

# Updating land-cover change via analysis based on elevation and distance to settlements: A case study from Turkey

Actualización de cambio de cobertura terrestre mediante análisis basado en la elevación y distancia de los asentamientos: Un estudio de caso de Turquía

Ali Ihsan Kadioğulları<sup>1\*</sup>; Turan Sönmez<sup>2</sup>; Emin Zeki Başkent<sup>1</sup>; Uzey Karahalil<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, 61080, Trabzon/TURKEY.

<sup>2</sup>Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Mimar Sinan A1 Blok / 404 – 416. Bursa/TURKEY.

\*Corresponding author: [alikadi@ktu.edu.tr](mailto:alikadi@ktu.edu.tr), tel.: +90 (462) 377 3243

## Abstract

**Introduction:** An understanding of landscape change and forest dynamics based on topographical parameters and human activities is important for the sustainable management of forest ecosystems.

**Objective:** Update the analysis of land-use/land-cover changes in the Gümüşhane Forest Enterprise in northeastern Turkey.

**Materials and methods:** Forest improvement changes over the last 26-year period (1987-2013) were analyzed in terms of land-use/land-cover classes using forest management plans. The temporal transitions among the land use and cover types were also documented and evaluated based on topographical parameters and distance from settlements using elevation maps and ring buffers.

**Results and discussion:** This period showed rapid forest improvement with an increase of 50,910 ha, amounting to a 1.58 % annual improvement rate. While the most highly forested elevation zone (66.6 % - 40,124 ha) was located between 1,501 and 2,000 m, the highest forestation rate (22.4 % - 13,509 ha) was found at a distance of over 500 m from settlement areas between 1971 and 2013. In terms of fragmentation, on the other hand, Gümüşhane forests were fragmented by an areal increase in productive forest areas between 1971 and 2013.

**Conclusion:** Important data on the dynamics of forest ecosystems in Gümüşhane Forest Enterprise were obtained. There is a strong link between land use changes and forest cover, social pressure, settlement distance, and elevation class.

## Resumen

**Introducción:** Conocer el cambio del paisaje y la dinámica del bosque con base en los parámetros topográficos y las actividades humanas es importante para el manejo sostenible de los ecosistemas forestales.

**Objetivo:** Actualizar el análisis de los cambios en el uso del suelo y cobertura terrestre en Gümüşhane Forest Enterprise en el noreste de Turquía.

**Materiales y métodos:** Los cambios en las mejoras forestales en un periodo 26 años (1987-2013) se analizaron de acuerdo con las clases de uso de suelo y cobertura terrestre utilizando planes de manejo forestal. Las transiciones temporales entre el uso del suelo y los tipos de cobertura se documentaron y evaluaron con base en los parámetros topográficos y la distancia de los asentamientos, utilizando mapas de elevación y *buffers* de anillo.

**Resultados y discusión:** El periodo mostró una rápida mejoría forestal con un incremento de 50,910 ha y tasa de mejora anual de 1.58 %. Mientras que la zona de elevación más arbolada (66.6 % - 40,124 ha) se localizó entre 1,501 y 2,000 m, la tasa de forestación más alta (22.4 % - 13,509 ha) se encontró a una distancia de más de 500 m de las áreas de asentamiento entre 1971 y 2013. Los bosques de Gümüşhane se fragmentaron debido a un aumento de áreas forestales productivas entre 1971 y 2013.

**Conclusión:** Se obtuvieron datos importantes sobre la dinámica de los ecosistemas forestales en Gümüşhane Forest Enterprise. Existe un fuerte vínculo entre los cambios en el uso de suelo y la cubierta forestal, la presión social, la distancia de los asentamientos y la clase de elevación.

**Keywords:** Forest dynamics, GIS, patch analysis, demographic movement, fragmentation.

**Palabras clave:** Dinámica del bosque, SIG, análisis de parches, movimiento demográfico, fragmentación.

Please cite this article as follows (APA 6): Kadioğulları, A. I., Sönmez, T., Başkent, E. Z., & Karahalil, U. (2017). Updating land-cover change via analysis based on elevation and distance to settlements: A case study from Turkey.

Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 23(2), 289-313. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.11.062>

Received: November 16, 2016 / Accepted: April 11, 2017



[www.chapingo.mx/revistas/forestales](http://www.chapingo.mx/revistas/forestales)

## Introduction

Understanding and analyzing the factors affecting land-cover change, forest dynamics and spatiotemporal changes of forest ecosystems is an important factor in the management of forest products and services. The number as well as the spatial distributions of land-cover patches or forestations/deforestations throughout the landscape has an important impact on the sustainability of both forest products and services. Control of the spatial configuration of forest-cover types provides the ability to better design and manage forest values based on understanding the spatiotemporal analyses of forest dynamics/land-cover change (Kadioğulları et al., 2014).

In this context, land-use/land-cover changes have been previously investigated in a number of studies analyzing the factors that influence this change. Land-use/land-cover change (Çakir, Sivrikaya, & Keleş, 2008; Park & Stenstrom, 2008; Şen, Bayramoğlu, & Toksoy, 2015; Wakeel, Rao, Maikhuri, & Saxena, 2005; Xu, Yin, & Zhou, 2007), forest dynamics (Kadioğulları, 2013; Günlü, Kadioğulları, Keleş, & Başkent, 2009; Köchli & Brang, 2005; Padilla, Vidal, Sanchez, & Pugnaire, 2010), succession (Terzioğlu, Başkent, & Kadioğulları, 2009; Terzioğlu et al., 2010), spatial changes (Kadioğulları & Başkent, 2008; Kadioğulları et al., 2014; Turan et al., 2010; Paudel & Yuan, 2012; Sancar, Turan, & Kadioğulları, 2009), population growth (Bewket, 2002; Kadioğulları et al., 2014; Sivrikaya et al., 2007), pasturing (Calvas et al., 2013), urbanization (Dewan, Yamaguchi, & Ziaur, 2012; Turan et al., 2010) and global market forces (Beilin et al., 2014) have all been analyzed. Many data sources such as stand-type maps and satellite images were used in the abovementioned studies; however, the study areas were handled as a whole and only the total change and changes from one class to another were considered. Using patch analyses via indices, fragmentation was also demonstrated in selected classes. On the other hand, there has been no recorded study evaluating the increase or decrease of total forest areas, i. e., living biomass in elevational zones. In other words, changes in relation to elevation have not yet been taken into account. Moreover, the effects on forest areas of settlement zones at varying distances have not been examined either. In addition, forest areas previously analyzed using satellite imagery and stand-type maps have not been re-evaluated with regard to the current forest management plan data. In this context, forest management plans for a 10-year period were completed for the first time in Turkey between 1963 and 1972, and from the beginning of that planning period to the present, forest management plans have been updated every 10 or 20 years. When comparing inventory data for the first term (1963-1972) with the 2012 management plan, a net increase of 1 478,838 ha in forest areas was seen. During this

## Introducción

Comprender y analizar los factores que afectan el cambio de cobertura terrestre, la dinámica de los bosques y los cambios espacio-temporales de los ecosistemas forestales es importante en el manejo de los productos y servicios forestales. El número y las distribuciones espaciales de los parches de cobertura terrestre o forestaciones y deforestaciones en todo el paisaje tienen un impacto importante en la sostenibilidad de los productos y servicios forestales. El control de la configuración espacial de los tipos de cobertura forestal proporciona la capacidad de diseñar y manejar los valores forestales basados en la comprensión de los análisis espacio-temporales de la dinámica de los bosques y el cambio de cobertura terrestre (Kadioğulları et al., 2014).

En este contexto, previamente, se ha realizado una serie de estudios que analizan los factores influyentes en el cambio de uso de suelo y cobertura terrestre. Los cambios en el uso de suelo y cobertura terrestre (Çakir, Sivrikaya, & Keleş, 2008; Park & Stenstrom, 2008; Şen, Bayramoğlu, & Toksoy, 2015; Wakeel, Rao, Maikhuri, & Saxena, 2005; Xu, Yin, & Zhou, 2007), la dinámica de los bosques (Kadioğulları, 2013; Günlü, Kadioğulları, Keleş, & Başkent, 2009; Köchli & Brang, 2005; Padilla, Vidal, Sanchez, & Pugnaire, 2010), la sucesión (Terzioğlu, Başkent, & Kadioğulları, 2009; Terzioğlu et al., 2010), los cambios espaciales (Kadioğulları & Başkent, 2008; Kadioğulları et al., 2014; Turan et al., 2010; Paudel & Yuan, 2012; Sancar, Turan, & Kadioğulları, 2009), el crecimiento de la población (Bewket, 2002; Kadioğulları et al., 2014; Sivrikaya et al., 2007), el pastoreo (Calvas et al., 2013), la urbanización (Dewan, Yamaguchi, & Ziaur, 2012; Turan et al., 2010) y la fuerza del mercado global (Beilin et al., 2014) han sido analizados. En tales estudios se utilizaron mapas de masas forestales e imágenes de satélite como fuente de datos; sin embargo, las áreas de estudio se manejaron como un todo y solo el cambio total y los cambios de una clase a otra se consideraron. La fragmentación también se demostró en las clases seleccionadas utilizando el análisis de parches mediante índices. Por otra parte, no se ha registrado un estudio que evalúe el aumento o la disminución de las áreas forestales totales; es decir, biomasa viva en zonas de elevación. En otras palabras, no se han tomado en cuenta los cambios con relación a la elevación. Asimismo, tampoco se han examinado los efectos en las áreas forestales de las zonas de asentamiento a diferentes distancias. Además, las áreas forestales analizadas previamente, mediante imágenes de satélite y mapas de masas forestales, no han sido revaluadas con respecto a los datos actuales del plan de manejo forestal. En este contexto, los planes de manejo forestal para un periodo de 10 años se completaron por primera vez en Turquía entre 1963 y 1972, y desde el

period, the amount of productive forest area increased to 2 702,211 ha (General Directorate of Forestry [GDF], 2012; Kadioğulları et al., 2014).

This study closes this gap via a large-scale analysis of landscape structure and change using stand-type maps and focusing on elevation classes and distances from settlements in the Gümüşhane forests. The objectives of this research were: to map the distribution of forest dynamics and land-cover change of Gümüşhane Forest Enterprise between 1971 and 2013; to display landscape change and fragmentation over a 42-year period; to describe the documentation of forest improvement/disturbance in all sub-elevation classes; to introduce the effects of distance from settlements on forest improvement/disturbance, and to present and update landscape pattern change under varying management and disturbance regimes with special focus on forest transition.

## Materials and methods

### Case study area

Gümüşhane Forestry Enterprise is located in a typical mountain watershed covering an area of 431,069.7 ha along northeastern Turkey according to the boundaries of the 2013 stand-type maps (Figure 1). The elevation varies between 500 and 3,500 m with an average slope of 18 %. The vegetation includes trees of the species *Pinus silvestris* L., *Abies nordmanniana* subsp. *nordmanniana*, *Quercus* and *Juniperus*. Gümüşhane Forestry Enterprise was originally (1971) composed of 13 Forest Planning Units (GDF, 1971) but these were reduced in 1987 and 2013 to the present four Forest Planning Units (Gümüşhane, Karanlıkdere, Şiran, and Kelkit) through various upper-level management decisions (GDF, 1987, 2013; Kadioğulları & Başkent, 2008). In 1971 and 1987, these forest-management plans were prepared using the neo-classical approach to planning; however, in 2013, they were prepared by the ecosystem-based functional planning technique. The Gümüşhane Forest Enterprise officially covers three mid-level residential areas of Gümüşhane and includes the towns of Kelkit, Şiran and Köse (after 1987). Between 1970 and 2013 the demographic dynamics of Gümüşhane were mostly dominated by the migration of the rural population to urban centers both within and outside of the district (Republic of Turkey State Institute of Statistics [RTSIS], 2013). For example, the rural population of Gumushane Forest Enterprise was reduced by more than half (from 115,420 to 53,863), while the urban population was increased approximately threefold (from 21,808 to 61,838), with a total population reduction of 21,500 (15 %) during the study period (RTSIS, 2013).

An examination of the socio-economic structure of the Gümüşhane area shows the main livelihood

inicio de ese periodo de planificación, hasta el presente, los planes de manejo forestal han sido actualizados cada 10 o 20 años. Al comparar los datos del primer inventario (1963-1972) con el plan de manejo de 2012, se observó un incremento neto de 1 478,838 ha en áreas forestales. Durante este periodo, la cantidad de área forestal productiva aumentó a 2 702,211 ha (General Directorate of Forestry [GDF], 2012; Kadioğulları et al., 2014).

Este estudio cubre un vacío mediante un análisis a gran escala de la estructura y el cambio del paisaje utilizando mapas de masas forestales y centrándose en las clases de elevación y distancias de los asentamientos en los bosques de Gümüşhane. Los objetivos de este estudio fueron: mapear la distribución de la dinámica de los bosques y el cambio de cobertura terrestre de Gümüşhane Forest Enterprise entre 1971 y 2013; mostrar el cambio del paisaje y la fragmentación durante un periodo de 42 años; describir la documentación del mejoramiento/perturbación de los bosques en todas las clases de sub-elevación; introducir los efectos de la distancia de los asentamientos en la mejora/perturbación de los bosques; y presentar y actualizar el cambio del patrón paisajístico en diversos regímenes de manejo y perturbación, con especial atención en la transición forestal.

