofrecer aproximaciones en la evaluación de respuestas potenciales ante el cambio climático de distintos grupos de organismos (Thomas *et al.*, 2004; Thuiller *et al.*, 2005, 2011; Ohlemuller *et al.*, 2006) apenas se ha traducido en propuestas concretas de gestión que permitan minimizar los impactos del fenómeno sobre las especies y las comunidades naturales (Arribas *et al.*, 2012); esto sugiere que la vulnerabilidad de los ecosistemas mexicanos ante un cambio climático global es un tópico relativamente poco explorado desde hace décadas (Villers y Trejo, 1998).

De acuerdo al IPCC (2002), los impactos de los cambios esperados en el clima incluyen modificaciones de muchos aspectos de la biodiversidad y en los regímenes de las alteraciones (por ejemplo, cambios en la frecuencia e intensidad de incendios, plagas y enfermedades); lógicamente, este tipo de cambios incidirá de manera inmediata en el hábitat de las especies y, por lo tanto, en la estabilidad de los ecosistemas.

En este contexto, se lleva a cabo un proyecto en América Latina para medir los efectos potenciales del cambio climático en parcelas ubicadas en cordilleras de alta montaña, de preferencia en áreas naturales protegidas. El establecimiento y caracterización inicial del conjunto de PPM en el Parque Nacional Iztá-Popo en México se inscribe en el marco del proyecto *Climate Change, Iberoamerican Mountain Forests and Adaptation* (CLIMIFORAD) financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID); uno de sus objetivos consiste en monitorear los impactos potenciales del cambio climático en ecosistemas forestales en cordilleras de esta parte del mundo, con el propósito de contar con herramientas para la adaptación de la gestión.

Introduction

Climate change is one of the major threatens for the future of biodiversity (Sala *et al.*, 2000; Parmesan, 2006), but to count with more reliable information of what can be confirmed in the future, it is convenient to establish studies of the ecological phenomena studies on the long run for an understanding of the environmental modifications that take place in the planet and for the implementation or more convenient plans in the management of ecosystems (Vallejo *et al.*, 2005), particularly in those which are vulnerable as those of high mountain (Escudero *et al.*, 2012).

Traditionally, Permanent Sampling Plots (PPM for its acronym in Spanish) have been used in the context of forest management (BOLFOR-PROMABOSQUE, 1999; Groothusen and Alvarado, 2000; Pinelo, 2000; Manzanero, 2003) because they favor the observation of the several economic and ecological variables and gather evidence to support sustainable management (Kleinn and Morales, 2002).

The scientific arguments obtained to offer approaches in the assessment of potential answers on the face of climatic change of different groups of organisms (Thomas *et al.*, 2004; Thuiller *et al.*, 2005, 2011; Ohlemuller *et al.*, 2006) has just been translated into negotiating concrete proposals that allow to reduce the impacts of the phenomenon about the species and natural communities (Arribas *et al.*, 2012); this suggests that the vulnerability of the Mexican ecosystems against global climate change is a rather poorly explored topic by several decades (Villers and Trejo, 1998).

According to IPCC (2002), the unexpected impacts of change in climate include alterations of many aspects of biodiversity and in their regimes (for example, changes in the frequency and intensity of fires, plagues and diseases); this, logically, will affect in an immediate way, in the habitat of the species, and therefore, in the stability of ecosystems.

In this context, a project is being carried out in Latin America to measure the potential effects of climate change in plots located in the high mountain chains, preferably in natural protected areas. The establishment and initial description of PPM in *Iztá-Popo* National Park belong to the framework of the *Climate Change, Iberoamerican Mountain Forests and Adaptation* (CLIMIFORAD) Project, which is sponsored by the Interamerican Development Bank (IDB); one of its goals is to monitor the potential impacts of climate change in forest ecosystems in the mountain chain of this part of the world, in order to count with the tools for the adaptation of management.



Este parque es reconocido como un territorio clave en la provisión de servicios ambientales para el mantenimiento de las áreas urbanas ubicadas en sus inmediaciones, como en el Distrito Federal y en los estados de México, Puebla y Morelos, debido a la riqueza y diversidad de sus recursos naturales indispensables en la regulación del clima y en la contribución a la alimentación de las aguas de los ríos, manantiales y lagunas de los valles circundantes; estos son la fuente principal para consumo humano y para las actividades agropecuarias de las poblaciones limítrofes al parque, la conservación del suelo, y el mantenimiento del régimen hídrico y del equilibrio climático de la región.

Debido a lo anterior, en 1935, los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl fueron declarados como parque nacional (DOF, 1935), a partir de la cota de los 3 000 msnm y que en la actualidad es denominado Parque Nacional Izta-Popo; su superficie y límites fueron redefinidos posteriormente a partir de los 3 600 msnm (DOF, 1992).

La elección del Parque Nacional Izta-Popo para el establecimiento de las PPM se basó en la importancia que tiene el lugar como receptor de gases de efecto invernadero y su cercanía con la ciudad de México y área metropolitana; por lo tanto, su aptitud para ponderar escenarios de cambio climático en el corto y mediano plazo son de gran relevancia para la zona más poblada del país. La caracterización dasonómica inicial se considerará como la línea base para la remediación y el consecuente monitoreo que permitirá el planteamiento de estudios de este orden desde el punto de vista ecológico y su relación con la distribución y condición de las especies en el parque.

Así, los objetivos del presente estudio consistieron en establecer y evaluar una red de parcelas permanentes de medición (PPM) para el monitoreo de los impactos en la biodiversidad, provocados por el cambio climático, mediante la medición de variables e indicadores ecológicos, en bosques de pino; y caracterizar y comparar la vegetación presente en las parcelas permanentes a diferentes altitudes en el Parque Nacional Izta-Popo, México.

Materiales y Métodos

Características del Parque Nacional Izta-Popo

El Parque Nacional Izta-Popo forma parte de la Sierra Nevada y se localiza entre los 18°59'00.43" y 19°28'09.44" N y 98°34'55.88" y 98°46'40.95" O (Semarnat-Conanp, 2013). Esta Sierra corresponde a un macizo montañoso de alrededor de 100 km que corre de Norte a Sur y separa las cuencas de México y Puebla. Las lavas de la Sierra Nevada se derivan de un mismo centro eruptivo, probablemente situado en la cima

This park is well-known as a key territory to provide environmental services for the maintenance of urban areas located in their surroundings, as Mexico City and the State of Mexico, Puebla and Morelos, from the richness and diversity of essential natural resources in the regulation of climate and in the contribution to feed the water of rivers, springs and lagoons of the surrounding valleys; they are the major source for human use and agro-livestock activities of the limiting populations of the park, the conservation of soil, the maintenance of the water regime and the climate balance of the region.

From the previous arguments, in 1935 (DOF, 1935), the *Iztaccíhuatl* and *Popocatepetl* volcanoes, were stated as National Park from the 3 000 m altitude; their surface area and limits from 3 600 m were defined later in 1947 (DOF, 1992).

The choice of *Izta-Popo* National Park for the establishment of the PPM was based on the importance of the place as a recipient of greenhouse gases and its proximity to Mexico City and metropolitan area; therefore, their ability to weigh climate change scenarios in the short and medium term are of great importance for the country's most populous region. The initial mensuration description will be taken as the base line for re-measurement and its resulting monitoring that will allow this kind of stories from the ecological standpoint and their relation to distribution and state of the species of the park.

Thus, the aims of the actual study were to establish and assess a net of permanent measuring plots (PPM) for monitoring the impacts upon biodiversity due to climate change, through the measurements of variables and ecological indicators in pine forests and to describe and compare the present vegetation at the permanent plots at different altitudes in *Izta-Popo* National Park, Mexico.

Materials and Methods

Description of *Izta-Popo* National Park

Izta-Popo National Park is part of *Sierra Nevada* and is located between 18°59'00.43" and 19°28'09.44" N and 98°34'55.88" and 98°46'40.95" W (Semarnat-Conanp, 2013). This mountain chain belongs to a mountain range about 100 km long that runs from north to south and divides Mexico and *Puebla* basins. The lavas of *Sierra Nevada* come from an eruption center, probably found on the present day peak of *Iztaccíhuatl* volcano; drainage is well built and runs in the deep ravines. In this mountain chain the following peaks are outstanding: *Tlálloc* at 4 120 masl; *Telapón* at 4 060 masl and *Papayo* at 3 600 masl. The uneven topography of the park has deep ravines of slopes from 25 to 50°, and sidehills with soft slopes between 2 and 10°, which gave birth to intermountain ridges. At the west limit of the park are found the alluvial fans that form the plain topographic hills (Semarnat-Conanp, 2013).

actual del volcán Iztaccíhuatl; el drenaje está bien configurado y recorre barrancas profundas. En esta serranía destacan las otras cimas del parque: el Tláloc a 4 120 msnm; el Telapón a 4 060 msnm, y el Papayo a 3 600 msnm. El accidentado relieve del parque tiene cañadas de fuerte inclinación que van desde los 25 hasta los 50°; y laderas con pendientes suaves de entre 2 y 10°, las cuales dieron origen a la conformación de lomeríos intermontanos. En el extremo occidental del parque se ubican los denominados abanicos aluviales que forman lomeríos de topografía llana (Semarnat-Conanp, 2013).

De acuerdo con la clasificación de la FAO, las unidades de suelo presentes en el área de estudio son Eptosoles, Andosoles, Cambisoles y Fluvisoles. Los recursos hídricos que nacen en el parque nacional son originados principalmente por los deshielos de los glaciares y la precipitación pluvial, abundante en la región, que por lo general es mayor a los 1 000 mm anuales. Las corrientes superficiales pueden ser permanentes o intermitentes, las últimas de las cuales son innumerables durante la época de lluvias. También se produce gran infiltración de agua que alimenta varias corrientes subterráneas; los ecosistemas de la Sierra efectúan los procesos que permiten la recarga de acuíferos y mantos freáticos que abastecen buena parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, del valle de Puebla-Tlaxcala y del valle Cuautla-Cuernavaca (Semarnat-Conanp, 2013).

Debido a su topografía y ubicación, en el parque se reúne una variedad de climas desde el templado húmedo al frío y muy frío; la temperatura disminuye a razón de 0.68 °C por cada 100 m de altura. Se verifican, entonces, el clima templado, el subhúmedo, con lluvias en verano, con una temperatura media del mes más frío inferior a los 18 °C, pero superior a -3 °C (C (w₂) (w) (b') ig); clima templado-húmedo, con lluvias de verano y una temperatura media anual entre 12 y 18 °C y la del mes más frío de 11.2 °C (C(m) (w) b(e) g) (Semarnat-Conanp, 2013).

Los bosques de coníferas son la vegetación dominante, seguida por la pradera de alta montaña o pastizal alpino, vegetación herbácea de no más de 50 cm de altura que colinda con las nieves perpetuas. Hasta los 3 100 m de altitud existen asociaciones dominadas por *Pinus montezumae* Lamb., principalmente. Forman un dosel de 20 a 30 m sobre el nivel del suelo, por lo regular asociado con especies de *Quercus*, *Abies*, *Arbutus*, *Alnus*, *Salix* y *Buddleia* en la zona del Popocatepetl. Por otra parte, en Zoquiapan la distribución del bosque de pino, dominado por *Pinus hartwegii* Lindl. y *P. montezumae* Lamb., se relaciona más con suelos con abundante materia orgánica. También es frecuente la asociación de la primera especie de pino con la segunda. En estos bosques el dosel no es muy cerrado, lo que permite el establecimiento y desarrollo de diversas especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. Los géneros mejor representados además de *Pinus*, son *Senecio*, *Ribes*, *Muhlenbergia*, *Agrostis*, *Lupinus* y *Festuca* (CUPREDER, 2001; DOF, 2005).

According to FAO, soil units in the study area are Eptosols, Andosols, Cambisols and Fluvisols. Water resources that are born in the national park come, mainly, from glacier thawing and rainfall, abundant at the region, which regularly is over 1 000 mm a year. Superficial runoffs may be permanent or not, the latter of which are countless in the rainy season. A great water infiltration is produced here that feeds several underground runoffs; the ecosystems of the Sierra carry on procedures that allow the water bodies and water ground reload that supply a good amount of what the Metropolitan area of Mexico City, Puebla-Tlaxcala valley and Cuautla-Cuernavaca valley (Semarnat-Conanp, 2013).

From its topography and location, the park gather a variety of climates from the humid mild to the cold and very cold; temperature lowers around 0.68 °C for each 100 m in height. Therefore, there are the mild weather, the subhumid, with summer rains, with a mean temperature of the coldest month under 18 °C, but higher than -3 °C (C (w₂) (w) (b') ig); subhumid mild weather, with summer rains and a mean annual temperature between 12 and 18 °C and 11.2 °C as that of the coldest month (C(m) (w) b(e) g) (Semarnat-Conanp, 2013).

Softwood or conifer forests are the dominant vegetation, followed by the high mountain meadow or alpine grassland, herb vegetation of not more than 50 cm tall that neighbors the perpetual snows. Up to 3 100 m high there are associations dominated by *Pinus montezumae* Lamb., mainly. They form a 20 to 30 m canopy from the ground, regularly in association to species of *Quercus*, *Abies*, *Arbutus*, *Alnus*, *Salix* and *Buddleia* in the Popocatepetl zone. On the other hand, in Zoquiapan the distribution of pine forest, dominated by *Pinus hartwegii* Lindl. and *P. montezumae* Lamb. is more related to soils than to abundant organic matter. It is also frequent the association of the first pine species with the second. In these forests the canopy is not especially close, which allows the establishment and development of several tree, scrub and herb species. Besides *Pinus*, the best represented genera are *Senecio*, *Ribes*, *Muhlenbergia*, *Agrostis*, *Lupinus* and *Festuca* (CUPREDER, 2001; DOF, 2005).



Hacia los 3 600 msnm, en las partes más elevadas y abruptas se establece el bosque de *P. hartwegii*, especie conocida como el pino de las alturas; es tolerante a las bajas temperaturas, nevadas y probablemente uno de los pinos más adaptados a los incendios superficiales. En las partes bajas de su área de distribución forma rodales abiertos asociados con zacatonal denso y leguminosas como *Lupinus* spp., con árboles entre 15 y 20 m de alto; pero hacia las partes más elevadas (4 000 msnm), con frecuencia constituye un bosque achaparrado (de 5 a 8 m de alto) y más bien abierto, aunque algunos individuos aislados pueden advertirse a los 4 200 msnm, que es el límite altitudinal arbóreo en México.

Otro tipo de bosque de coníferas es el bosque de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schl. et Cham.), que se distribuye en un intervalo altitudinal entre los 2 400 y los 3 500 msnm. El dosel de esta comunidad suele estar entre los 20 y 40 m sobre el nivel del suelo y en muchos sitios se hallan limitados a cañadas o barrancas más o menos profundas que ofrecen un microclima especial (CUPREDER, 2001; DOF, 2005).

En el parque son comunes también los pastizales subalpinos, que se caracterizan por la presencia de gramíneas amacolladas que miden entre 60 y 120 cm de altura y se localizan de los 2 700 a los 4 300 m. Los pastizales de *Calamagrostis tolucensis* (Kunth) Trin. ex Steud. y *Festuca tolucensis* Kunth, se distribuyen en altitudes de 3 500 a 3 600 m. Ocupan especialmente los valles en el interior de los conos de los volcanes donde existen suelos profundos con drenaje deficiente. Los zacatonales de *Muhlenbergia macroura* (Kunth) Hitchc. y *M. quadridentata* (Kunth) Kunth se establecen sobre laderas y valles (3 200 a 3 500 msnm). *Festuca amplissima* Rupr. ex E. Fourn y *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth son la especies dominantes en estas asociaciones (2 500 a 3 300 m), principalmente en claros de bosques de oyamel y de pino. Otras especies frecuentes son *Festuca hephaestophila* Nees ex Steud. y *F. livida* Schur (DOF, 2005; DOF, 2013).

Establecimiento de la Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM)

El establecimiento de las PPM se realizó en tres zonas a lo largo del gradiente altitudinal de distribución natural del bosque de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Iztá-Popo, para lo cual se consideró la factibilidad para su acceso. Para ello se emplearon capas digitales georreferenciadas de curvas de nivel, vías de comunicación, tipos de vegetación (zonas de vida) y conglomerados del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) (Conafor, 2010) que indican la presencia de bosque de *Pinus hartwegii*. Con la información anterior se propuso una ubicación representativa de parcelas de este ecosistema en el parque, misma que fue corroborada mediante recorridos de campo.

Towards the 3 600 masl, in the highest and roughest parts grows the *P. hartwegii* woodland, a species known as the pine of heights; it is tolerant to low temperatures, snowing and is probably one of the most adapted pines to superficial fires. In the lower parts of its distribution area forms open stands linked to dense grasslands and leguminosae such as *Lupinus* spp., with trees between 15 and 20 m tall; but towards the highest elevations (4 000 masl), frequently makes-up a lowered forest (5-8 m tall) and even more open, even though some isolated individuals can be found at 4 200 masl, which is the altitudinal limit for trees in Mexico.

Another kind of forest is that of Sacred fir (*Abies religiosa* (Kunth) Schl. et Cham.), which runs from 2 400 to 3 500 masl. The canopy of this community is regularly at 20 to 40 m high from the ground and many places are limited to ridges rather deep that hold a particular microclimate (CUPREDER, 2001; DOF, 2005).

In the park it is common to find subalpine grasslands which have clumped poace 60 to 120 cm tall and found at the 2 700 to 4 300 masl interval. The *Calamagrostis tolucensis* (Kunth) Trin. ex Steud. and *Festuca tolucensis* Kunth grasslands are present at altitudes from 3 500 to 3 600 m. They grow particularly on the valleys inside the cones of the volcanos where there are Deep soils with an inefficient drainage. The *Muhlenbergia macroura* (Kunth) Hitchc. and *M. quadridentata* (Kunth) Kunth grasslands are present at meadows and hillsides (3 200 to 3 500 masl). *Festuca amplissima* Rupr. ex E. Fourn and *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.) Kunth are the dominant species in this associations (2 500 to 3 300 m), mainly in the open areas of fir and pine forests. *Festuca hephaestophila* Nees ex Steud. and *F. livida* Schur are also frequent species (DOF, 2005; DOF, 2013).

Establishment of Permanent Sampling Plots (PPM)

The establishment of the Permanent Sampling Plots (PPM) was made in three zones along the altitude gradient of the natural distribution of the *Pinus hartwegii* forest in the Iztá-Popo National Park, in which the facility to access them was taken into account. Thus digital geo-referred layers of level curves were used, communication lines, types of vegetation (life zones) and clumps of the National Forest and Soil Inventory (INFyS, for its acronym in Spanish) (Conafor, 2010) that indicate the presence of *Pinus hartwegii* forest. With the previous information a representative location of the plots of this ecosystem in the park was proposed, which was confirmed by field trips.



De esta manera se establecieron nueve parcelas permanentes de muestreo en tres zonas (Paso de Cortés, Llano Grande y Tlálloc) y tres intervalos altitudinales (3 500, 3 700 y 3 900 m) a lo largo del Parque Nacional Izta-Popo (Figura 1). Todas las parcelas son accesibles y su exposición es principalmente oeste o noroeste.

In this way nine permanent sampling plots were established in three zones (Paso de Cortés, Llano Grande and Tlálloc) at three altitude ranges (3 500, 3 700 and 3 900 m) along *Izta-Popo* National Park (Figure 1). All the plots are accessible and their hillside orientation is mainly west or northwest.