## Materiales y métodos

### Área de estudio de caso

Gümüşhane Forest Enterprise se encuentra en una cuenca de montaña típica que abarca una superficie de 431,069.7 ha a lo largo del noreste de Turquía de acuerdo con los límites de los mapas de masas forestales de 2013 (Figura 1). La elevación varía entre 500 y 3,500 m con una pendiente media de 18 %. La vegetación incluye árboles de las especies *Pinus silvestris* L., *Abies nordmanniana* subsp. *nordmanniana*, *Quercus* y *Juniperus*. Gümüşhane Forest Enterprise estaba compuesta originalmente (1971) por 13 Unidades de Planificación Forestal (GDF, 1971), pero estas fueron reducidas en 1987 y 2013 a cuatro Unidades de Planificación Forestal (Gümüşhane, Karanlıkdere, Şiran y Kelkit) mediante varias decisiones de manejo de alto nivel (GDF, 1987, 2013; Kadioğulları & Başkent, 2008). En 1971 y 1987, estos planes de manejo fueron realizados usando el enfoque neoclásico de la planificación; sin embargo, en 2013, se elaboraron mediante la técnica de planificación funcional con base en el ecosistema. Los bosques de Gümüşhane abarcan oficialmente tres zonas residenciales de nivel medio de Gümüşhane e incluye las ciudades de Kelkit, Şiran y Köse (después de 1987). Entre 1970 y 2013, la dinámica demográfica de Gümüşhane estuvo dominada principalmente por la migración de la población rural a los centros urbanos tanto dentro como fuera del distrito (Republic of Turkey State Institute of Statistics

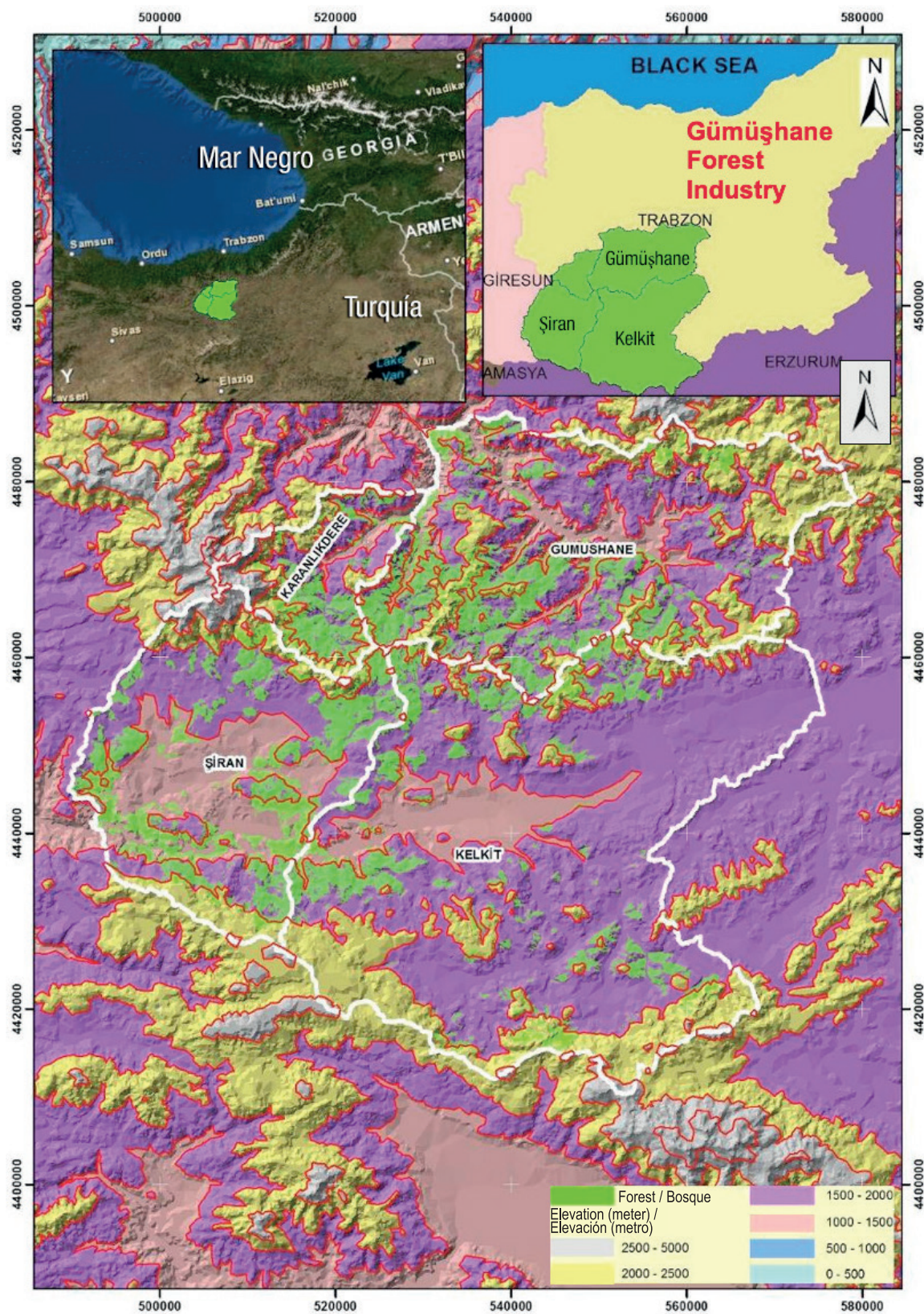


Figure 1. The geographic location of the study area surrounded with solid white lines.  
 Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio rodeada de líneas blancas sólidas.

of the inhabitants to be derived from agriculture and stockbreeding and the gross national product to be approximately half of the average for Turkey in recent years (RTSIS, 2013).

### Database development

A spatio-temporal analysis of the forest structure was carried out within a systematic process. First of all, the 1971 and 1987 stand-type maps were scanned and then geo-referenced using standard topographical maps. Rectified forest stand-type maps with a 1/3000 screen view scale were digitized. Second, the 2013 stand-type maps produced from IKONOS satellite images were rectified and digitized to create draft stand-type maps which were then corrected using field survey data. The spatial database included stand attributes such as species mix, crown closure and developmental stages (Table 1). Previously generated hard-copy maps were digitized and processed using Arc/Info version 10.0 GIS (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2011) with a maximum root mean square error of under 10 m (Kadioğulları, 2013). Third, spatial and temporal changes as well as the transition of cover types based on elevation parameters and distance to settlements were analyzed. An elevation map was created by using a digital elevation model (DEM) produced from contour curves (10 m height accuracy). All sub compartments (patches) were grouped into six classes (< 500 m, 501-1,000 m, 1,001-1,500 m, 1,501-2,000 m, 2,001-2,500 m and > 2,500 m) based on the parameter of distance from settlement areas using the “ring buffer” and overlay command in GIS. The other parameter, which relates to elevation, was grouped into six classes (500-1,000 m, 1,001-1,500 m, 1,501-2,000 m, 2,001-2,500 m, 2,501-3,000 m and 3,001-3,500 m). These maps of elevation and distance from settlement areas were overlaid on all stand-type

[RTSIS], 2013). Por ejemplo, la población rural de Gümüşhane Forest Enterprise se redujo en más de la mitad (de 115,420 a 53,863), mientras que la población urbana aumentó aproximadamente tres veces (de 21,808 a 61,838), con una reducción de la población total de 21,500 (15 %) durante el periodo estudiado (RTSIS, 2013).

Un examen de la estructura socioeconómica de la zona de Gümüşhane muestra que, en los últimos años, el principal medio de vida de los habitantes proviene de la agricultura y ganadería y que el producto nacional bruto es aproximadamente la mitad de la media de Turquía (RTSIS, 2013).

### Desarrollo de base de datos

Se realizó un análisis espacio-temporal de la estructura forestal dentro de un proceso sistemático. En primer lugar, los mapas de masas forestales de 1971 y 1987 fueron escaneados y georeferenciados utilizando mapas topográficos. Los mapas rectificadas de masas se digitalizaron con una escala de vista de 1/3000. En segundo lugar, los mapas de 2013 elaborados a partir de imágenes de satélites IKONOS se rectificaron y digitalizaron para crear mapas de masas forestales que luego se corrigieron usando datos de la encuesta de campo. La base de datos espacial incluyó atributos de masas forestales como mezcla de especies, cobertura y etapas de desarrollo (Cuadro 1). Los mapas de impresos previamente generados se digitalizaron y procesaron utilizando Arc/Info versión 10.0 SIG (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2011) con un error cuadrático medio máximo de menos de 10 m (Kadioğulları, 2013). En tercer lugar, se analizaron los cambios espaciales y temporales, así como la transición de los tipos de cobertura con

**Table 1. Classification of crown closures and developmental stages.**

**Cuadro 1. Clasificación de coberturas y etapas de desarrollo.**

Crown closure types/ Tipos de cobertura	Criteria (% cover)/ Criterio (% cobertura)	Developmental stages/ Etapas de desarrollo	Criteria (average diameter at breast height [dbh])/ Criterio (diámetro promedio a la altura del pecho [dap])
0	Regenerated areas/ Áreas regeneradas	a (regenerated)/a (regenerado)	<8 cm
Degraded forest/ Bosque degradado	0-10 %	b (young)/b (joven)	8-19.9 cm
1 (low coverage)/ 1 (cobertura baja)	11-40 %	c (mature)/c (maduro)	20-35.9 cm
2 (medium coverage)/ 2 (cobertura media)	41-70 %	d (over-mature)/ d (excesivamente maduro)	>36 cm
3 (full coverage)/ 3 (cobertura total)	>71 %	B (young-mature; only 1971 forest plans)/ B (joven-maduro; solo 1,971 planes forestales)	8-35.9 cm

maps and the transitions were then analyzed according to these classes. Lastly, the fragmentation of the areas was evaluated using Patch Analyst tools to complete the analyses (Rempel, Kaukinen, & Carr, 2012).

### Transition of land-cover types according to elevation and distance to settlements

In addition to analyzing the changes in the amount of land- and forest-cover types, the temporal transitions among the cover types were also documented and evaluated to identify the temporal dynamics through various indicative parameters of both composition and configuration of forest resources based on elevation and distance from settlements. The transitions were evaluated by using periodic stand-type maps (1971, 1987 and 2013). The elevation-class maps, distance-from-settlements maps, land-cover types, developmental stages, crown-closure maps and polygon themes for 1971, 1987 and 2013 were overlaid, with each class converted to any of the other classes based on all the parameters, and then computed using GIS overlay commands.

### Patch analysis and forestation/deforestation rate

Specifically, the Patch Analyst tool (Rempel et al., 2012) was used to quantify the landscape structure of Gümüşhane State Forests for each of the land-use classes. Patch Analyst calculates the number of spatial metrics for each patch and each land-cover class as well as for the entire landscape. Selected metrics for the land-use class for the landscape in 1971, 1987 and 2013 were analyzed (Kadioğulları, 2013).

In addition to displaying land-cover change via selected fragmentation indices, the forest improvement or deforestation rate over time was demonstrated for the selected period. Thus, the dynamics of forest improvement/deforestation, critical for the management and conservation of both renewable resources and biodiversity in the landscape were investigated. The average forestation/deforestation rate was computed via the compound-interest-rate method due to its explicit biological meaning (Puyravaud, 2003):

$$P = \frac{100}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1}$$

where:

$P$  = productive/total forest improvement per year (%)  
 $A_1, A_2$  = amounts of total forest cover or productive forest areas (ha) at time  $t_1$  and  $t_2$ , respectively (Kadioğulları, 2013; Puyravaud, 2003).

base en los parámetros de elevación y distancia de los asentamientos. Se creó un mapa de elevación utilizando un modelo de elevación digital (DEM) elaborado a partir de curvas de contorno (precisión de 10 m de altura). Todos los subcompartimentos (parches) se agruparon en seis clases (< 500 m, 501-1,000 m, 1,001-1,500 m, 1,501-2,000 m, 2,001-2,500 m y > 2,500 m) con base en el parámetro de distancia de las zonas de asentamiento utilizando el “buffer de anillos” y el comando de superposición en SIG. El otro parámetro, que se refiere a elevación, se agrupó en seis clases (500-1,000 m, 1,001-1,500 m, 1,501-2,000 m, 2,001-2,500 m, 2,501-3,000 m y 3,001-3,500 m). Estos mapas de elevación y distancia de las áreas de asentamiento fueron superpuestos en todos los mapas de masas forestales y las transiciones se analizaron de acuerdo con estas clases. Por último, la fragmentación de las áreas se evaluó mediante herramientas de Patch Analyst para completar los análisis (Rempel, Kaukinen, & Carr, 2012).