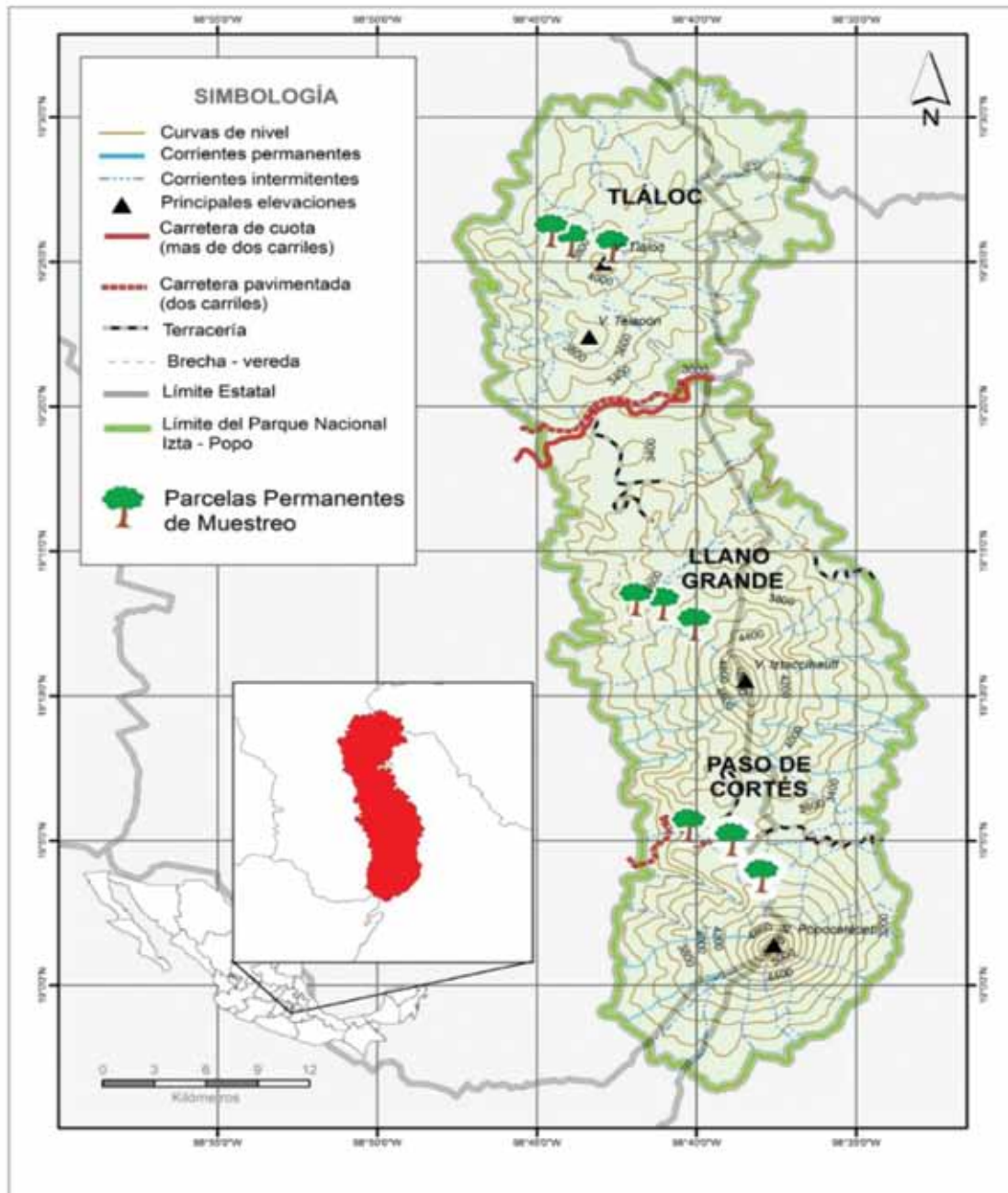


Figura 1. Ubicación de las Parcelas Permanentes de Muestreo en el Parque Nacional Izta-Popo, México.
Figure 1. Location of the Permanent Sampling Plots in *Izta-Popo* National Park, Mexico.

Descripción de las parcelas

Para caracterizar las PPM se aplicó el diseño de muestreo utilizado en el INFyS de México (Conafor, 2010), para el caso de bosques templados; está integrado por una Unidad de Muestreo Primaria (UMP) o conglomerado dentro del cual se localizan cuatro Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) o sitios. La UMP es conceptualmente una parcela circular de 1 ha (56.42 m de radio) al interior de la cual las UMS están dispuestas geométricamente en forma de una "Y" invertida orientada al Norte. Las UMS son sitios circulares de 400 m² (11.28 m de radio) en cuyo interior se localizan dos sub-sitios, uno circular de 12.57 m² (2 m de radio) y otro cuadrado de 1 m por lado al interior de este último (Figura 2).

Plot description

To describe the PPMs the sampling design used in the INFyS of Mexico for forests was used (Conafor, 2010); it is integrated by a Primary Sampling Unit (UMP for its acronym in Spanish) or clump inside of which four Secondary Sampling Units (UMS for its acronym in Spanish) or sites were present. In terms of concept, a UMP is a 1 ha (56.42 m radius) circular plot inside of which UMS are geometrically displayed in an inverted "Y" shape oriented to the North. UMS are 400 m² (11.28 m radius) circular sites inside of which two sub-sites, one 12.57 m² (2 m radius) circular and the other a 1 m per side square inside the latter (Figure 2).

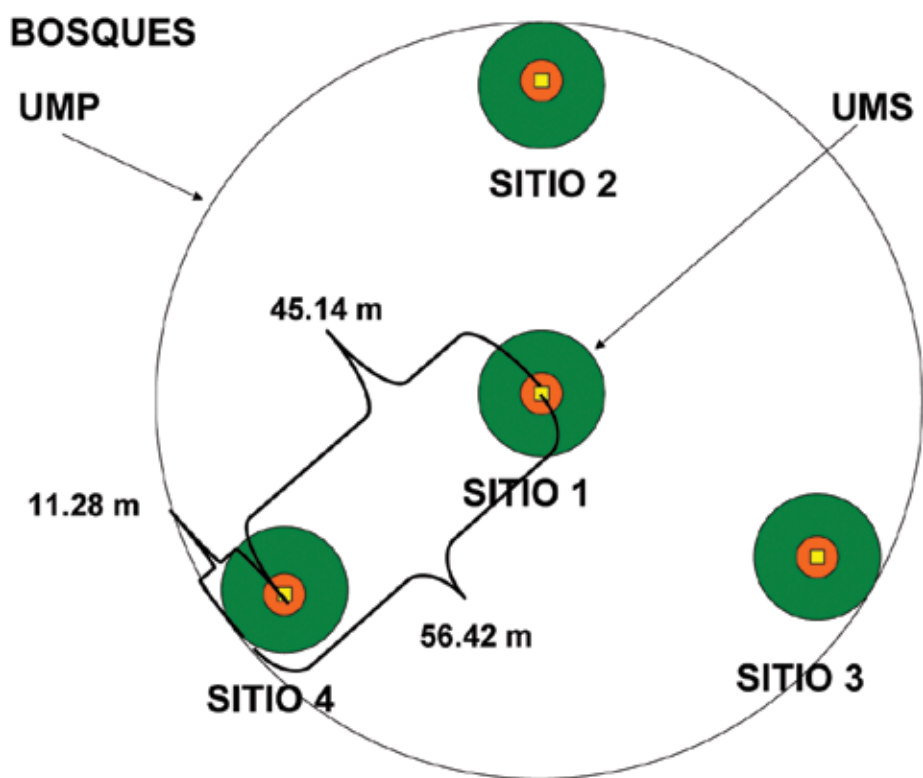


Figura 2. Distribución geométrica de las Unidades de Muestreo Secundarias (UMS) (sitios) dentro de la Unidad de Muestreo Primaria (UMP) en bosques templados.

Figure 2. Geometric distribution of the Secondary Sampling Units (UMS) (sites) inside the Primary Sampling Unit (UMP) in mild-weather forests.

La UMS número 1 se ubica al centro de la UMP y las restantes UMS (unidades periféricas) se distribuyen a 45.14 m con azimut de 0°, 120° y 240°, respectivamente. La disposición en el terreno de las UMP o conglomerados se efectuó de manera aleatoria dentro de los intervalos de distribución de la población o forma de vida de interés, en este caso los bosques de *Pinus hartwegii*.

UMS 1 is found at the center of the UMP and the resting UMS (peripheral units) are distributed at 45.14 m with azimuth 0°, 120° and 240°, respectively. Their placement in the UMP or clusters was made at random within the population arrangements or life form focus, in this case the *Pinus hartwegii* forest.

La caracterización del arbolado con diámetro mayor a 7.5 cm se hizo mediante la evaluación de las variables de diámetro normal, altura total, altura de fuste limpio, diámetro de copa con una cinta métrica convencional Stanley y la edad, acorde a los procedimientos establecidos por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) para el muestreo de campo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (Conafor, 2010); a partir de éstas se obtuvo el área basal, volumen, biomasa aérea y carbono, mediante las dos últimas ecuaciones alométricas determinadas por Galeana *et al.* (2013) para el área del Parque Nacional Iztá-Popo. Adicionalmente, se registró la condición del arbolado dentro de la estructura vertical de la parcela, así como su estado fitosanitario. Al arbolado con diámetro normal menor a 7.5 cm (regeneración) se le contabilizó y se le agrupó en intervalos de altura; su descripción se hizo en función a su vigor y daños aparentes (Conafor, 2010).

Al estrato arbustivo se le midió la cobertura y se determinó el número de especies, vigor, daños y altura promedio de los individuos que lo integran, con una pistola Haga FO10126. Del estrato herbáceo se obtuvo el número de especies y su cobertura dentro del sitio de 1 m² de acuerdo al manual y procedimientos para el muestreo de campo antes mencionado. La identificación de especies se realizó en algunos de los casos en campo por el responsable del muestreo con apoyo de un catálogo de especies de la zona elaborado *ex professo* y mediante ayuda de los guías de campo y personal técnico del parque; se corroboró con base en Rzedowski y Calderón (2001) y se hizo su cotejo en el Herbario Nacional Forestal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

A partir de la presencia de las especies se obtuvo el coeficiente de similitud entre las parcelas y entre los intervalos de altitud. En el caso de los líquenes se obtuvo su abundancia de acuerdo al protocolo mencionado por Jovan (2008), en el que para el efecto, se mide en una superficie de 0.37 ha, en los troncos y ramas del arbolado a partir de 0.5 m y hasta al alcance de la mano; la abundancia se clasificó en alguna de las cuatro clases mostradas en el Cuadro 1.