### Transición de los tipos de cobertura según la elevación y distancia de los asentamientos

Además de analizar los cambios en la cantidad de tipos de cobertura terrestre y forestal, también se documentaron y evaluaron las transiciones temporales entre los tipos de cobertura para identificar la dinámica temporal, a través de diversos parámetros indicativos de composición y configuración de los recursos forestales con base en la elevación y distancia de los asentamientos. Las transiciones se evaluaron mediante el uso periódico de mapas de masas forestales (1971, 1987 y 2013). Los mapas de clases de elevación, mapas de distancia de los asentamientos, tipos de cobertura terrestre, etapas de desarrollo, mapas de cobertura y temas de polígono para 1971, 1987 y 2013 se superpusieron con cada clase convertida en cualquiera de las otras clases, con base en todos los parámetros, y luego se calcularon utilizando los comandos de superposición de SIG.

### Análisis de parches y tasa de forestación/deforestación

Concretamente, la herramienta Patch Analyst (Rempel et al., 2012) se utilizó para cuantificar la estructura del paisaje de los bosques de Gümüşhane para cada una de las clases de uso de suelo. Patch Analyst calcula el número de métricas espaciales para cada parche y cada clase de cobertura, así como para todo el paisaje. Las métricas seleccionadas se analizaron para la clase de uso de suelo para el paisaje en 1971, 1987 y 2013 (Kadioğulları, 2013).

Además de mostrar el cambio de cobertura terrestre mediante índices de fragmentación, se demostró la

## Results and Discussion

### Changes in land-cover types

The digitized stand-type maps obtained from the forest management plans (Figure 2) showed that there was a net increase of 50,910 ha of total forest area within the new study area borders in the latter period (1987-2013). As a result, the productive forest areas were increased by 59,823 ha, while the degraded forest areas were decreased by 7,680 ha (Figure 3). As an overall change between 1987 and 2013, there was a net increase of 23.6 % in the total forested areas (Appendix 1). In this period (1987-2013), cumulative forest improvement was seen in 49 % of the forested area, and in 23.6 % of the total study site of 50,910 ha. This can be calculated as an average improvement rate of 1.58 % annually for the combined degraded and productive forests. As for the first period (1971-1987), total forest areas decreased by 2,436 ha and productive forest areas decreased by 2,574 ha, while degraded forest areas increased by 138 ha (Figure 3) (Kadioğulları & Başkent, 2008).

Based on stand-type maps (Figure 2), overall change in the cover types of total forest areas increased by 57,548 ha, while the open areas and degraded forest

mejora forestal o tasa de deforestación a lo largo del tiempo para el periodo seleccionado. De esta forma, se investigó la dinámica de mejora forestal/deforestación, importante para el manejo y conservación de recursos renovables y biodiversidad en el paisaje. La tasa promedio de forestación/deforestación se calculó mediante el método de tasa de interés compuesto, debido a su significado biológico explícito (Puyravaud, 2003):

$$P = \frac{100}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1}$$

donde:

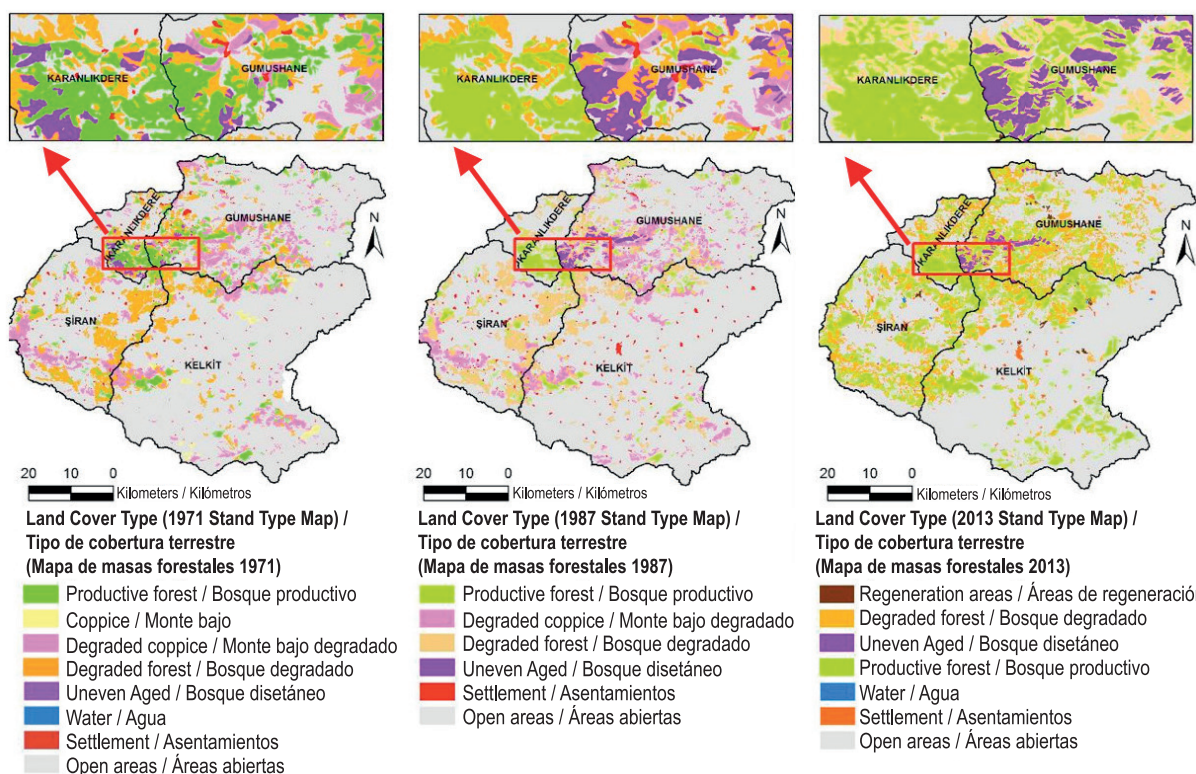
$P$  = mejoramiento productivo/mejoramiento total forestal por año (%)

$A_1, A_2$  = cantidades totales de cobertura forestal o áreas forestales productivas (ha) en el tiempo  $t_1$  y  $t_2$ , respectivamente (Kadioğulları, 2013; Puyravaud, 2003).

## Resultados y discusión

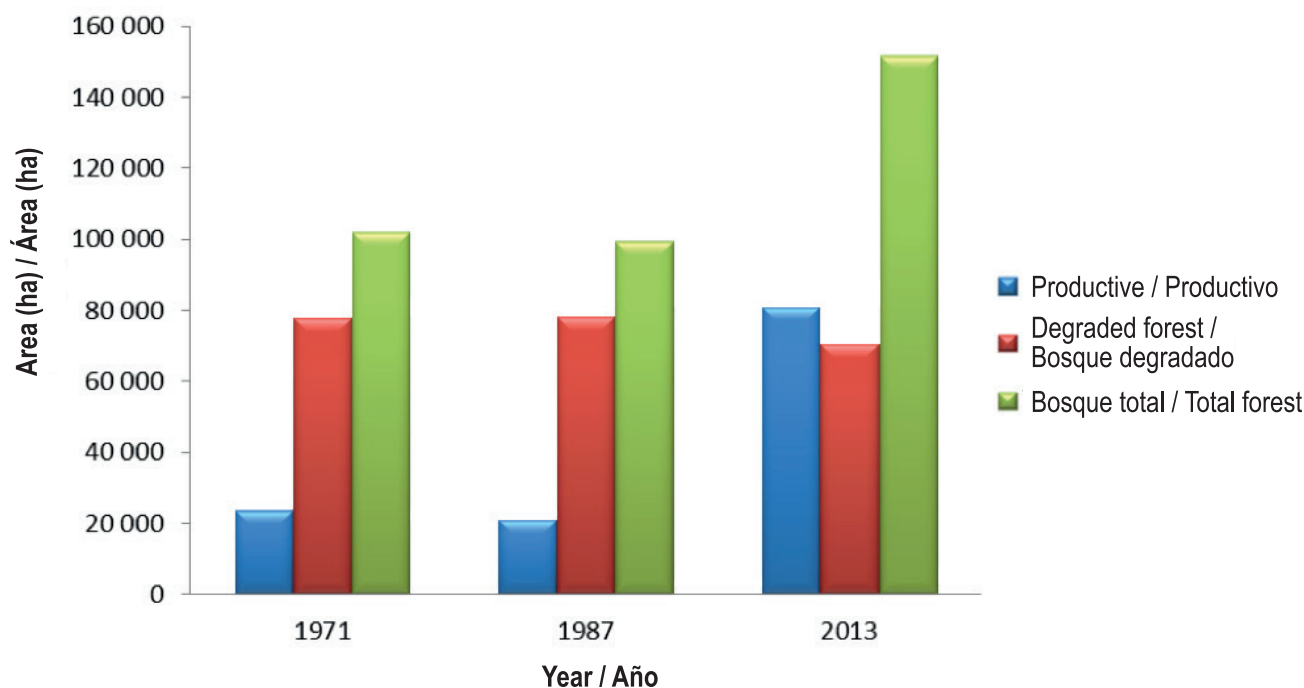
### Cambios en los tipos de cobertura terrestre

Los mapas digitalizados provenientes de los planes de manejo forestal (Figura 2) mostraron un aumento neto



**Figure 2. The spatial distribution of land covers types of Gümüşhane State Forest Industry, Turkey, during 1971, 1987 and 2013.**

**Figura 2. Distribución espacial de los tipos de cobertura de Gümüşhane Forest Industry, Turquía, durante 1971, 1987 y 2013.**



**Figure 3. Change of forest areas in Gümüşhane Forest Industry, Turkey, at beginning of three planning periods: 1971, 1987 and 2013.**

**Figura 3. Cambio de áreas forestales en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, al inicio de tres periodos de planificación: 1971, 1987 y 2013.**

areas decreased by 50,052 and 7,542 ha, respectively. In total, the non-forested areas of the landscape decreased by 22.7 % (48,473 ha), causing the forested areas to increase at a similar rate of change.

During the period 1971-2013, a net increase of 57,248 ha was achieved in the productive forest areas and of 50,910 ha in the total (productive and degraded) forest areas. In the study site as a whole, the accumulated forest improvement amounted to 22.7 % (48,473 ha) and to 56 % in the forested area. The average improvement rate was 0.92 % annually for the combined degraded and productive forests. In this period (1971-2013), in the productive forest areas alone, the 57,248 ha improvement amounted to 11 % of the Gümüşhane State Forest as a whole and to 47 % of the forested area. This is the equivalent of an average improvement rate for the productive forests of 2.91 % annually.

#### Transitions among land-cover types

The major land-cover type transitions that had taken place over 1971, 1987 and 2013 were established using forest management plans (Table 2; Figures 2, 3 and 4; Appendix 1). As a result of this analysis, it was revealed that, between 1971 and 2013, 2,445 ha of the productive forest areas were transformed into degraded forest areas, while the productive forest areas showed a net increase of 57,248 ha. During the same

de 50,910 ha de área forestal total dentro de las nuevas fronteras del área de estudio en el último periodo (1987-2013). Como resultado, las áreas forestales productivas aumentaron 59,823 ha, mientras que las degradadas disminuyeron 7,680 ha (Figura 3). Como cambio general, entre 1987 y 2013 hubo un aumento neto de 23.6 % en las áreas forestales totales (Apéndice 1). En este periodo (1987-2013), la mejora forestal acumulada se observó en 49 % de la superficie forestal y 23.6 % del total del sitio de estudio con 50,910 ha. Esto se puede calcular como una tasa de mejora promedio de 1.58 % anual para los bosques mixtos degradados y productivos. En cuanto al primer periodo (1971-1987), las áreas forestales totales y productivas disminuyeron 2,436 y 2,574 ha, respectivamente, mientras que las áreas forestales degradadas aumentaron 138 ha (Figura 3) (Kadioğulları & Başkent, 2008).

Con base en los mapas de masas forestales (Figura 2), el cambio general en los tipos de cobertura de las áreas forestales totales aumentó 57,548 ha, mientras que las áreas abiertas y forestales degradadas disminuyeron 50,052 y 7,542 ha, respectivamente. En total, las áreas no boscosas del paisaje disminuyeron 22.7 % (48,473 ha), haciendo que las áreas forestales aumentaran con una tasa de cambio similar.