The description of trees with DBH over 7.5 cm was made by the assessment of the variables of normal diameter, total height, height of clean stem, crown diameter with a conventional tape Stanley and age, according to the procedures of the National Forest Commission for the field sampling of the National Forest and Soil Inventory (Conafor, 2010); from them, basal area, volume, aerial biomass and carbon, were obtained from the last two allometric equations determined by Galeana *et al.* (2013) for the Iztá-Popo National Park. Additionally, the state of the woodland was registered within the vertical structure of the plot, as well as its phytosanitary. The trees with DBH< 7.5 cm (regeneration) were counted and they were organized into height intervals; their description was made in terms of vigor and apparent damages (Conafor, 2010).

The cover area of the shrub layer was measured and the number of species was determined as well as its vigor, damages and average height of the individuals that conform it with an Haga FO10126 altimeter. Of the herb layer were obtained the number of species and their cover within the 1 m², according to the instruction guide previously mentioned. The species determination was made in some cases in the field for the responsible of sampling with the aid of a species catalog made for the occasion and with the help of field guides of the park; it was confirmed by the keys of Rzedowski and Calderón (2001) and were compared to the samples of the National Forest Herbarium of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias*.

From the presence of species a similitude coefficient was obtained between the plots and between the altitude and the intervals. In the case of lichens, a calculation of its abundance was made according to Jovan's (2008) protocol, in which a 0.37 ha surface area is measured, in the trunks and branches of the tree from 0.5 m to hand reach; abundance was classified in one of the four classes contained in Table 1.



Cuadro 1. Clases para clasificación de abundancia de líquenes.

Clase	Abundancia
1 (Infrecuentes)	1 a 3 Talos
2 (Poco frecuentes)	4 a 10 Talos
3 (Común)	> 10 Talos; especies que ocurren en menos del 50 % de todos los troncos y ramas en parcela
4 (Abundante)	> 10 Talos; especies que ocupan más de un 50 % de los troncos y ramas en la parcela



Table 1. Classes for ordering lichen abundance.

Class	Abundance
1 (Not frequent)	1 a 3 Stalks
2 (Poorely frequent)	4 a 10 Stalks
3 (Common)	> 10 Stalks; species that occur in less than 50 % of all trunks and branches in a plot
4 (Abundant)	> 10 Stalks; species that cover more than 50 % of all trunks and branches in a plot

Para cada parcela se registró su altitud, las coordenadas geográficas con un posicionador geográfico GRMIN 42, se consideraron las correspondientes al sitio central (sitio marcado con el número 1), fisiografía de acuerdo al manual de procedimientos para el muestreo de campo de la Conafor (2010), pendiente del terreno en porcentaje, exposición del terreno y otros datos locales para su ubicación como municipio, predio, paraje, etc. Al momento de realizar la toma de datos de campo se pudo advertir que las parcelas establecidas en la cota altitudinal de los 3 500 m están sujetas a mayor perturbación.

El análisis de los datos para las variables del arbolado se efectuó entre zonas e intervalos altitudinales. Para conocer la variación estadística de las parcelas, se optó por utilizar un diseño anidado de efectos fijos (Montgomery, 2002), por considerarlo como la mejor alternativa de análisis estadístico a partir de las condiciones recomendadas para el propósito.

A pesar de que se les estableció en altitudes similares dentro de cada zona, en términos estrictos las parcelas no son exactamente iguales, ya que lo único que coincide es el intervalo altitudinal. Para identificar posibles diferencias, el análisis se complementó mediante pruebas de medias de Tukey. Por otra parte, las variables analizadas fueron el número de árboles por ha, el área basal en $m^2 ha^{-1}$, el volumen en $m^3 ha^{-1}$ y la cantidad de biomasa en $Gg ha^{-1}$. Puesto que prácticamente la única especie que crece a mayor altitud de donde se colocaron las parcelas más bajas (3 500 msnm) es *Pinus hartwegii*, los modelos que se utilizaron para determinar el volumen y la biomasa son los siguientes:

$$\ln(V) = \ln(-9.5377) + 1.9649(DN) + 0.8906(H) \quad (\text{Rodríguez y Padilla, 1976})$$
$$B = 0.0635DN2.4725 \quad (\text{Jiménez, 2010})$$

Donde:

$\ln$ = Logaritmo natural
 V = Volumen en m^3
 B = Biomasa en kg

For each plot altitude was put into record; the geographic coordinates with a geographical positioning GRMIN 42, were considered the corresponding for central site (site marked with number 1), physiography according to the Conafor (2010), manual for field sampling procedures: land slope (%), hillside and other local data for location such as municipality, property, landscape, etc. At the time to perform data collection, it could be seen that the established plots in the altitude of 3 500 m are subject to a deeper disturbance.

The analysis of the data for the tree variables was made between zones and altitude intervals. In order to know the statistical variation of the plots, it was chosen to use a nested design for fixed effects (Montgomery, 2000) as it was considered the best option for statistical analysis from the recommended conditions for the aim.

In spite of having placed them at similar altitudes within each zone, in strict terms, the plots are not exactly the same, since the only fact that is coincidental among them is the altitudinal interval. To identify possible differences, the analysis was complemented by Tukey's mean test. On the other hand, the analyzed variables were the number of trees per hectare, the basal area in $m^2 ha^{-1}$, volume in $m^3 ha^{-1}$ and the amount of biomass in $Gg ha^{-1}$. As *Pinus hartwegii* is almost the only species that grows at a higher altitude than where the lower plots were placed (3 500 masl), the models that were used to determine the volume and biomass are the following:

$$\ln(V) = \ln(-9.5377) + 1.9649(DN) + 0.8906(H) \quad (\text{Rodríguez and Padilla, 1976})$$
$$B = 0.0635DN2.4725 \quad (\text{Jiménez, 2010})$$

Where:

$\ln$ = Natural logarithm
 V = Volume in m^3
 B = Biomass in kg



Modelo estadístico

Para la comparación estadística del área basal, el volumen y la biomasa por hectárea entre zonas y entre altitudes dentro de ellas, se consideró el diseño anidado, con el siguiente modelo (Montgomery, 2002):

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \varepsilon_{(ijk)}$$

Donde:

- μ = Media general
- τ_i = Efecto del factor zona (A), $i = 1, 2, 3$
- $\beta_{j(i)}$ = Efecto del factor altitud (B), el cual está anidado dentro del factor zona, $j = 1, 2, 3$
- $\varepsilon_{(ijk)}$ = Error aleatorio
- y_{ijk} = k-ésima observación de la i-ésima variable de interés (área basal, volumen, biomasa) anidada dentro de la combinación del factor altitud (j) y zona (i) bajo análisis, anidada dentro de la combinación del factor altitud (j) y zona (i)

La suma de cuadrados total corregida bajo este modelo puede escribirse como:

$$SS_T = SS_A + SS_{B(A)} + SS_E \quad (1)$$

Con sus respectivos grados de libertad

$$\begin{aligned} abn - 1 &= (a - 1) + a(b - 1) + ab(n - 1) \\ a &= \text{Niveles A} = 3 \\ b &= \text{Niveles B} = 3 \\ b &= \text{Replica cada nivel B} = 4 \end{aligned} \quad (2)$$

Los sitios en cada conglomerado se consideraron independientes debido a que su arreglo espacial no fue exactamente el del IFNyS.

Bajo el supuesto de que: $\varepsilon_{(ijk)} \sim NID(0, 2\sigma)$, cada una de las sumas de cuadrados del miembro derecho de la ecuación (1) puede dividirse por sus grados de libertad para obtener cuadrados medios con una distribución independiente de modo tal que el cociente de dos cuadrados medios se distribuye como una F . Los árboles en cada sitio presentan distribución aleatoria, por lo que el modelo (1) está justificado.

Los análisis estadísticos se realizaron para las variables del área basal, el volumen y la biomasa bajo la hipótesis:

$$H_0 : \tau_i = 0 \text{ y } H_0 : \beta_{j(i)} = 0$$

Statistical model

For the statistical comparison of the basal area, volume and biomass per hectare between zones and altitudes inside them, the nested design with the following model was used (Montgomery, 2002):

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \varepsilon_{(ijk)}$$

Where:

- μ = General mean
- τ_i = Effect of the zone factor (A), $i = 1, 2, 3$.
- $\beta_{j(i)}$ = Effect of the altitude factor (B), which is nested inside the zone factor, $j = 1, 2, 3$.
- $\varepsilon_{(ijk)}$ = Random error
- y_{ijk} = k-th observation of the i-th variable of interest (basal area, volume, biomass) nested inside the altitude factor (j) and zone (i) combination under analysis nested inside the altitude factor (j) and zone (i) combination

The total corrected sum of squares under this model can be noted as:

$$SS_T = SS_A + SS_{B(A)} + SS_E \quad (1)$$

With its respective degrees of freedom

$$\begin{aligned} abn - 1 &= (a - 1) + a(b - 1) + ab(n - 1) \\ a &= \text{Niveles A} = 3 \\ b &= \text{Niveles B} = 3 \\ b &= \text{Replica cada nivel B} = 4 \end{aligned} \quad (2)$$

The sites in each cluster are considered independent as their spatial arrangement was not exactly that of the IFNyS.

Under the assumption that $\varepsilon_{(ijk)} \sim NID(0, 2\sigma)$, each one of the sum of squares of the right member of the equation (1) can be divided into its degrees of freedom to obtain mean squares with an independent distribution in such a way that the quotient of two mean squares is displayed as an F . The trees of each site show a distribution at random, which justifies model (1).