Durante el periodo 1971-2013 se logró un incremento neto de 57,248 ha en las áreas forestales productivas y



**Table 2. The transition matrix of land-cover change of Gümüşhane Forest Industry, Turkey from 1971 to 2013.**  
**Cuadro 2. Matriz de transición del cambio de cobertura en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, de 1971 a 2013.**

Land cover types (1971)/ Tipos de cobertura (1971)	Land cover types (2013)/Tipos de cobertura (2013)							
	Settlement (ha)/ Asentamiento (ha)	Regeneration areas (ha)/ Áreas de regeneración (ha)	Open areas (ha)/ Áreas abiertas (ha)	Degraded forest (ha)/Bosque degradado (ha)	Uneven aged forest (ha)/ Bosque disetáneo (ha)	Water (ha)/ Agua (ha)	Productive forest (ha)/ Bosque productivo (ha)	Landscape (ha)/ Paisaje (ha)
Open Areas/ Áreas abiertas	2,100.4	1,182.2	262,310.7	38,653.5	279.2	189.4	21,018.0	325,733.5
Coppice/ Monte bajo	7.9	14.9	411.5	318.0	-	-	2,013.2	2,765.5
Degraded coppice/ Monte bajo degradado	47.3	30.1	4,766.5	13,011.5	118.1	3.1	14,054.8	32,031.4
Degraded forest/ Bosque degradado	40.9	4.3	5,581.3	16,064.7	341.1	3.2	24,148.3	46,183.9
Uneven aged forest/ Bosque disetáneo	-	-	24.0	141.2	331.9	-	1,534.0	2,031.1
Settlement/ Asentamiento	1,181.5	0.7	1,745.7	179.9	0.1	-	122.7	3,230.5
Water/Agua	-	-	3.7	-	-	-	-	3.7
Productive forest/ Bosque productivo	5.9	0.8	837.9	2,304.4	2,507.7	-	13,433.5	19,090.1
Landscape/Paisaje	3,383.9	1,233.0	275,681.3	70,673.3	3,578.1	195.7	76,324.5	431,069.7

period, open areas were changed into productive forest (around 21,018 ha) and degraded forest (38,653 ha); the areas left unchanged consisted of 262,310 ha of open areas, 14,967 ha of productive forest and 29,075 ha of degraded forest (Table 2). During the period 1987-2013, around 39,082 ha of open areas in the study area had changed into degraded forest and 19,976 ha into productive forest (Appendix 1). Other changes of land-cover types for both periods are shown in Figures 2, 3 and 4.

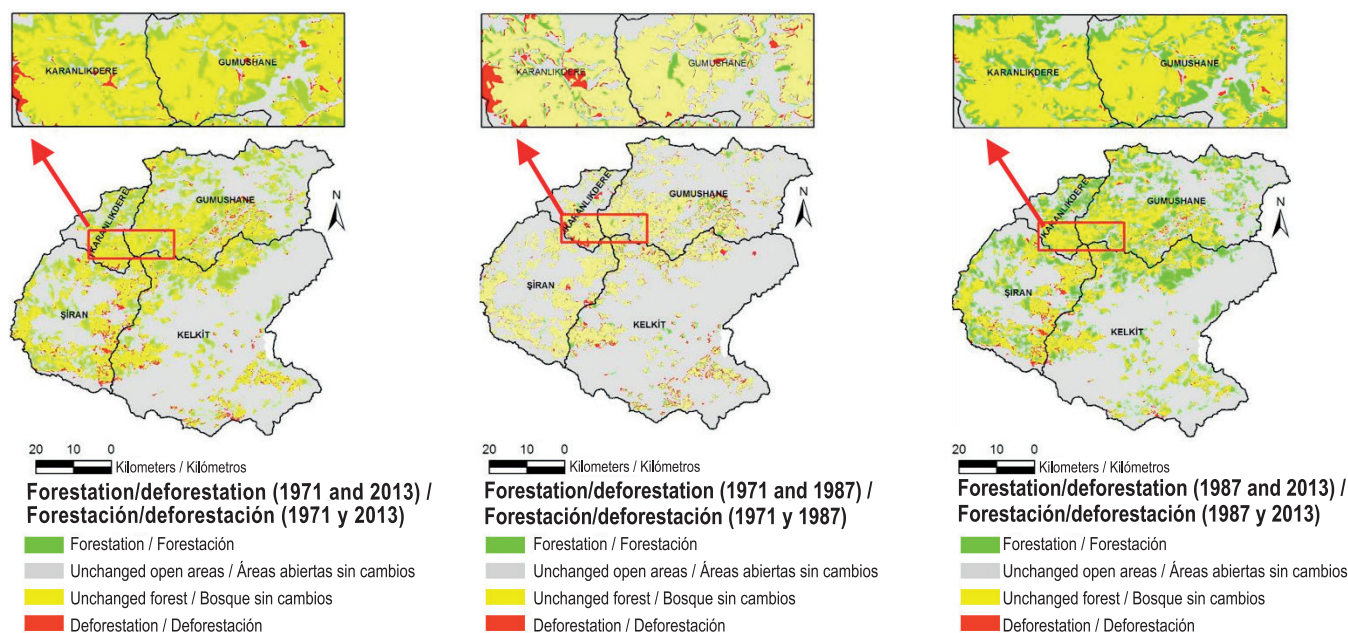
#### Changes and transitions among crown closures and developmental stages

A further analysis of the stand-type maps revealed changes in the forest structure and dynamics. During the first period (1971-1987), stands with a crown closure of 2 (medium coverage, 41 %-70 %) increased by about 2200 ha and those with a crown closure of 1 (low coverage, 11 %-40 %) decreased by about 3,900 ha, while those with a crown closure of 3 (full coverage, >70 %) remained essentially unchanged. Generally, the changes in crown closure indicated that crown closure 1 and degraded forest areas decreased, crown closures

de 50,910 ha en las áreas forestales totales (productivas y degradadas). En el sitio de estudio, la mejora forestal acumulada ascendió 22.7 % (48,473 ha) y 56 % en el área forestal. La tasa promedio de mejora fue 0.92 % anual para los bosques mixtos degradados y productivos. En este periodo (1971-2013), solo en las áreas forestales productivas, la mejora de 57,248 ha aumentó 11 % en el Bosque Gümüşhane en su totalidad y 47 % en la superficie forestal. Esto equivale a una tasa de mejoramiento promedio de los bosques productivos de 2.91 % anual.

#### Transiciones entre tipos de cobertura

Las principales transiciones de tipo de cobertura que tuvieron lugar en 1971, 1987 y 2013 se establecieron utilizando planes de manejo forestal (Cuadro 2; Figuras 2, 3 y 4; Apéndice 1). Como resultado de este análisis, se reveló que, entre 1971 y 2013, las áreas productivas forestales mostraron un incremento neto de 57,248 ha, mientras que 2,445 ha se convirtieron en áreas forestales degradadas. Durante el mismo periodo, las áreas abiertas se convirtieron en bosques productivos (aproximadamente 21,018 ha) y bosques



**Figure 4. The spatial distributions of forestation/deforestation of Gümüşhane Forest Industry, Turkey, over three periods: 1971-2013, 1971-1987 and 1987-2013.**

**Figura 4. Distribuciones espaciales de forestación/deforestación en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, en tres periodos: 1971-2013, 1971-1987 y 1987-2013.**

of 3 were stable, crown closure 2 areas increased, and the quality of the forest structure increased between 1971 and 1987 (Table 3; Appendix 2 and 3). In the second period (1987-2013) stands with crown closures of 2 increased by about 3,200 ha, those with crown closures of 1 decreased by about 24,500 ha and those with full crown closures of 3 increased by about 31,200 ha. These changes between 1987 and 2013 showed that the crown closure had improved, the total productive forest had increased significantly by about 59,800 ha and the quality of the forest structure had also improved (Table 3; Appendix 2 and 3).

When the overall crown closure changes for the duration between 1971 and 2013 for the combined forest areas as a whole were examined, results showed that the areas of crown closures 1 and 2 increased by about 20,600 and 5,400 ha, respectively. Crown closure 3 areas significantly increased by 31,240 ha, while the degraded forest areas were reduced by about 7,600 ha. To a certain extent, the changes in crown closure indicated the improvement of the forest structure because less-covered areas had been changed in favor of fully-covered areas and consequently the productive forest areas increased significantly (Appendix 3).

Another parameter employed in the analysis of the change in forest structure was the classification of the

degradados (38,653 ha); las áreas que quedaron sin cambios consistieron en 262,310 ha de áreas abiertas, 14,967 ha de bosques productivos y 29,075 ha de bosques degradados (Cuadro 2). En el periodo 1987-2013, alrededor de 39,082 ha de áreas abiertas en el área de estudio se convirtieron en bosques degradados y 19,976 ha en bosques productivos (Apéndice 1). En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran otros cambios en los tipos de cobertura para ambos periodos.

#### Cambios y transiciones entre coberturas y etapas de desarrollo

Un análisis más detallado de los mapas de masas reveló cambios en la estructura y dinámica forestal. Durante el primer periodo (1971-1987), las masas con cobertura 2 (cobertura media, 41-70 %) aumentaron aproximadamente 2,200 ha; las de cobertura 1 (cobertura baja, 11-40 %) disminuyeron aproximadamente 3,900 ha; mientras que aquellas con cobertura 3 (cobertura total, >70 %) permanecieron sin cambios. En general, los cambios en la cobertura indicaron que la cobertura 1 y las áreas forestales degradadas disminuyeron, la cobertura 3 fue estable, las áreas con cobertura 2 aumentaron y la calidad de la estructura forestal aumentó entre 1971 y 1987 (Cuadro 3; Apéndices 2 y 3). En el segundo periodo (1987-2013), las masas con cobertura 2 aumentaron aproximadamente 3,200 ha; las masas con cobertura 1

**Table 3. The transition matrix of crown closure classes of Gümüşhane Forest Industry, Turkey, from 1971 to 2013. Cuadro 3. Matriz de transición de las clases de cobertura en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, de 1971 a 2013.**

Crown closure classes (1971)/ Clases de cobertura (1971)	Crown closure classes (2013)/Clases de cobertura (2013)							
	1 (ha)	2 (ha)	3 (ha)	Regeneration (ha)/ Regeneración (ha)	Degraded (ha)/ Degradado (ha)	Open areas (ha)/ Áreas abiertas (ha)	Uneven aged (ha)/ Disetáneo (ha)	Total (ha)
1	895.7	1,279.0	2,990.5	-	1,298.7	462.2	538.4	7,464.6
2	792.0	1,471.0	3,752.2	0.8	919.1	359.0	1,313.8	8,607.7
3	184.1	465.7	1,603.3	-	86.6	22.6	655.5	3,017.8
Open areas/ Áreas abiertas	10,283.5	3,466.4	7,390.8	1,182.9	38,833.4	267,531.4	279.2	328,967.7
Coppice/ Monte bajo	577.8	73.1	1,362.3	14.9	318.0	419.4	-	2,765.5
Degraded/ Degradado	15,185.8	7,087.8	15,929.6	34.4	29,076.3	10,442.2	459.2	78,215.3
Uneven aged/ Disetáneo	131.7	174.3	1,228.0	-	141.2	24.0	331.9	2,031.1
Total	28,050.5	14,017.4	34,256.6	1,233.0	70,673.3	279,260.9	3,578.1	431,069.7

Crown closure: 1 = low coverage (0 - 10 %), 2 = medium coverage (11 - 40 %), 3 = full coverage (>71 %).

Cobertura: 1 = cobertura baja (0 - 10 %), 2 = cobertura media (11 - 40 %), 3 = cobertura total (>71 %).

developmental stages of the forest ecosystems. The 1971 stand-type maps showed the developmental stages *B* (young-mature), *Bd* (young-overmature), *dB* (mature and overmature) and *d* (overmature) as having areas of 15,669 ha, 692 ha, 1,378 ha and 490 ha, respectively (Table 4) (Kadioğulları & Başkent, 2008). However, in 1987, forests were generally classified as being in the *b* (young) and *c* (mature) stages of development. Later, the forests were largely categorized as being in the developmental stages *a* (regenerated = 11,577 ha), *b* (young = 13,353 ha), *bc* (young-mature = 31,320 ha), *c* (mature = 1,607 ha) and *cd* (mature-overmature = 12,445 ha) (Table 4; Appendix 4 and 5). This overall change showed that regeneration practices had come into prominence as a result of sustainable forestry, as revealed by the increase in the *a* and *ab* developmental stages between 1971 and 2013. The rest of the area was left to grow into *c* (mature) and *d* (over-mature) developmental stages. The general assumption was that the forest was developing into *b* (young) and *bc* (young-mature) stages (Table 4; Appendix 5) (Kadioğulları & Başkent, 2008).

Based on the stand-type maps for the two periods, further crown closure analyses were carried out. For the second period (1987-2013), around 500 ha of full-closure (3) areas were changed to medium coverage (2); 254 ha of full-closure (3) areas to low coverage (1); 6,379 ha of medium-closure (2) areas to full coverage (3); and 1,709 ha of low-closure (1) areas were changed into full-coverage (3) areas (appendix 2). Furthermore,

disminuyeron aproximadamente 24,500 ha; y aquellas con cobertura total 3, aumentaron aproximadamente 31,200 ha. Estos cambios ocurridos entre 1987 y 2013 mostraron que la cobertura había mejorado, el bosque productivo total había aumentado significativamente 59,800 ha y la calidad de la estructura forestal también había mejorado (Cuadro 3, Apéndices 2 y 3)

Cuando los cambios generales se analizaron en la cobertura entre 1971 y 2013 para el total de áreas forestales, los resultados mostraron que las áreas de cobertura 1 y 2 aumentaron aproximadamente 20,600 y 5,400 ha, respectivamente. Las áreas con cobertura 3 aumentaron 31,240 ha, mientras que las áreas forestales degradadas se redujeron 7,600 ha. En cierta medida, los cambios en la cobertura indicaron el mejoramiento de la estructura forestal, ya que las áreas menos cubiertas cambiaron a favor de las áreas con cobertura total y, en consecuencia, las áreas forestales productivas aumentaron significativamente (Apéndice 3).