The statistical analyses were made for the basal area, volume and biomass under the hypothesis:

$$H_0 : \tau_i = 0 \text{ and } H_0 : \beta_{j(i)} = 0$$



Resultados y Discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados del número de árboles/ha por zona y por altitud; los árboles aquí considerados alcanzan la categoría mínima inventariable ó > 7.5 cm de diámetro normal. En apariencia, la zona del Tlálloc es donde existe el mayor número de árboles (314 ha⁻¹), lo que está en función de la altitud. Se esperaría que en las partes más bajas haya menor cantidad de arbolado adulto, debido a la tala clandestina que se verifica comúnmente en los parques nacionales. Sin embargo al observar la concentración del arbolado por categoría diamétrica, se aprecia en la Figura 3 que aunque en el Tlálloc se reúne la población más cuantiosa de árboles por hectárea, son de categorías pequeñas. En Paso de Cortés ocurre lo mismo, pero se distribuyen en dimensiones más grandes. Para una mejor discusión de lo anterior es conveniente apoyarse en la cantidad de volumen y biomasa por cada una de las parcelas y a diferente altitud, en conjunto con el análisis que se realice para detectar diferencias significativas.

Results and Discussion

In Table 2 are shown the results of the number of trees/ha per zone and altitude; the trees here considered reach the minimum inventory category or 7.5 cm of DBH. Apparently the Tlálloc zone is where there is the greatest number of trees (314 ha⁻¹), which is related to altitude. It would be expected that in the lowest parts there would be a smaller amount of adult trees, from the clandestine felling that regularly occurs in the national parks. However, when the concentration of trees per diametric class is analyzed, in Figure 3 is observed that, although Tlálloc gathers the greatest tree population per hectare, they belong to small categories. In Paso de Cortés happens the same, but they are distributed in the highest sizes. For a better discussion of the latter, it is convenient to rely on the amount of volume and biomass per each one of the plots at a different altitude, together with the analysis that is made to determine significant differences.

Cuadro 2. Número de árboles por parcela y por zona muestreados en el Parque Nacional Izta-Popo.

Zona	Altitud	Árboles por parcela	Árboles por ha
Paso de Cortés	Alta	32	200.00
	Media	73	456.25
	Baja	26	162.50
Promedio			272.92
Llano Grande	Alta	32	200.00
	Media	50	312.50
	Baja	38	237.50
Promedio			250.00
Tlálloc	Alta	71	443.75
	Media	25	156.25
	Baja	55	343.75
Promedio			314.58



Table 2. Number of trees by plot and sampled zone at the *Izta-Popo* National Park.

Zone	Altitude	Trees per plot	Trees per ha
<i>Paso de Cortés</i>	High	32	200.00
	Middle	73	456.25
	Low	26	162.50
Average			272.92
<i>Llano Grande</i>	High	32	200.00
	Middle	50	312.50
	Low	38	237.50
Average			250.00
<i>Tlálloc</i>	High	71	443.75
	Middle	25	156.25
	Low	55	343.75
Average			314.58

La distribución del número de árboles por categoría diamétrica para cada zona y el intervalo altitudinal (Figura 3) sugieren una forma de "J" invertida en ambos casos, lo que es esperado para un bosque sin perturbación; esto puede obedecer al manejo que recibió del bosque durante la concesión por 50 años otorgada a la compañía de papel de San Rafael que operó de 1894 a 1994.

La edad promedio de las parcelas que se determinó a partir de los anillos de crecimiento contabilizados en las virutas con taladro de Pressler Sweden 140 mostró que para las parcelas ubicadas a los 3 900 msnm es de 80 años, de 62 años para las parcelas de la cota de 3 700 msnm y de 48 años para las establecidas a los 3 500 msnm. Adicional a la edad, se midió el tiempo de paso de la parte más joven del arbolado muestreado por el número de anillos de crecimiento que hay en los 2.5 cm más cercanos a la corteza. Para la zona de Paso de Cortés fue de 16 años, de 15 años para Llano Grande y de 14 años para las parcelas ubicadas en el Tlálloc, mientras que para la cota de 3 900 msnm el tiempo de paso registrado fue de 18.9 años, de 14.6 años para la de 3 700 msnm y de 10.9 años para la de 3 500 msnm. Mientras mayor sea el tiempo de paso, los árboles son maduros y, por lo tanto, su crecimiento ya es lento, dadas las características de índice de sitio, que a mayor altitud bajan, debido principalmente a las condiciones climáticas más extremas.



The distribution of the number of trees per diametric class for each zone and the altitudinal range (Figure 3), suggest an inverted J shape in both cases, which is expected for a forest without disturb; this might be due to the management that the forest during the grant for 50 years lent to *San Rafael* paper company that worked from 1894 to 1994.

The average age of the plots that was determined from those tree rings counted on the Pressler Sweden 140 borer cores revealed that the plots located at 3 900 masl is 80 years old, of 62 years for the plots at 3 700 masl and of 48 years for those at 3 500 masl. In addition to age, the pass time of the sampled youngest trees was taken from the growth rings present at the 2.5 cm closer to the bark. For the *Paso de Cortés* zone it was 16 years, 15 for *Llano Grande* and 14 for the plots located in *Tlálloc*, while for the 3 900 masl the recorded time pass was 18.9 years, 14.6 for the 3 700 masl and 10.9 for 3 500 masl. The greater the pass time, the trees are mature, and thus, its growth is slow, from the condition of the site index, that at a higher altitude they get lower, mainly due to the most extreme climate.

From the measurement of pass time it was observed that the mean annual increment in diameter of the most recent diametric category is 0.33, which according to Larios (1979), *Pinus hartwegii* has an annual diametric increment between entre 0.15 and 1.104 cm, which locates the trees of all the zones under the average of this interval, an aspect that that can be understood from the old age of the individuals.



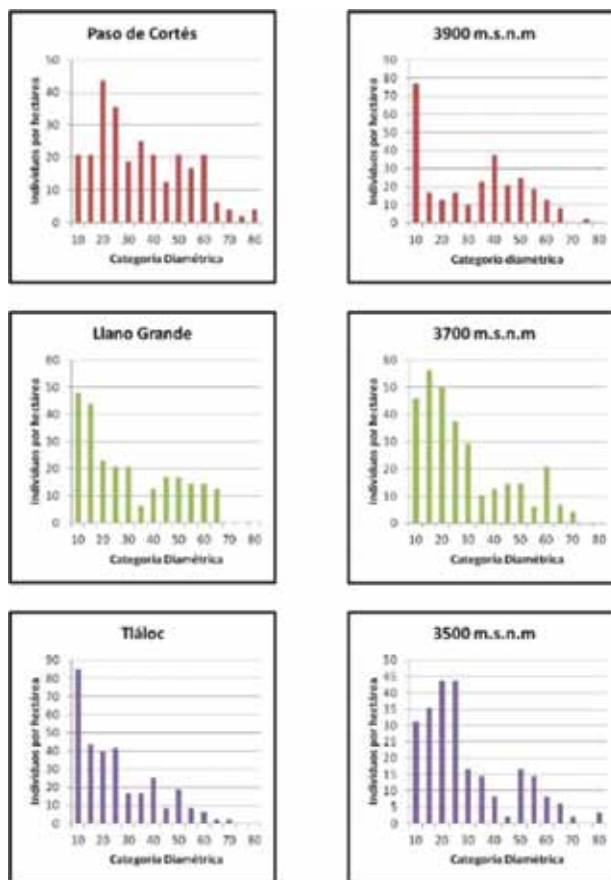


Figura 3. Número de árboles por zona e intervalo altitudinal.
Figure 3. Number of trees per zone and altitudinal range.

A partir de la medición del tiempo de paso se observó que el incremento medio anual en diámetro de la categoría diamétrica más reciente es de 0.33, por lo que de acuerdo con Larios (1979), *Pinus hartwegii* tiene un incremento anual en diámetro entre 0.15 y 1.104 cm, lo que ubica al arbolado de todas la zonas por debajo de la media de este intervalo, aspecto que se considera responde a la edad madura de los individuos.

Estos datos se contrastaron desde un punto de vista empírico con los valores de precipitación de la estación más cercana a cada zona y se observó poca variabilidad en los niveles de precipitación en los últimos quince años en las tres estaciones (Figura 4); por esta razón se presume que esta variable no presenta un comportamiento atípico que tenga influencia en el crecimiento del arbolado, por lo se requiere de una medición más detallada de la misma a fin de evaluar su significancia, toda vez que el conocimiento dendrométrico que se puede medir en los bosques del parque a través de los anillos de crecimiento es relevante para su correlación con las variables climáticas y escenarios de cambio climático.

These data were compared from an empirical viewpoint to the precipitation values of the closest weather station to each zone, and little variability in the precipitation levels was observed in the last three stations (Figure 4); therefore, it is presumed that this variable does not have an atypical behavior that has influence upon tree growth, which demands a more detailed measurement of it, in order to assess its significance, in so far as the mensuration knowledge in the forests of the park through tree-rings is relevant to correlate the climate variables and climate change scenarios.