Otro parámetro empleado en el análisis de cambio en la estructura forestal fue la clasificación de las etapas de desarrollo de los ecosistemas forestales. Los mapas de masas de 1971 mostraron las etapas de desarrollo *B* (jóvenes-maduras), *Bd* (jóvenes-excesivamente maduras), *dB* (maduras y excesivamente maduras) y *d* (excesivamente maduras) con áreas de 15,669, 692, 1,378 y 490 ha, respectivamente (Cuadro 4) (Kadioğulları & Başkent, 2008). Sin embargo, en 1987,

degraded-forest areas were transformed into productive areas, with nearly 16,894 ha of degraded-forest areas having been developed into full-coverage (3) areas, 7,011 ha into medium-coverage (2) areas and 16,101 ha into substantially low-coverage (1) areas (Appendix 2 and 4). A considerable increase in productive forests was observed in the Gümüşhane Forest Enterprise by the end of this period, with full-coverage (3) areas increasing by about 31,000 ha, medium-coverage (2) forest areas by about 3,200 ha and low-coverage (1) areas by about 24,500 ha (appendix 4).

The overall planning period encompassing 1971 to 2013 witnessed the transition of degraded forest areas, with around 15,185 ha changed into low-coverage (1) areas, 7,087 ha into medium-coverage (2) areas and 15,929 ha into full-coverage (3) areas. Moreover, some low-coverage (1) areas (2,990 ha) and medium-coverage (2) areas (3,752 ha) were developed into full-coverage

los bosques se clasificaron en las etapas de desarrollo *b* (jóvenes) y *c* (maduros). Posteriormente, los bosques se clasificaron en su mayor parte en etapas de desarrollo *a* (regenerados = 11,577 ha), *b* (jóvenes = 13,353 ha), *bc* (jóvenes-maduros = 31,320 ha), *c* (maduros = 1,607 ha) y *cd* (maduros-excesivamente maduros = 12,445 ha) (Cuadro 4; Apéndices 4 y 5). Este cambio mostró que las prácticas de regeneración ganaron importancia como resultado de la silvicultura sostenible, como lo revela el aumento en las etapas de desarrollo *a* y *ab* entre 1971 y 2013. El resto del área se dejó que alcanzara las etapas de desarrollo *c* (maduros) y *d* (excesivamente maduros). Se cree que el bosque se estaba desarrollando en las etapas *b* (jóvenes) y *bc* (jóvenes-maduros) (Cuadro 4; Apéndice 5) (Kadioğulları & Başkent, 2008).

Se realizaron análisis de cobertura adicionales, con base en los mapas de masas para los dos periodos. Para el segundo periodo (1987-2013), alrededor de 500 ha

**Table 4. The transition matrix of developmental stages in the study area from 1971 to 2013.**  
**Cuadro 4. Matriz de transición de las etapas de desarrollo en el área de estudio de 1971 a 2013.**

Developmental Stages (1971)/Etapas de desarrollo (1971)	Developmental stages (2013)/Etapas de desarrollo (2013)										
	Regeneration (ha)/ Regeneración (ha)	a (ha)	ab (ha)	b (ha)	bc (ha)	c (ha)	cd (ha)	Degraded (ha)/ Degradado (ha)	Open areas (ha)/ Áreas abiertas (ha)	Uneven Aged (ha)/Disetáneo (ha)	Total (ha)
a	-	55	51.2	23.6	458.8	-	7.5	139	92.4	32.9	860.3
B	0.8	559	153.5	221.1	5,865.9	757	3,247.6	1,936	688.5	2,239.8	15,669
Bd	-	2.5	3.7	-	142.5	1.9	400.3	106.7	34.4	-	692.1
d	-	18.4	-	2.9	82.6	1	303.5	50.9	18.2	12.5	490.1
dB	-	45.5	6.9	80.4	251.1	0.4	689.6	71.8	10.4	222.5	1,378.6
Degraded/ Degradado	34.4	10,736.4	3,992.3	1,867.2	16,913	619.9	4,074.3	29,076.3	10,442.2	459.2	78,215.3
Coppice/ Monte bajo	14.9	792.4	671.2	172.2	323.8	2.4	51.2	318	419.4	-	2,765.5
Open areas/ Áreas abiertas	1,182.9	7,294.7	2,389.9	1,805.6	6,657.5	219.2	2,773.7	38,833.5	267,531.4	279.2	328,967.7
Uneven aged/ Disetáneo	-	0.3	1.1	4.3	625.4	5.3	897.7	141.2	24	331.9	2,031.1
Total	1233	19,504.2	7,269.8	4,177.3	31,320.6	1607.2	12,445.3	70,673.3	279,260.9	3,578.1	431,069.7

Developmental stages: a = regenerated, b = young, c = mature, d = over-mature, B = young-mature, Bd = young-overmature, dB = mature and overmature, bc = young-mature, cd = mature-overmature.

Etapas de desarrollo: a = regenerado, b = joven, c = maduro, d = excesivamente maduro, B = joven-maduro, Bd = joven-excesivamente maduro, dB = maduro y excesivamente maduro, bc = joven-maduro, cd = maduro-excesivamente maduro.

(3) forest areas (Appendix 3). On the other hand, some low-coverage (1) areas (1,298 ha) and medium-coverage (2) areas (919 ha) were changed into degraded forest (Table 3). These general changes indicated that productive forest areas had expanded significantly, with full-coverage forest areas improved by 31,200 ha, low-coverage forest areas improved by 21,600 ha, and medium-coverage areas improved by 5,400 ha, while open areas had been reduced by 48,475 ha.

Based on the stand-type maps for the two periods, an analysis was carried out of additional temporal transitions among the developmental stages (Appendix 5). Approximately 4,163 ha of mature-stage (*c*) areas had naturally changed into mature/over-mature stage (*cd*), and 3,040 ha of young-stage (*b*) areas into young/mature-stage (*bc*) during the second period (1987-2013). Around 11,577 ha of degraded forest areas were turned into the regenerated stage (*a*), while 4,596 ha of degraded forest areas became young/regenerated (stage *ab*). Over the same period, 2,134 ha of degraded forest were transformed into the young stage (*b*), 16,835 ha into stage *bc*, and 4,282 ha into stage *cd*. At the end of this planning period, the number of stage-*a* (regeneration, dbh < 8 cm) areas grew from 850 to 19,504 ha as a result of afforestation and effective regeneration and rehabilitation activities.

The developmental stages were arranged according to the dominant stage class, which included *a* (*a*, *ab*), *b* (*b*, *B*, *bc*, *Bd*), *c* (*c*, *cd*) and *d* (*d*, *dB*) for convenience in the evaluation. Around 10,736 ha of degraded forest were regenerated to stage *a*, 3,992 ha were regenerated to stage *ab*, 620 ha to stage *c*, and 4,074 ha to stage *cd*. In addition, 7,295 ha of open areas were changed into a developmental stage and 1,182 ha to regeneration as a result of afforestation activities. By the end of this period, the first stages (*a*, *ab*) had increased from 860 ha to 26,773 ha and the 1,868 ha as *d* stages (*d*, *dB*) increased to 12,445 ha as *c* stages. These changes showed that the regenerated, young, young-mature and over-mature forest areas had increased quite outstandingly because of the reduction in open areas and degraded forest. With respect to the developmental stages, by the end of the overall study period (1971-2013), the changing aspects of the Gümüşhane forest ecosystem were focused on young and young-mature forest.

### Changes and transitions among land-cover types based on elevation and distance from settlements

The transitions of land-cover-type maps were further analyzed to examine how some parameters changed in relation to elevation zones and distance from settlements (Figure 5). In terms of elevation zones, among all forests, 14.3 % of them were located between 1,001 and 1,500 m, 71.9 % between 1,501-2,000 m and finally, 13.7 % of the same land-use class were located

de cobertura total (3) cambiaron a cobertura media (2); 254 ha de áreas de cobertura total (3) cambiaron a cobertura baja (1); 6,379 ha de cobertura media (2) cambiaron a cobertura total (3); y 1,709 ha de cobertura baja (1) se convirtieron en áreas de cobertura total (3) (Apéndice 2). Además, las áreas forestales degradadas se convirtieron en áreas productivas; 16,894 ha de áreas forestales degradadas se convirtieron en áreas de cobertura total (3), 7,011 ha en áreas de cobertura media (2) y 16,101 ha en áreas sustancialmente de baja cobertura (1) (Apéndice 2 y 4). Un aumento considerable en los bosques productivos se observó en Gümüşhane Forest Enterprise para el final de este periodo, las áreas de cobertura total (3) aumentaron aproximadamente 31,000 ha, las áreas de cobertura media (2) incrementaron aproximadamente 3,200 ha y las áreas de cobertura baja (1) aproximadamente 24,500 ha (Apéndice 4).

El periodo general de planificación que abarcó de 1971 a 2013 fue testigo de la transición de las áreas forestales degradadas, con alrededor de 15,185 ha transformadas en áreas de cobertura baja, 7,087 ha en áreas de cobertura media y 15,929 ha en áreas de cobertura total. Además, algunas áreas de cobertura baja (1) (2,990 ha) y cobertura media (2) (3,752 ha) se convirtieron en áreas forestales de cobertura total (3) (Apéndice 3). Por otro lado, algunas áreas de cobertura baja (1,298 ha) y cobertura media (2) (919 ha) se convirtieron en bosque degradado (Cuadro 3). Estos cambios indican que las áreas forestales productivas se han expandido significativamente, con áreas forestales mejoradas de cobertura total (31,200 ha), áreas forestales mejoradas de baja cobertura (21,600 ha) y áreas mejoradas de cobertura media (5,400 ha), mientras que las áreas abiertas disminuyeron 48,475 ha.

Se realizó un análisis de transiciones temporales adicionales entre las etapas de desarrollo (Apéndice 5), con base en los mapas de masas forestales para los dos periodos. Aproximadamente 4,163 ha de áreas en estado de madurez (*c*) pasaron naturalmente a la etapa de madurez/excesivamente maduras (*cd*) y 3,040 ha de las áreas en etapa joven (*b*) a la etapa joven/maduro (*bc*) durante el segundo periodo (1987-2013). Aproximadamente 11,577 ha de áreas forestales degradadas pasaron a la etapa regenerada (*a*), mientras que 4,596 ha de áreas forestales degradadas pasaron a la etapa joven/regenerada (*ab*). En el mismo periodo, 2,134 ha de bosque degradado pasaron a la etapa joven (*b*), 16,835 ha a la etapa *bc* y 4,282 ha a la etapa *cd*. Al final de este periodo de planificación, el número de áreas de regeneración (dbh < 8 cm) creció de 850 a 19,504 ha como resultado de la forestación y las actividades de regeneración y rehabilitación efectivas.

Las etapas de desarrollo se organizaron de acuerdo con la clase de etapa dominante, que incluía *a* (*a*, *ab*),