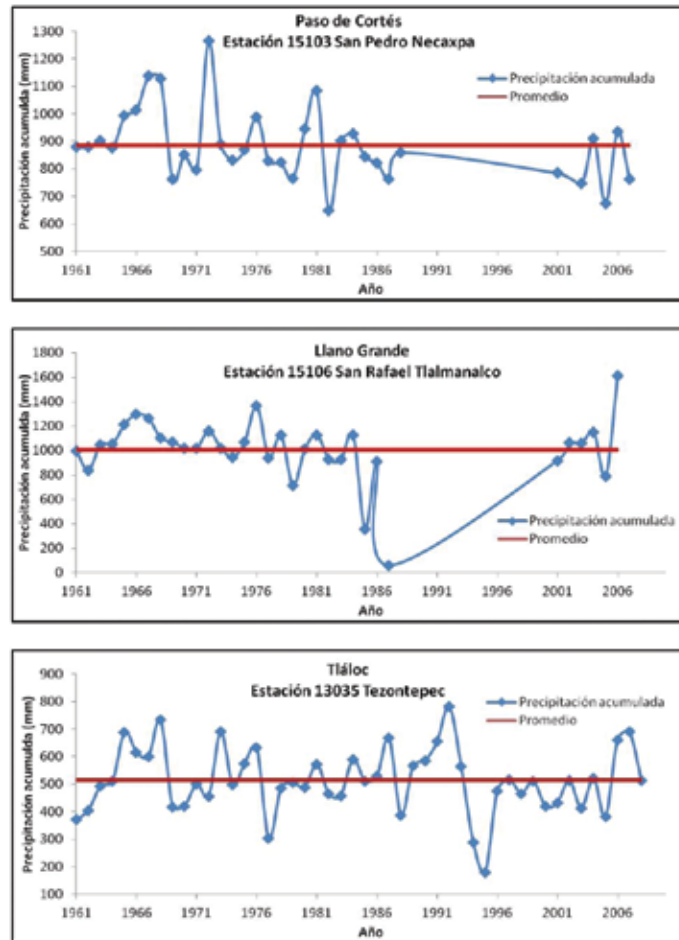


Figura 4. Precipitación de las tres estaciones más cercanas a cada PPM, en el Parque Nacional Izta-Popo.

Figure 4. Precipitation from the three weather stations closer to each PPM at the *Izta-Popo* National Park.

De acuerdo a la distribución del área basal por zona e intervalo altitudinal, se advierte que no existe una estructura normal de los bosques en el Parque Nacional Izta-Popo; se esperaría que este componente se concentrara en las categorías diamétricas mayores a 30 cm y menores a 60 cm de DAP para considerar a este tipo de masas como normales (Zepeda, 1987). A pesar de que desde 1935 el Parque Izta-Popo fue declarado como tal con fines netamente conservacionistas, en 1948 con la intención de impulsar la industria papelera del país, se estableció una Unidad Industrial de Explotación

According to the distribution of the basal area per zone and altitude range, it can be seen that there is no normal structure of forests in *Izta-Popo* National Park; it would be expected that basal area concentrates in the diametric classes over 30 cm and lower to 60 cm DBH to consider this kind of masses as normal (Zepeda, 1987). In spite of the fact that the park was declared as such with merely conservation endings, in 1948, in order to boost the paper industry of the nation, a Forest Exploitation Industrial Unit was established at the region, which made it necessary to change the limits of the national park and its surface area was reduced at half its original size; as a consequence, a single forest management plant has been followed ever since. Up to now, the only permissions allowed have a cleansing purpose, a fact that could explain why there is not a homogeneous structure that relates with some sort of forest mass proper to mild -cold forests (figures 5 and 6).



Forestal en la región, para lo cual se modificaron los linderos del Parque Nacional y se redujo su superficie en menos de la mitad del territorio original; a consecuencia de lo anterior, no se ha seguido un plan de manejo forestal único. A la fecha, las únicas autorizaciones que se permiten son con fines de saneamiento, motivo que pudiera explicar por qué no existe una estructura homogénea que se relacione con algún tipo de masa forestal propio de bosques templado-fríos (figuras 5 y 6).

The volume amount ($\text{m}^3 \text{ha}^{-2}$) and biomass (Gg ha^{-1}) is higher in *Paso de Cortés* than in the *Llano Grande* and *Tlaloc* zones, as probably there is a greater surveillance than in the rest; for example, *Tlaloc* is surrounded by communities in which its population keeps understanding the forest as a property, without taking into account if it is inside or not the limits of the national park, and thus, keep harvesting it in the minimum, on the one hand, as well as practicing grazing, firewood collection, and

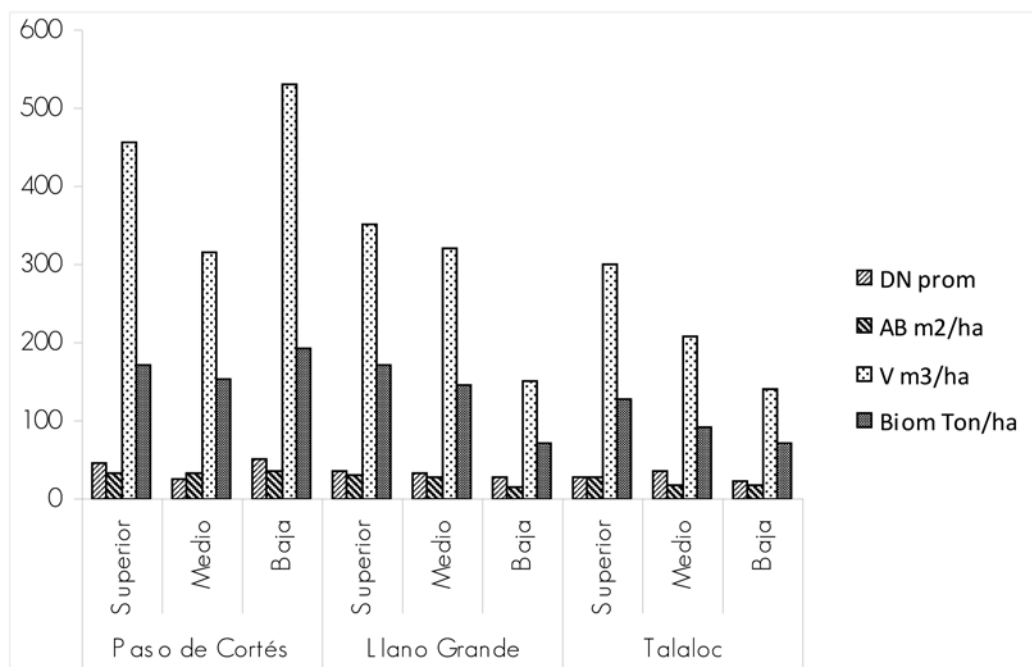


Figura 5. Variables dasométricas promedio por zona y altitud en el Parque Nacional Izta-Popo.
Figure 5. Average Mensuration variables by zone and altitude at *Izta-Popo* National Park.

La cantidad de volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-2}$) y biomasa (Gg ha^{-1}) es mayor en Paso de Cortés que en las zonas de Llano Grande y Tlaloc debido, probablemente, a que existe mayor vigilancia que en los demás; por ejemplo, Tlaloc está rodeado por comunidades cuyos habitantes siguen considerando al bosque como propiedad, sin importar si está o no dentro de los límites del parque nacional y, por lo tanto, continúan haciendo labores de aprovechamiento mínimo, por un lado, así como pastoreo, recolección de leña, y otras más, con las consecuencias de las actividades clandestinas. Este problema se manifiesta más intensamente cuando se comparan los resultados dentro de la misma zona, ya que la mayor cantidad de volumen o biomasa que existe en las partes altas, disminuye con la altitud, lo cual corrobora aún más la hipótesis de que este fenómeno esté vinculado con la tala ilícita, en particular en la zona del Tlaloc (Figura 5).

some others, with the consequences clandestine activities bring. This problem becomes more intense as the results inside the same zone are compared, as the greater amount of volume or biomass present at the higher parts, gets lower, which confirms even more the hypothesis that this phenomenon is linked to unlawful felling, particularly in the *Tlaloc* zone (Figure 5).

Statistical analysis

In Table 3 can be observed that the p value is higher than 0.05, with 5 % as significance level, and therefore, it can be stated that there are no significant differences between zones or within them.



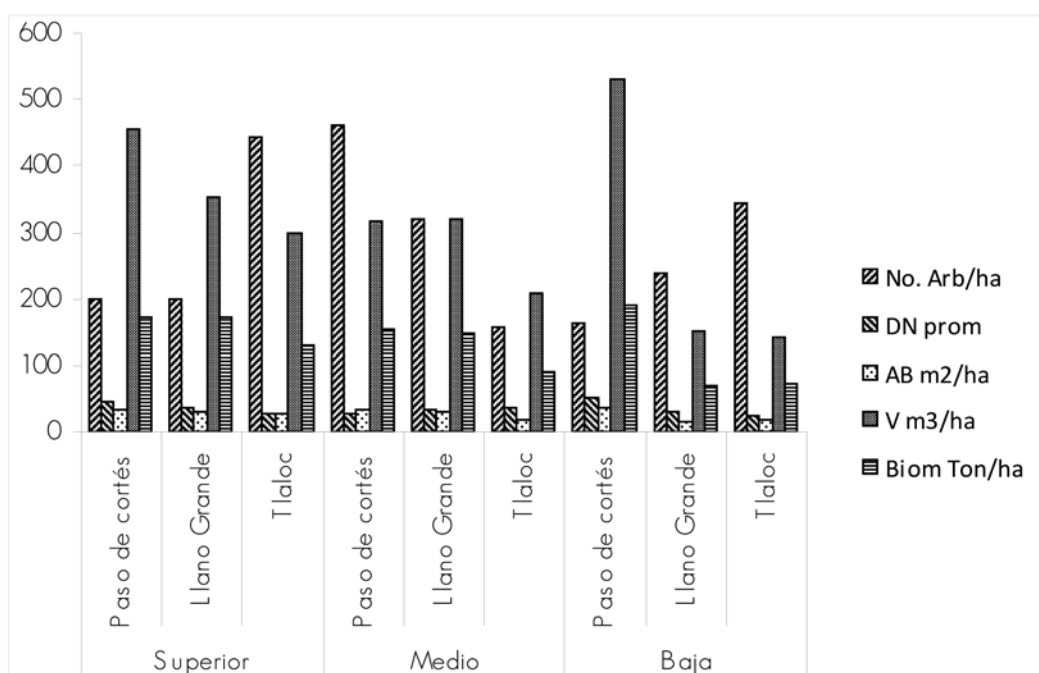


Figura 6. Variables dasométricas de las zonas de acuerdo a la altitud (alta, media y baja).

Figure 6. Mensuration variables of the zones according to altitude (high, middle and low).

Análisis estadístico

En el Cuadro 3 se observa que el valor de p es mayor de 0.05, con un nivel de significancia de 5 % y, por lo tanto, se puede afirmar que no hay diferencias significativas entre zonas o dentro de ellas.