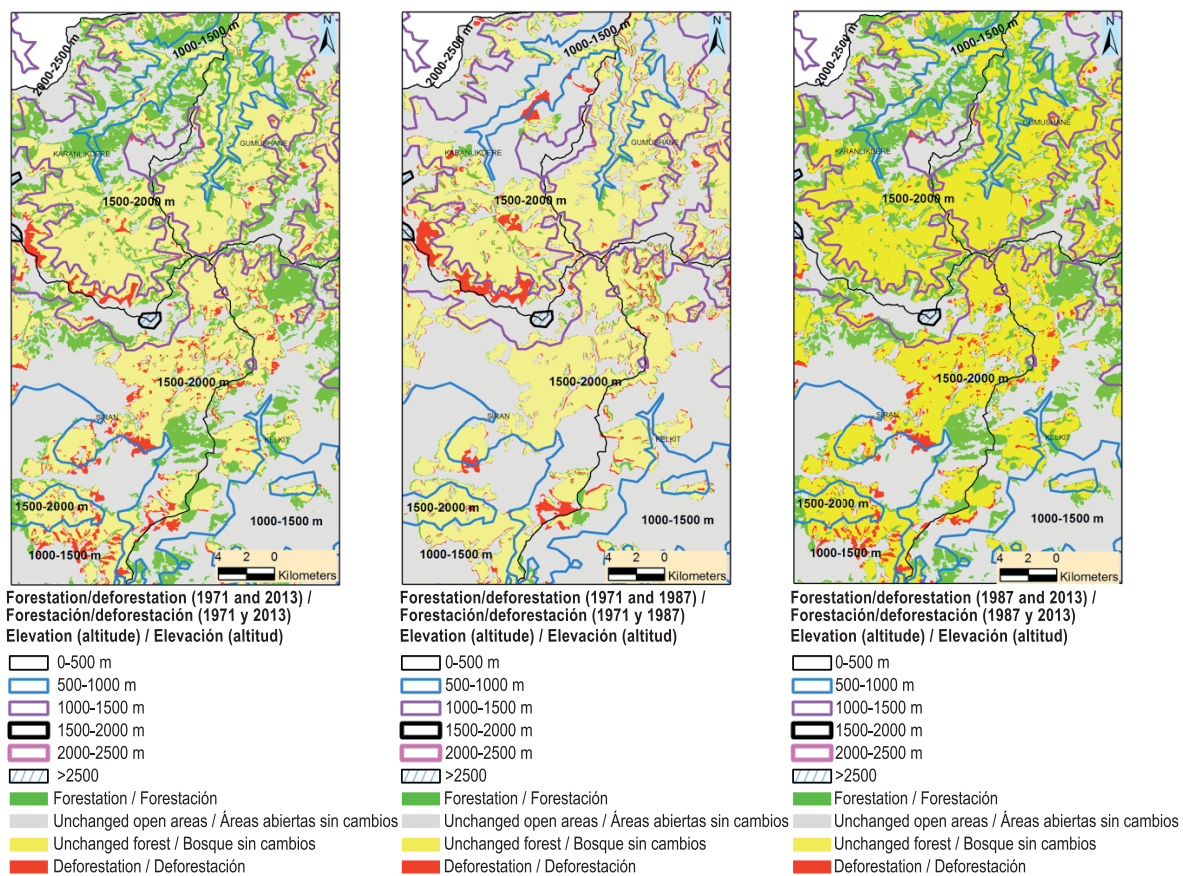
between 2,001 and 2,500 m. The changes between 1971 and 2013 revealed that 88.5 % (90,322.5 ha) of the forests were unchanged, while 11.5 % (11,779.5 ha) were changed to non-forest areas. When deforestation was analyzed in relation to elevation zones, 18.8 % (2,216 ha) was found between 1,001 and 1,500 m, 59.2 % between 1,500 and 2,000 m and finally, 21.8 % was between 2,001 and 2,500 m. However, deforestation remained relatively low at 9.5 % between 1,501 and 2,000 m when change values were proportioned to forest lands, although most of the forest areas (71.95 %) were in that elevation zone. In short, although the elevation zone was mentioned as having the highest change value, 90.5 % of the forests in that zone were unchanged. On the other hand, the highest deforestation rate (18.4 %) was found between 2,001 and 2,500 m.

Similarly, the amount of forestation (60,253 ha) in relation to elevation zones was distributed differently between 1971 and 2013, and 18.3 % of the 1973 non-forested areas were changed to forested areas in the latter period. For instance, the most highly forested elevation zone (66.6 %; 40,124 ha) was located between 1,501 and 2,000 m. On the other hand, the proportion

*b* (*b*, *B*, *bc*, *Bd*), *c* (*c*, *cd*) y *d* (*d*, *dB*) por conveniencia en la evaluación. Alrededor de 10,736 ha de bosque degradado se regeneraron en la etapa *a*; 3,992 ha se regeneraron en la etapa *ab*; 620 ha en la etapa *c*; y 4,074 ha en la etapa *cd*. Además, 7,295 ha de áreas abiertas pasaron a una etapa de desarrollo y 1,182 ha a regeneración como resultado de las actividades de forestación. Al final de este periodo, las primeras etapas (*a*, *ab*) aumentaron de 860 a 26,773 ha y las 1,868 ha de la etapa *d* (*d*, *dB*) aumentaron a 12,445 ha como etapas *c*. Estos cambios mostraron que las áreas forestales regeneradas, jóvenes, jóvenes-maduras y excesivamente maduras aumentaron notablemente debido a la reducción de áreas abiertas y bosques degradados. Con respecto a las etapas de desarrollo, al final del periodo de estudio general (1971-2013), los aspectos cambiantes del ecosistema forestal de Gümüşhane se centraron en los bosques jóvenes y jóvenes-maduros.

#### Cambios y transiciones entre los tipos de cobertura con base en la elevación y distancia de los asentamientos

Las transiciones de los mapas de cobertura se analizaron más a fondo con la finalidad de examinar



**Figure 5. Sample of forestation/deforestation of Gümüşhane Forest Industry, Turkey, based on elevation in the following periods: 1971-2013, 1971-1987 and 1987-2013.**

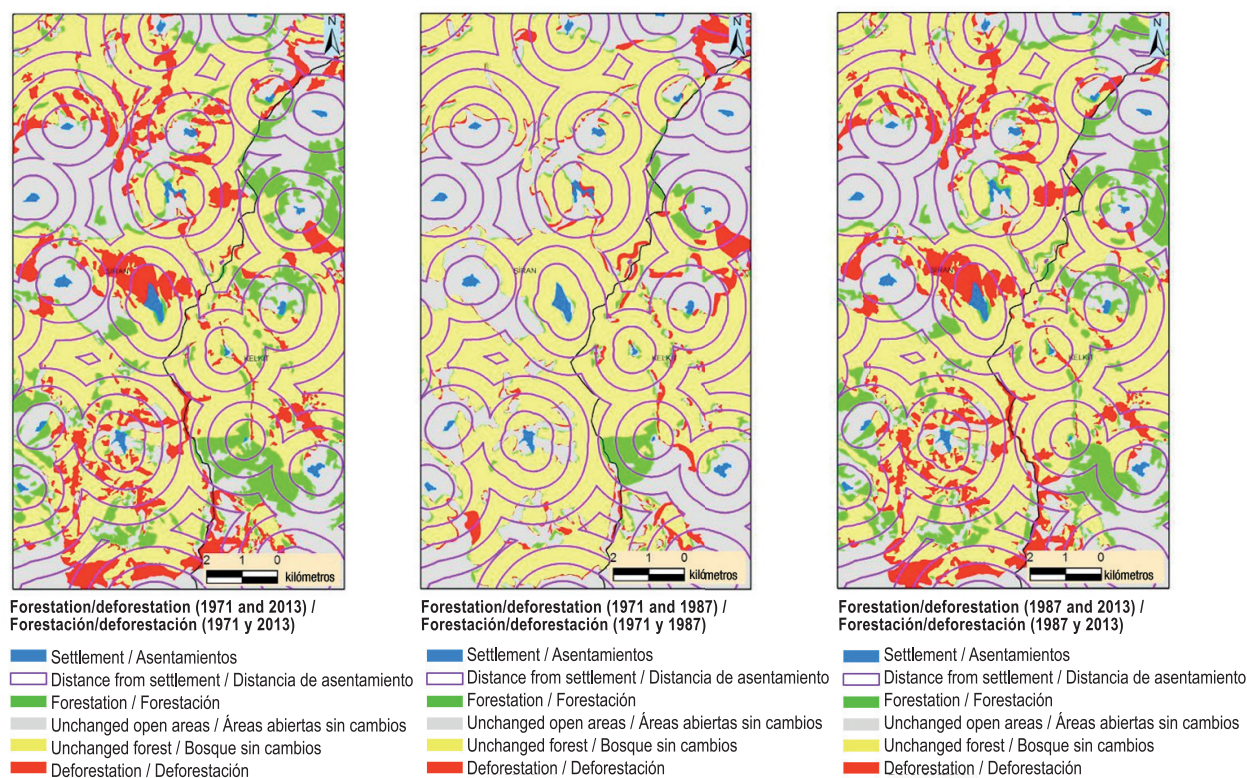
**Figura 5. Muestra de forestación/deforestación en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, con base en la elevación en los periodos 1971-2013, 1971-1987 y 1987-2013.**

of that change to the non-forested areas was 21.4 % (40,124 ha forestation/187,797 ha non-forested areas), which was unlike the deforestation change. The forestation rate was 15.9 % (9,577 ha) between 1,001 and 1,500 m and 17.5 % (10,518 ha) between 2,001 and 2,500 m.

In order to demonstrate the effect of distance from settlements on forestation and deforestation, “effect areas”, each having a 500 m radius, were created (Figure 6). When the deforestation areas were proportioned to the forested areas for each effect area for the period 1971-2013, 0-500 m was found as 16.8 % (1,392 ha), 501-1,000 m as 12 % (2,463 ha), 1,001-1,500 m as 11.3 % (2,706 ha), 1,501-2,000 m as 10.8 % (2,171 ha), 2,001-2,500 m as 10.8 % (1,494 ha) and finally, that value for areas having more than 2,500 m distance to settlements was found as 10.3 % (1,876 ha)

Similarly, when the deforestation areas were proportioned to the forested areas in the same distance zone between 1987 and 2013, those rates were found as 12.7 % (1,013 ha) between 0 and 500 m; 9.6 % (1,968 ha)

cómo algunos parámetros cambiaron con relación a las zonas de elevación y distancia de los asentamientos (Figura 5). En cuanto a las zonas de elevación, entre todos los bosques, 14.3 % de ellos se localizaron entre 1,001 y 1,500 m, 71.9 % entre 1,501 y 2,000 m y finalmente 13.7 % del mismo tipo de uso de suelo se localizaron entre 2,001 y 2,500 m. Los cambios entre 1971 y 2013 revelaron que 88.5 % (90,322.5 ha) de los bosques permanecieron inalterados, mientras que 11.5 % (11,779.5 ha) cambiaron a áreas no forestales. Cuando la deforestación se analizó con relación a las zonas de elevación, 18.8 % (2,216 ha) se encontró entre 1,001 y 1,500 m; 59.2 % entre 1,500 y 2,000 m y finalmente 21.8 % entre 2,001 y 2,500 m. Sin embargo, la deforestación se mantuvo relativamente baja en 9.5 % entre 1,501 y 2,000 m cuando los valores de cambio fueron proporcionados al suelo forestal, aunque la mayoría de las áreas forestales (71.95 %) estaban en esa zona de elevación. En resumen, aunque se mencionó que la zona de elevación tuvo el mayor valor de cambio, 90.5 % de los bosques de esa zona permanecieron sin cambios. Por otro lado, la mayor tasa de deforestación (18.4 %) se encontró entre 2,001 y 2,500 m.



**Figure 6. Sample of forestation/deforestation of Gümüşhane Forest Industry, Turkey, based on distance from settlements in the following periods 1971-2013, 1971-1987 and 1987-2013. Distance from settlement prepared by using ArcGIS ring buffer functions (with 500 m intervals).**

**Figura 6. Muestra de forestación/deforestación en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, con base en la distancia de los asentamientos en los periodos 1971-2013, 1971-1987 y 1987-2013. Distancia desde el asentamiento elaborado con las funciones de *buffer* de anillo de ArcGIS (con intervalos de 500 m).**

between 501 and 1,000 m; 8.8 % (2,069 ha) between 1,001 and 1,500 m; 8.0 % (1,583 ha) between 1,501 and 2,000 m; 7.6 % (1,026 ha) between 2,001 and 2,500 m and finally, 6.6 % (1,154 ha) at more than 2,500 m from the settlements. Those results showed that the ratio of the deforestation areas to forest areas in the same distance zone decreased as the distance from settlements increased (Figure 6).

Similarly, when the forestation rate was analyzed in relation to distance from settlements, the highest forestation rate (60,253 ha in total) was found as 22.4 % (13,509 ha) at a distance of over 500 m from settlement areas. Other rates were found to be 22.1 % (13,330 ha) between 501 and 1,000 m; 20.7 % (12,494 ha) between 1,001 and 1,500 m; and 15.8 % (9,492 ha) between 1,501 and 2,000 m. When the period between 1987 and 2013 was analyzed, likewise the greatest amount of afforestation was 22.9 % (13,632 ha) at a distance of over 2,500 m from settlements. The afforestation rate was 21.8 % between 501 and 1,000 m, 20.7 % between 1,001 and 1,500 m, 15.6 % between 1,501 and 2,000 m and 10.4 % between 2,001 and 2,500 m. These results showed that the distance from settlements had a significant effect on afforestation and deforestation (Figure 6).

### Spatial analysis of land-cover types

Several dimensions were calculated for the cover-type classes of the four periods as indicated by a spatial analysis of the landscape patterns. The total number of patches increased from 2,121 to 7,669 between 1971 and 2013. The mean patch size (MPS) decreased from 203.2 ha to 56.2 ha. The MPS of the open areas changed significantly from 841.7 ha to 200.8 ha between 1971 and 2013 and the open areas were reduced to about 50,052 ha due to the effects of the afforestation activities. On the other hand, the MPS of the water areas rose from 3.7 ha to 11.5 ha, having been affected by the construction of a small pond (Table 5). The number of patches increased from 375 to 2,919 over the 42 years; however, the MPS of the productive forest areas was reduced by half, from 50.9 to 26.1. These changes in the productive forest areas were mainly a result of the net increase of 57,274 ha in the class areas. Likewise, the area weighted mean shape index (AWMSI) value rose from 18.89 to 22.82, chiefly because of the substantial rise in the AWMSI value of the open areas. Over the 42 years, the value of the patch size coefficient of variation (PSCV %) grew from 3,439 to 5,303. All these transformations, which included remarkable increases in the productive forest areas as well as in landscape fragmentation, signified that the forest had become more vulnerable to severe disturbances.