Cuadro 3. ANOVA general del modelo anidado para la variable área basal.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Modelo	8	1 895.833739	236.979217	1.38	0.2516
Error	27	4 653.352950	172.346406		
Total corregido	35	6 549.186689			

Table 3. General (ANOVA) for the nested model for the basal area variable.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Model	8	1 895.833739	236.979217	1.38	0.2516
Error	27	4 653.352950	172.346406		
Corrected total	35	6 549.186689			

Aunque el valor de p correspondiente a zona es ligeramente superior a 0.05 con un nivel de significancia de 10 %, sí existen diferencias significativas entre zonas (Cuadro 4).

Even though the p corresponding value to zone is slightly over 0.05 with a significance level of 10 %, there are significant differences between zones (Table 4).

Cuadro 4. ANOVA desglosado del modelo anidado para la variable área basal.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Zona	2	970.5760222	485.2880111	2.82	0.0775
Altitud (zona)	6	925.2577167	154.2096194	0.89	0.5127

Table 4. Disaggregated ANOVA for the nested model for the basal area variable.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Zone	2	970.5760222	485.2880111	2.82	0.0775
Altitude (zone)	6	925.2577167	154.2096194	0.89	0.5127

En el Cuadro 5 se presenta el ANOVA para volumen. Al tener un valor de p ligeramente superior a 0.05 pudiesen existir diferencias significativas entre o dentro de zonas. De hecho en el Cuadro 6 se observa que el valor de p correspondiente a zonas es de 0.0176, menor del 0.05. De esta manera, se puede afirmar que existen diferencias significativas entre zonas al considerar la variable volumen.

In Table 5 is the ANOVA for volume. When there is a p value slightly over 0.05 there might be significant differences between or within zones. In fact, in Table 6 can be observed that the corresponding p value to zones is 0.0176, smaller than 0.05. In this way, it can be stated that there are significant differences between zones when considering the volume variable.

Cuadro 5. Anova general del modelo anidado para volumen.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Modelo	8	547 771.313	68 471.414	2.09	0.0726
Error	27	883 746.458	32 731.350		
Total corregido	35	1 431 517.771			

Table 5. General ANOVA of the nested model for volume.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Model	8	547 771.313	68 471.414	2.09	0.0726
Error	27	883 746.458	32 731.350		
Corrected Total	35	1 431 517.771			

Cuadro 6. Anova detallado del modelo anidado para volumen.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Zona	2	308 383.8141	154 191.9071	4.71	0.0176
Altitud (zona)	6	239 387.4985	39 897.9164	1.22	0.3273

Table 6. Detailed ANOVA of the nested model for volume.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Zone	2	308 383.8141	154 191.9071	4.71	0.0176
Altitude (zone)	6	239 387.4985	398 97.9164	1.22	0.3273

En los cuadros 7 y 8 se muestran los resultados para biomasa. Esta variable presenta un comportamiento similar al de la variable área basal, es decir, el valor de p correspondiente a zonas, al ser ligeramente superior a 0.05, sugiere la existencia de diferencias estadísticas entre zonas.

In tables 7 and 8 are shown the results for biomass. This variable has a similar behavior to the basal area variable, that is, the value of p corresponding to zones, as it is slightly over 0.05, suggests the existence the statistical differences between zones.

Cuadro 7. ANOVA general del modelo anidado para biomasa.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Modelo	8	65 813.0426	8 226.6303	1.43	0.2306
Error	27	155 671.1587	5 765.5985		
Total corregido	35	221 484.2014			

Table 7. General ANOVA of the nested model for biomass.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Model	8	65 813.0426	8 226.6303	1.43	0.2306
Error	27	155 671.1587	5 765.5985		
Corrected Total	35	221 484.2014			

Cuadro 8. ANOVA detallado del modelo anidado para biomasa.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Zona	2	33 815.01488	16 907.50744	2.93	0.0704
Altitud (zona)	6	31 998.02777	5 333.00463	0.92	0.4928

Table 8. Detailed ANOVA of the nested model for biomass.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Zone	2	33 815.01488	16 907.50744	2.93	0.0704
Altitude (zone)	6	31 998.02777	5 333.00463	0.92	0.4928

Con base en los resultados mostrados, puede suponerse que existentes diferencias significativas entre zonas. En cambio, los mismos resultados indican que no hay diferencias significativas cuando el análisis se realiza dentro de ellas.

Based upon the previous results, it may be supposed that there are significant differences between zones. In return, the same results reveal that there are no significant differences when the analysis is made within them.



Al considerar que la correlación entre área basal, volumen y biomasa supera 0.95, se justifica la combinación lineal de estas variables; así, se consideró un ANOVA con el diseño anidado empleando al componente principal 1 (97 % de la variabilidad retenida) como variable independiente. En los cuadros 9 y 10 se presentan los resultados para este enfoque.

Cuadro 9. ANOVA general del modelo anidado para biomasa.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Modelo	8	32.6140348	4.0767543	1.58	0.1787
Error	27	69.8473479	2.5869388		
Total corregido	35	102.4613827			

Table 9. General ANOVA of the nested model for biomass.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Model	8	32.6140348	4.0767543	1.58	0.1787
Error	27	69.8473479	2.5869388		
Corrected Total	35	102.4613827			

Cuadro 10. ANOVA detallado del modelo anidado para biomasa.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Valor de p de prueba de F
Zona	2	17.80365348	8.90182674	3.44	0.0466
Altitud (zona)	6	14.81038130	2.46839688	0.95	0.4740

Table 10. Detailed ANOVA of the nested model for biomass.

Source of variation	Degrees of freedom	Sum of Squares	Mean Square	F Value	p Value of the F test
Zone	2	17.80365348	8.90182674	3.44	0.0466
Altitude (zone)	6	14.81038130	2.46839688	0.95	0.4740

Se observa que aun cuando el valor de p del modelo general es ligeramente mayor a 0.1, el valor de p correspondiente a zona es menor de 0.05. A partir de los resultados del análisis univariado y multivariado puede confirmarse que existen evidencias para suponer diferencias estadísticas entre zonas para las variables dasométricas estudiadas.

El hecho de no encontrar diferencias significativas dentro de zonas para las variables área basal, volumen y biomasa puede explicarse por qué el arbolado en cuestión es adulto y porque solo 200 m en altitud separa una parcela de otra.

El listado del Cuadro 11 representa las especies registradas por estrato y nivel altitudinal, en el que se advierte que a menor altitud, mayor diversidad de especies de los tres estratos, y el Cuadro 12 lo confirma.

When considering that the correlation between basal area, volume and biomass is over 0.95, the linear combination of this variables is justified; thus, an ANOVA was considered with a nested design by using the principal component 1 (97 % of the retained variability) as an independent variable. In tables 9 and 10 are shown the results for this approach.

It can be observed that even the p value of the general model is lightly over 0.1, the p value corresponding to zone is lower than 0.05. From the results coming from the univariate and multivariate analysis, it can be confirmed that there is enough evidence to suppose that there are statistical differences between zones for the mensuration variables that were here considered.

The fact that no significant differences were found within the zones for basal area, volume and biomass can be explained from the adult condition of the trees and from the contrast from one plot to the other that is only 200 m.

The list of Table 11 gathers the species that were recorded by stratum and altitude, in which it can be seen that at a lower height, a greater species diversity is recorded in the three strata; and Table 12 confirms the tendency.

Cuadro 11. Especies registradas en las PPM establecidas en el Parque Nacional Izta Popo, México.

Estrato	Especie	Cota altitudinal (msnm)		
		3 900	3 700	3 500
Arbóreo	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	DAP > 7.5 cm (135)	DAP>7.5 cm (148)	DAP>7.5 cm (119)
		DAP < 7.5 cm (109)	DAP< 7.5 cm (36)	DAP < 7.5 cm (21)
	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	-----	-----	DAP > 7.5 cm (1)
	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham.	-----	-----	DAP< 7.5 cm (28)
	<i>Salix paradoxa</i> Kunth		✓	✓
	<i>Buddleia parviflora</i> Kunth			✓
	<i>Ribes ciliatum</i> Humb. & Bonpl.			✓
	<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth			✓
	<i>Symphoricarpos microphyllus</i> H.B.K.			✓
	<i>Senecio angulifolius</i> DC.			✓
Arbustivo	<i>Senecio cinerarioides</i> Kunth	✓	✓	✓
	<i>Senecio argutus</i> Kunth			✓
	<i>Lupinus montanus</i> Kunth	✓	✓	✓
	<i>Penstemon gentianoides</i> (Kunth) Poir.	✓	✓	✓
	<i>Ageratum corymbosum</i> Zuccagni ex Pers.		✓	✓
	Sp. 2 (jarilla)**			✓
	<i>Muhlenbergia quadridentata</i> (Kunth) Kunth	✓	✓	✓
	<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc.		✓	✓
	<i>Calamagrostis tolucensis</i> (Kunth) Trin. ex Steud.		✓	
	<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	✓	✓	✓
Herbáceo	<i>Eryngium proteiflorum</i> F. Delaroché	✓		✓
	<i>Taraxacum officinale</i> F. H. Wigg.	✓		✓
	<i>Gnaphalium</i> sp	✓		✓
	<i>Lithospermum distichum</i> Orteg.	✓	✓	✓
	<i>Thuidium erectum</i> Duby	✓	✓	✓
	Sp1 (lentejilla)**	✓	✓	



Table 11. Species that were found in the established PPM in *Izta-Popo* National Park, Mexico.