De manera similar, la cantidad de forestación (60,253 ha) con relación a las zonas de elevación se distribuyó de manera diferente entre 1971 y 2013, y 18.3 % de las áreas no boscosas de 1973 fueron transformadas en áreas boscosas en el último periodo. Por ejemplo, la zona de elevación más boscosa (66.6 %, 40,124 ha) se localizó entre 1,501 y 2,000 m. Por otro lado, la proporción de ese cambio en las áreas no boscosas fue de 21.4 % (40,124 ha de superficie forestal/187,797 ha de áreas no boscosas), lo cual fue diferente al cambio de la deforestación. La tasa de forestación fue de 15.9 % (9,577 ha) entre 1,001 y 1,500 m y 17.5 % (10,518 ha) entre 2,001 y 2,500 m.

Con el fin de demostrar el efecto de la distancia de los asentamientos en la forestación y deforestación, se crearon "áreas de efecto" con un radio de 500 m cada una (Figura 6). Cuando las áreas de deforestación fueron proporcionales a las áreas boscosas para cada área de efecto en el periodo 1971-2013, 16.8 % (1,392 ha) se encontraron entre 0-500 m; 12 % (2,463 ha) entre 501-1,000 m; 11.3 % (2,706 ha) entre 1,001-1,500 m; 10.8 % (2,171 ha) entre 1,501-2,000 m; 10.8 % (1,494 ha) entre 2,001-2,500 m y finalmente, el valor para las áreas que tienen más de 2,500 m de distancia de los asentamientos fue de 10.3 % (1,876 ha).

De manera similar, cuando las áreas de deforestación fueron proporcionales a las zonas forestales en la misma zona de distancia entre 1987 y 2013, estas tasas fueron de 12.7 % (1,013 ha) entre 0 y 500 m; 9.6 % (1,968 ha) entre 501 y 1,000 m; 8.8 % (2,069 ha) entre 1,001 y 1,500 m; 8.0 % (1,583 ha) entre 1,501 y 2,000 m; 7.6 % (1,026 ha) entre 2,001 y 2,500 m y finalmente 6.6 % (1,154 ha) a más de 2,500 m de los asentamientos. Esos resultados mostraron que la proporción de las áreas de deforestación y áreas forestales en la misma zona de distancia disminuyó a medida que la distancia de los asentamientos aumentó (Figura 6).

Del mismo modo, cuando se analizó la tasa de forestación con relación a la distancia de los asentamientos, la tasa de forestación más alta (60,253 ha en total) fue de 22.4 % (13,509 ha) a una distancia de más de 500 m de las áreas de asentamiento. Otras tasas fueron de 22.1 % (13,330 ha) entre 501 y 1,000 m; 20.7 % (12,494 ha) entre 1,001 y 1,500 m; y 15.8 % (9,492 ha) entre 1,501 y 2,000 m. Cuando se analizó el periodo entre 1987 y 2013, el mayor valor en la forestación fue 22.9 % (13,632 ha) a una distancia de más de 2,500 m de los asentamientos. La tasa de forestación fue de 21.8 % entre 501 y 1,000 m; 20.7 % entre 1,001 y 1,500 m; 15.6 % entre 1,501 y 2,000 m, y 10.4 % entre 2,001 y 2,500 m. Estos resultados mostraron que la distancia de los asentamientos tuvo un efecto significativo en la forestación y deforestación (Figura 6).



**Table 5. Change of landscape pattern of Gümüşhane Forest Industry, Turkey (1971, 1987 and 2013 Land Cover Type Maps).  
Cuadro 5. Cambio del patrón de paisaje en Gümüşhane Forest Industry, Turquía (mapas de cobertura terrestre 1971, 1987 y 2013).**

Land cover type /Tipo de cobertura	Class Area (ha) / Área (ha)			Number of patches / Número de parches			Mean patch size (ha) / Tamaño promedio del parche (ha)			Landscape (%) / Paisaje (%)			Area-weighted mean shape index / Índice de forma media ponderada por área			Patch size coefficient variant (PSCV %) / Coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCV %)		
	1971	1987	2013	1971	1987	2013	1971	1987	2013	1971	1987	2013	1971	1987	2013	1971	1987	2013
Regeneration areas / Áreas de regeneración	-	-	1,233.0	-	-	47	-	-	26.2	-	-	0.30	-	-	2.23	-	-	-
Coppice / Monte bajo	2,765.5	-	-	43	-	-	64.3	-	-	0.64	-	-	2.49	-	-	187.5	-	138.1
Degraded coppice / Monte bajo degradado	32,031.4	28,292.3	-	413	326	-	77.6	86.8	-	7.43	6.56	-	3.42	3.11	-	304.4	254.6	-
Degraded forest / Bosque degradado	46,183.9	50,061.2	70,673.3	486	480	2,909	95.0	104.3	24.3	10.71	11.61	16.39	3.84	3.27	4.93	356.8	282.1	411.8
Open areas / Áreas abiertas	325,733.5	326,674.8	275,681.3	387	316	1373	841.7	1,033.8	200.8	75.56	75.78	63.95	23.88	21.77	33.04	1,941.3	1,754.5	3,505.2
Productive forest / Bosque productivo	19,090.1	17,482.7	763,24.5	375	358	2919	50.9	48.8	26.1	4.43	4.06	17.71	3.34	3.05	4.73	402.3	508.0	564.0
Settlement / Asentamiento	3,230.5	4,729.1	3,383.9	377	365	356	8.6	13.0	9.5	0.75	1.10	0.78	1.36	1.26	1.78	153.5	143.9	263.8
Uneven aged forest / Bosque disetáneo	2031.1	3,829.7	3,578.1	39	39	48	52.1	98.2	74.5	0.47	0.89	0.83	2.02	2.72	3.11	136.2	182.1	177.3
Water / Agua	3.7	-	195.7	1	-	17	3.7	-	11.5	0.00	-	0.05	1.95	-	1.48	0.0	-	144.5
Landscape / Paisaje	431,069.7	431,069.7	431,069.7	2,121	1,884	7,669	203.2	228.8	56.2	100.00	100.00	100.00	18.89	17.24	22.82	3,439.0	3,251.7	5,303.0

The dynamics of the land-cover types and forest structure were identified by using GIS and stand-type maps from periodically renewed forest management plans from 1971, 1987 and 2013. The quantitative evidence of the forest dynamics presented here showed that there had been drastic changes in the temporal and spatial patterns of the stand parameters, productive forest areas, and especially in the fully-covered forests and young-developmental stages of forests in the study area. However, the differences in the temporal changes of the forested areas may have resulted from the data quality, as these would have been affected by the different data-gathering methods in 1971, 1987 and 2013. For example, the stand-type maps in 1971 were produced using 1/35,000-scale black-and-white aerial photos, while the maps in 1987 were produced with 1/23,000-scale color-infrared aerial photos (Kadioğulları & Başkent, 2008). In 2013, the stand-type maps were produced using IKONOS images (1 m resolution) and ground truth data. Moreover, the stand-labeling procedure and planning techniques had changed slightly over the 42 years. These procedural differences may also have affected the areal changes over the period.

Kadioğulları and Başkent (2008) carried out an earlier study in the same area. Based on the coverage maps, in this study, the forest cover in the Gümüşhane Forest Enterprise decreased from 23.67 % in 1971 to 23.14 % in 1987. Cumulative forest disturbance accounted for 0.52 % of the whole area (2,271 ha) and 2.22 % of the forested area from 1971 to 1987. This amounts to an annual rate of forest disturbance of 0.14 % (Kadioğulları & Başkent, 2008). The forest cover in Gümüşhane Forest Enterprise increased from 24.5 % in 1987 to 26.1 % (6,928 ha) in 2000 based on supervised classified Landsat images. The cumulative forest improvement (6,928 ha) was calculated as 1.6 % for the whole area and 6.54 % of the forested area from 1987 to 2000. Based on Landsat images, this translates into an annual rate of forest improvement of 0.5 % (Kadioğulları & Başkent, 2008). The results of Kadioğulları and Başkent (2008) show that forest areas declined in the first period between 1971 and 1987, while in the second period analyzed (1987-2000), using Landsat images, forest areas increased significantly.

For the present study, new forest-management plan maps and the new boundaries of the study area were used. The results, in parallel with the older studies, showed the annual rate of forest improvement as 0.92 % from 1971 to 2013, based on forest management plans. These changes differed in the two planning periods. The first period presented the annual rate of forest disturbance as 0.15 %, whereas the second period showed dramatic forest improvement with an annual rate of 1.58 %. The forest cover in Gümüşhane Forest

## Análisis espacial de los tipos de cobertura

Varias dimensiones se calcularon para las clases de cobertura de los cuatro periodos, como lo indica el análisis espacial de los patrones de paisaje. El número total de parches aumentó de 2,121 a 7,669 entre 1971 y 2013. El tamaño promedio de los parches (MPS) disminuyó de 203.2 a 56.2 ha. El MPS de las áreas abiertas cambió significativamente de 841.7 a 200.8 ha entre 1971 y 2013 y las áreas abiertas se redujeron a cerca de 50,052 ha debido a los efectos de las actividades de forestación. Por otro lado, las MPS de las áreas con agua aumentaron de 3.7 a 11.5 ha, afectando la construcción de un pequeño estanque (Cuadro 5). El número de parches aumentó de 375 a 2,919 durante los 42 años; sin embargo, el MPS de las áreas forestales productivas se redujo a la mitad, de 50.9 a 26.1. Estos cambios en las áreas forestales productivas se debieron principalmente al incremento neto de 57,274 ha en las áreas de clase. Asimismo, el valor del índice de forma media ponderada por área (AWMSI) aumentó de 18.89 a 22.82, debido principalmente al aumento sustancial en el valor AWMSI de las áreas abiertas. A lo largo de los 42 años, el valor del coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCV %) aumentó de 3,439 a 5,303. Todas estas transformaciones que incluyeron incrementos notables en las áreas forestales productivas así como en la fragmentación del paisaje, significaron que el bosque se había vuelto más vulnerable a los disturbios severos.

La dinámica de los tipos de cobertura y la estructura forestal se identificaron mediante el uso de mapas de cobertura y SIG a partir de planes de manejo forestal periódicamente renovados de 1971, 1987 y 2013. La evidencia cuantitativa de la dinámica forestal mostró cambios drásticos en los patrones temporales y espaciales de los parámetros de las masas, áreas forestales productivas y, especialmente, en los bosques completamente cubiertos y en la etapa joven. Sin embargo, las diferencias en los cambios temporales en las áreas boscosas pueden haber resultado de la calidad de los datos, ya que éstos podrían haber sido afectados por los diferentes métodos de recopilación de datos en 1971, 1987 y 2013. Por ejemplo, los mapas de cobertura en 1971 se elaboraron utilizando fotos aéreas en blanco y negro a escala de 1/35,000, mientras que los mapas en 1987 se elaboraron con fotos aéreas con infrarrojo a escala 1/23,000 (Kadioğulları & Başkent, 2008). En 2013, los mapas de cobertura se elaboraron mediante imágenes IKONOS (con resolución de 1 m) y datos terrestres exactos. Además, el procedimiento de etiquetado y las técnicas de planificación cambiaron ligeramente a lo largo de los 42 años. Estas diferencias de procedimiento también pueden haber afectado los cambios en el área durante el periodo.

Enterprise was shown to increase from approximately 31 % in 1971 to 53.7 % (50,910 ha) in 2013, based on forest management plans. From 1971 to 2013, cumulative forest improvement (50,910 ha) accounted for 22.7 % of the whole area of Gümüşhane and approximately 47.4 % of the forested area.

Similar results can also be seen in the analyses of the reforestation and forest improvement in Turkey. An assessment of the forest inventory results between 1963 and 1972 showed that there were 20 199,296 ha of forest area covering about 26.1 % of the country's total land area. Recently, according to an assessment of the latest inventory outputs considering forest management plans up to the end of 2012, Turkey has been shown to have 21 678,134 ha of forest area, amounting to about 27.6 % of the country's total land area (GDF, 2012). These findings indicate that the total forested areas were increased by 1.44 million ha in the 40-year period. Thus, in Turkey, the cumulative forest improvement for the total area was calculated as 1.88 % and for the forested area as 7.32 %. The total productive forest improvement rose by about 2.7 million ha and the degraded forests were reduced by about 1.22 million ha during the same period. This corresponds to an average total forest improvement rate of 0.17 % annually, an average productive forest improvement rate of 0.66 % annually and an average rate of -0.28 % annually for degraded forest areas. The plantation of degraded forestlands and open areas, the expansion of forests into abandoned lands resulting from migration from villages inside or near the forests, increased public awareness of and respect for the environment are all possible explanations for these trends (GDF, 2012). When the annual rate of total productive forest improvement is considered alone, this value was higher for the study area (1.54 %) than for Turkey as a whole (0.66 %).