Level	Species	Altitude (masl)		
		3 900	3 700	3 500
Tree	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	DAP > 7.5 cm (135)	DAP>7.5 cm (148)	DAP>7.5 cm (119)
		DAP < 7.5 cm (109)	DAP< 7.5 cm (36)	DAP < 7.5 cm (21)
	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	-----	-----	DAP > 7.5 cm (1)
	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham.	-----	-----	DAP< 7.5 cm (28)
	<i>Salix paradoxa</i> Kunth		✓	✓
	<i>Buddleia parviflora</i> Kunth			✓
	<i>Ribes ciliatum</i> Humb. & Bonpl.			✓
Scrub	<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth			✓
	<i>Symphoricarpos microphyllus</i> HBK.			✓
	<i>Senecio angulifolius</i> DC.			✓
	<i>Senecio cinerarioides</i> Kunth	✓	✓	✓
	<i>Senecio argutus</i> Kunth			✓
	<i>Lupinus montanus</i> Kunth	✓	✓	✓
	<i>Penstemon gentianoides</i> (Kunth) Poir.	✓	✓	✓
	<i>Ageratum corymbosum</i> Zuccagnii ex Pers.		✓	✓
	Sp. 2 (jarilla)**			✓
	<i>Muhlenbergia quadridentata</i> (Kunth) Kunth	✓	✓	✓
Herb	<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc.		✓	✓
	<i>Calamagrostis tolucensis</i> (Kunth) Trin. ex Steud.		✓	
	<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	✓	✓	✓
	<i>Eryngium proteiflorum</i> F. Delaroché	✓		✓
	<i>Taraxacum officinale</i> F. H. Wigg.	✓		✓
	<i>Gnaphalium</i> sp	✓		✓
	<i>Lithospermum distichum</i> Orteg.	✓	✓	✓
	<i>Thuidium erectum</i> Duby	✓	✓	✓
	Sp1 (lentejilla)**	✓	✓	



Cuadro 12. Número de especies presentes por parcela.

Altitud	Paso de Cortés	Llano Grande	Tlálloc	Promedio
3 900	7	10	10	9
3 700	8	12	11	10.3
3 500	13	14	14	13.6
Promedio	9.3	12	11.6	

Table 12. Number of species present in each plot.

Altitude	Paso de Cortés	Llano Grande	Tlálloc	Average
3 900	7	10	10	9
3 700	8	12	11	10.3
3 500	13	14	14	13.6
Average	9.3	12	11.6	

Conclusiones

Se establecieron nueve Parcelas Permanentes de Muestreo en el Parque Nacional Izta-Popo entre las cuales se detectaron diferencias altamente significativas entre zonas para el volumen maderable, mientras que para el área basal y la biomasa las diferencias fueron significativas.

El área donde se establecieron las parcelas no presenta cambios de uso del suelo por lo que es un buen sitio para el monitoreo y su relación con las variaciones climáticas.

Por su ubicación dentro de un parque nacional, donde no existe aprovechamiento comercial y sin perturbaciones antropogénicas, las Parcelas Permanentes de Muestreo deben tener mejores expectativas conservarse en el largo plazo, además de que, por el hecho de estar establecidas entre poblaciones forestales con diferentes características dasométricas, resultan idóneas para continuar con estudios sobre cambio climático global.

Agradecimientos

El presente trabajo fue posible gracias al apoyo brindado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) mediante el proyecto Impactos Potenciales del Cambio Climático en Ecosistemas Forestales en Cordilleras Latinoamericanas y Herramientas para la Adaptación de la Gestión (CLIMFORAD).

Referencias

Arribas P., P. Abellán, J. Velasco, D. T. Bilton, J. M. Lobo, A. Millán y D. Sánchez-Fernández 2012. La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. Ecosistemas. Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente 21(3):79-84.

Conclusions

Nine Permanent Sampling Plots were placed at the Izta-Popo National Park among which highly significant differences were detected between zones for wood volume, while for basal area and biomass, differences were only significant.

The area where the plots were placed does not show land use changes, which makes it a good site for monitoring and its relation with climate variations.

From their location inside a national park, where there are not commercial harvest as well as anthropogenic disturb, PPM's should have better expectations to be preserved on the long run, since, from the fact that they are established between forest populations with different mensuration elements, they are ideal to continue making global climate change studies.

Acknowledgements

The actual work was possible from the support provided by the Inter-American Development Bank (IDB) through the *Impactos Potenciales del Cambio Climático en Ecosistemas Forestales en Cordilleras Latinoamericanas y Herramientas para la Adaptación de la Gestión (CLIMFORAD)* project.

End of the English version



- Bolivia Forestal-Programa de Manejo de Bosques (BOLFOR-PROMABOSQUE) 1999. Guía para la Instalación y Evaluación de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPMs). Santa Cruz, Bolivia. 60 p.
- Cerano-Paredes, J., J. Méndez-González, A. Amaro-Sánchez, J. Villanueva-Díaz, R. Cervantes-Martínez y E. A. Rubio-Camacho. 2013. Reconstrucción de precipitación invierno-primavera con anillos anuales de *Pinus douglasiana* en la reserva de la biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(3):413-423.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2010. Manual y procedimientos para el muestreo de campo; re muestreo 2010. Semarnat. Mérida, Yuc., México. 140 p.
- Centro Universitario para la Prevención de Desastres (CUPREDER). 2001. Estudio para el Ordenamiento Ecológico de la Región del Volcán Popocatepetl y su Zona de Influencia. (Fase de caracterización y diagnóstico) 2 tomos. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla de los Ángeles, Pue., México. 937 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1935. Decreto que declara Parque Nacional, las montañas denominadas Iztaccíhuatl y Popocatepetl. 7 de noviembre de 1935. México, D.F., México. <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/Iztapopo.pdf>. (10 de septiembre de 2014).
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1992. Acuerdo por el que se declara extinguida la Unidad Industrial de Explotación Forestal, que se estableció a favor de las Fábricas de Papel de San Rafael y Anexas, S. A. 15 de octubre de 1947. México, D.F., México. <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/Acuer-Iztapopo.pdf>. (11 de septiembre de 2014).
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2005. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Volcán Popocatepetl y su Zona de Influencia que susciben las secretarías de Desarrollo Social y de Medio Ambiente y Recursos Naturales con los estados de México, Morelos y Puebla. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 25 de junio de 2005. México, D.F., México. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063595&fecha=24/06/2005 (10 de septiembre de 2014).
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2013. Programa de Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. 2 de abril de 2013. México, D.F., México. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5294188&fecha=02/04/2013 (11 de septiembre de 2014).
- Escudero, A., R. García C., A. García F., G. Gavilán, R., L. Giménez B., M. Iriondo, J., C. Lara R., J. Morente y S. Pescador D. 2012. Vulnerabilidad al cambio global en la alta montaña mediterránea. *Ecosistemas* 21(3):63-72.
- Galeana P. J. M., J. A. Ordoñez D. y N. Corona R. 2013. Estimación de contenido de carbono en la cuenca del río Magdalena, México. *Madera y Bosques* 19(1):53-69.
- Groothusen, C. y C. Alvarado. 2000. Las parcelas de muestreo permanente: bases para estudios de crecimiento y rendimiento en bosques de pino en Honduras. AFECOHEFOR-ESNACIFOR-BID. Siguatepeque, Honduras. 64 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. PNUMA-UNEP. Ginebra, Suiza. 85 p.
- Jovan, S. 2008. Lichen Bioindication of Biodiversity, Air Quality, and Climate: Baseline Results From Monitoring in Washington, Oregon, and California. USDA-FS. General Technical Report PNW-GTR-737. Portland, OR, USA. 124 p.
- Kleinn, C. y D. Morales. 2002. Consideraciones metodológicas al establecer parcelas permanentes de observación en bosque natural o plantaciones forestales. *Revista Forestal Centroamericana* 39-40: 6-12.
- Larios S., P., J. Huerta C. y C. H. Ramos A. 1979. Determinación de índices de calidad de pulpa para papel en Zoquiapán, México. *Revista Chapingo Nueva Época* 20: 3-8.
- Manzanero, M. 2003. Taller monitoreo de la respuesta dinámica del bosque a través de parcelas permanentes de muestreo. ACOFOP. Santa Elena, Petén, Guatemala. 18 p.
- Montgomery, D. 2002. Diseño y Análisis de Experimentos. Limusa-Wiley. México, D.F., México. 686 p.
- Ohlemuller, R., S. Gritti E., T. Sykes M. and D. Thomas C. 2006. Quantifying components of risk for European woody species under climate change. *Global Change Biology* 12:1788-1799.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 37:637-669.
- Pinelo, M. 2000. Manual para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala. Manual Técnico No. 40. Colección Manejo Forestal en la Reserva de la Biósfera Maya Petén, Guatemala. CATIE. Cartago, Costa Rica. Publicación Núm. 10. 68 p.
- Rodríguez T., D. y H. Padilla G. 1976. Tablas de volúmenes para pino (*Pinus sp.*) y oyamel (*Abies religiosa* Schl. et Cham.) del Campo Experimental Zoquiapan. Boletín del Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Información Técnica de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 35 p.
- Rzedowski, J. y G. Calderón. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª Ed. Instituto de Ecología, A C y CONABIO. Pátzcuaro, Mich., México. 1406 p.
- Sala, O. E., F. S. Chapin, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M. Oesterheld, N. L. Poff, M.T. Sykes, B. H. Walker and D. H. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287(5459):1770-1774.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Semarnat-CONANP). 2013. Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, Programa de Manejo. México, D.F., México. 190 p.
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. Ferreira de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. Townsend P., O. L. Phillips and S. E. Williams. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148.
- Thuiller, W., S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes and I. C. Prentice. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102:8245-8250.
- Thuiller, W., S. Lavergne, C. Roquet, I. Boulangeat, B. Lafourcade and M. B. Araújo. 2011. Consequences of climate change on the Tree of Life in Europe. *Nature* 448:550-552.
- Vallejo J., M. I., A. C. Londoño V., R. López C., G. Galeano, E. Álvarez D. y W. Devia Á. 2005. Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo. Bogotá D. C., Colombia. Núm. 1. 310 p.
- Villers R., L. e I. Trejo V. 1998. Impactos del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia* 23(1):10-19.
- Zepeda B., E. M. y D. M. E. Villarreal. 1987. Guía de densidad para *Pinus hartwegii*. Lindl., Zoquiapan, México. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias forestales. Chapingo, Edo. de Mex., México. 52 p.