One study carried out in northeastern Turkey in a region adjacent to the present study area reported that, based on stand-type maps, the forest cover in the Torul Forest Enterprise had increased from 42.95 % in 1984 to 51.2 % in 2005; this amounts to a forest improvement rate of 0.92 % annually (Kadioğulları, Keleş, Başkent, & Günlü, 2008). Another study from northeastern Turkey found an average forest improvement rate of 0.40 % annually (1972-2005) for the Yalnızçam and Uğurlu forest planning units (Kadioğulları, 2013). Furthermore, a study in the western part of Turkey reported an average forest improvement rate of 0.44 % annually from 1972 to 1993 (Baskent & Kadioğulları, 2007). In contrast, in the Rize Forest Enterprise in northeastern Turkey, cumulative forest disturbances between 1984 and 2007 were responsible for a forest disturbance rate of 0.2 % annually (Günlü et al., 2009). Another study shows that in the period from 1972 to 2000, croplands,

Kadioğulları y Başkent (2008) realizaron un estudio anterior en la misma área. Con base en los mapas de cobertura, en dicho trabajo, la cobertura forestal en Gümüşhane Forest Enterprise disminuyó de 23.67 % en 1971 a 23.14 % en 1987. La perturbación forestal acumulada representó 0.52 % de la superficie total (2,271 ha) y 2.22 % de la superficie forestal de 1971 a 1987. Esto supone una tasa anual de disturbios forestales de 0.14 % (Kadioğulları & Başkent, 2008). La cobertura forestal en Gümüşhane Forest Enterprise aumentó de 24.5 % en 1987 a 26.1 % (6,928 ha) en el año 2000, según las imágenes Landsat clasificadas y supervisadas. La mejora forestal acumulada (6,928 ha) fue de 1.6 % para el área total y 6.54 % para la superficie boscosa entre 1987 y 2000. Con base en las imágenes Landsat, esto se traduce en una tasa anual de mejora forestal de 0.5 % (Kadioğulları & Başkent, 2008). Los resultados de Kadioğulları y Başkent (2008) muestran que las áreas boscosas disminuyeron en el primer periodo entre 1971 y 1987, mientras que en el segundo periodo analizado (1987-2000), mediante el uso de imágenes Landsat, las áreas boscosas aumentaron de manera correspondiente.

Para el presente estudio se utilizaron nuevos mapas de planeación de manejo forestal y nuevos límites del área de estudio. Los resultados, en paralelo con los estudios más antiguos, mostraron una tasa anual de mejoramiento forestal de 0.92 % de 1971 a 2013, con base en los planes de manejo forestal. Estos cambios difirieron en los dos periodos de planificación. El primer periodo presentó una tasa anual de disturbios forestales de 0.15 %, mientras que el segundo periodo mostró una mejora forestal dramática de 1.58 % anual. La cobertura forestal en Gümüşhane Forest Enterprise aumentó de aproximadamente 31 % en 1971 a 53.7 % (50,910 ha) en 2013, según los planes de manejo forestal. De 1971 a 2013, la mejora forestal acumulada (50,910 ha) representó 22.7 % del área total de Gümüşhane y aproximadamente 47.4 % del área forestal.

Resultados similares también se pueden ver en los análisis de reforestación y mejoramiento forestal en Turquía. Una evaluación de los resultados del inventario forestal entre 1963 y 1972 mostró que existían 20 199,296 ha de área forestal que cubrían aproximadamente 26.1 % de la superficie total del país. Recientemente, de acuerdo con una evaluación de los últimos resultados del inventario que consideran los planes de manejo forestal hasta el final de 2012, se ha demostrado que Turquía tiene 21 678,134 ha de área forestal, lo que representa aproximadamente 27.6 % de la superficie total del país (GDF, 2012). Estos resultados indican que las áreas forestales totales aumentaron 1.44 millones de ha en un periodo de 40 años. Así, en Turquía, la mejora forestal acumulada para la superficie total fue de 1.88, y 7.32 % para la zona boscosa. La

settlements, and evergreen forests increased by 174 %, 106 %, and 14 %, respectively based on Landsat images of the Mediterranean region of Turkey (Kilic, Evrendilek, Berberoglu, & Demirkesen, 2006).

In this study, when planning periods were analyzed generally by elevation factors, no significant change was observed between 1981 and 1987; however, a remarkable change was detected in the period between 1987 and 2013, when 8.5 % of the forested areas (8,578 ha) changed to non-forested areas. On the other hand, 18 % (59,488 ha) of non-forested areas were changed to forested lands in the same period. That change was the highest in the elevation zone between 1,501 and 2,000 m with 36,260 ha of forested areas and 5,062 ha of deforestation during the whole planning period (Figure 5). Distance from settlements was another factor that had a significant effect on afforestation and deforestation. When the forestation rate was analyzed in relation to distance from settlements, the highest forestation (60,253 ha in total) rate was found as 22.4 % (13,509 ha) where the distance was over 2,500 m from settlement areas.

### Conclusions

This study has provided important insights into the dynamics of the forest ecosystems that occurred in the forested and major land-use areas of the Gümüşhane Forest Enterprise between 1971 and 2013. The total forest areas in Gümüşhane Forest Enterprise were shown to increase from approximately 102,102 ha in 1971 to 151,809 ha in 2013, based on forest management plans. From 1971 to 2013, cumulative forest improvement amounted to 50,910 ha in the whole area of Gümüşhane. Changes in favor of forested areas do not necessarily indicate a positive development, as the forest may be developed into less-covered and lower-size classes that are spatially unfragmented in structure. Finally, there is a strong link between land-use/forest-cover changes, social pressure, distance from settlements and elevation class. For that reason, the complex relationships between environmental, ecological, and socio-economic factors that induce changes and degradations in land use and forest cover should be studied and recognized; this should be a priority for achieving sustainable development and management of forest resources.

### Acknowledgements

The authors wish to thank the Trabzon Regional Directorate of Forestry, its Chief Engineers Erdener İpek and Taner Yamak, and its staff for their valuable assistance.

*End of English version*

mejora forestal productiva total aumentó a cerca de 2.7 millones de ha y los bosques degradados se redujeron a 1.22 millones de ha durante el mismo periodo. Esto corresponde a una tasa media de mejora forestal total de 0.17 % anual, una tasa media de aumento forestal productiva de 0.66 % anual y una tasa media de -0.28 % anual para las áreas forestales degradadas. La plantación de bosques degradados y áreas abiertas, la expansión de bosques en tierras abandonadas que resultan de la migración de aldeas hacia o cerca de los bosques, el aumento de la conciencia pública y el respeto por el medio ambiente son explicaciones posibles para estas tendencias. Cuando solo se consideró la tasa anual de mejora forestal productiva total, el valor fue mayor para el área de estudio (1.54 %) que para Turquía en su totalidad (0.66 %).

Un estudio realizado en el noreste de Turquía en una región adyacente al área actual de estudio informó que, con base en los mapas de masas, la cobertura forestal en Torul Forest Enterprise aumentó de 42.95 % en 1984 a 51.2 % en 2005; esto equivale a una tasa de mejora forestal de 0.92 % anual (Kadioğulları, Keleş, Başkent, & Günlü, 2008). En otro estudio del noreste de Turquía se encontró una tasa media de mejoramiento forestal de 0.40 % anual (1972-2005) para las unidades de planificación forestal de Yalnızçam y Uğurlu (Kadioğulları, 2013), mientras que un estudio en la parte occidental de Turquía reportó una tasa media de mejoramiento forestal de 0.44 % anual de 1972 a 1993 (Baskent & Kadioğulları, 2007). Por el contrario, en Rize Forest Enterprise en el noreste de Turquía, las perturbaciones forestales acumuladas entre 1984 y 2007 fueron responsables de una tasa de perturbación forestal del 0.2 % anual (Günlü et al., 2009). Otro estudio muestra que en el periodo de 1972 a 2000, las tierras de cultivo, los asentamientos y los bosques tropical perennifolios aumentaron 174, 106 y 14 %, respectivamente, según imágenes de Landsat de la región mediterránea de Turquía (Kilic, Evrendilek, Berberoglu, & Demirkesen, 2006).

En este estudio, cuando los periodos de planificación se analizaron mediante factores de elevación, no se observaron cambios significativos entre 1971 y 1987; sin embargo, se detectó un notable cambio en el periodo comprendido entre 1987 y 2013, cuando 8.5 % de las zonas forestales (8,578 ha) cambiaron a zonas no forestales. Por otra parte, 18 % (59,488 ha) de las áreas no boscosas fueron convertidas en tierras forestales en el mismo periodo. Ese cambio fue el más alto en la zona de elevación entre 1,501 y 2,000 m con 36,260 ha de zonas forestales y 5,062 ha de deforestación durante todo el periodo de planificación (Figura 5). La distancia de los asentamientos fue otro factor que tuvo un efecto significativo en la forestación y deforestación. Cuando se analizó la tasa de forestación en relación con la

## References / Referencias

- Başkent, E. Z., & Kadioğulları, A. İ. (2007). Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: A case study in İnegöl. *Landscape Urban Plan*, 81(4), 316–327. doi: 10.1016/j.landurbplan.2007.01.007
- Beilin, R., Lindborg, R., Stenseke, M., Pereira, H. M., Llausàs, A., Slåtmo, E., & Queiroz, C. (2014). Analysing how drivers of agricultural land abandonment affect biodiversity and cultural landscapes using case studies from Scandinavia, Iberia and Oceania. *Land Use Policy*, 36, 60–72. doi: 10.1016/j.landusepol.2013.07.003
- Bewket, W. (2002). Land cover dynamics since the 1950s in Chemoga watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Mountain Research and Development*, 22, 263–269. doi: 10.1659/0276-4741(2002)022[0263:LCDSTI]2.0.CO;2
- Calvas, B., Knoke, T., Castro, L. M., Hildebrandt, P., Weber, M., Stimm, B., ... Aguirre, N. (2013). Sustainable agriculture and conservation payments are key factors in mitigating tropical forest loss. In J. Bendix, E. Beck, A. Bräuning, F. Makeschin, R. Mosandl, S. Scheu, & W. Wilcke (Eds.), *Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of South Ecuador* (pp. 235–244). Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-38137-9
- Çakir, G., Sivrikaya, F., & Keleş, S. (2008). Forest cover change and fragmentation using Landsat data in Maçka State Forest Enterprise in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 137(1-3), 51–66. doi:10.1007/s10661-007-9728-9
- Dewan, A. M., Yamaguchi, Y., & Ziaur, R. M. (2012). Dynamics of land use/cover changes and the analysis of landscape fragmentation in Dhaka Metropolitan, Bangladesh. *GeoJournal* 77, 315–330. doi:10.1007/s10708-010-9399-x
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2011). ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA, USA: Author.
- General Directorate of Forestry (GDF). (1971). *Forest management series plans of İkisü, İşıkdere, Yayladere, Hatunoluğu, Karanlıkdere, Yeşildere, Soğukpınar, Ağaçaşısı, İnözü, Şiran, Sadakhanlar, Köseadağ, Kuşyuvası*. Ankara, Turkey: Author.
- General Directorate of Forestry (GDF). (1987). *Forest management plans of Gümüşhane State Forest Enterprise*. Ankara, Turkey: Author.
- General Directorate of Forestry (GDF). (2012). *State of Turkey's forests*. Ankara, Turkey: Author.
- General Directorate of Forestry (GDF). (2013). *Forest management plans of Gümüşhane State Forest Enterprise*. Ankara, Turkey: Author.
- Günlü, A., Kadioğulları, A. İ., Keleş, S., & Başkent, E. Z. (2009). Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to deforestation in northeastern Turkey: A case study in Rize. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148(1-4), 127–137. doi:10.1007/s10661-007-0144-y
- distancia, la tasa de forestación más alta (60,253 ha en total) fue de 22.4 % (13,509 ha), donde la distancia a las áreas de asentamiento fue de más de 2,500 m.

## Conclusiones

Este estudio ha aportado datos importantes sobre la dinámica de los ecosistemas forestales que se produjeron en las áreas boscosas y principales zonas de uso suelo de Gümüşhane Forest Enterprise entre 1971 y 2013. Las áreas forestales totales en Gümüşhane Forest Enterprise aumentaron de aproximadamente 102,102 ha en 1971 a 151,809 ha en 2013, según planes de manejo forestal. De 1971 a 2013, la mejora forestal acumulada ascendió a 50,910 ha en toda la zona de Gümüşhane. Los cambios a favor de las áreas boscosas no necesariamente indican un desarrollo positivo, ya que el bosque puede desarrollarse en clases menos cubiertas y de menor tamaño que se encuentren espacialmente sin fragmentación en su estructura. Por último, existe un fuerte vínculo entre los cambios en el uso de suelo y la cubierta forestal, la presión social, la distancia de los asentamientos y la clase de elevación. Por ello, deben estudiarse y reconocerse las complejas relaciones entre los factores ambientales, ecológicos y socioeconómicos que inducen cambios y degradaciones en el uso de suelo y la cubierta forestal; esto debería ser una prioridad para lograr el desarrollo sostenible y manejo de los recursos forestales.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección Regional Forestal de Trabzon, a sus ingenieros jefes Erdener İpek y Taner Yamak, y a su personal por su valiosa ayuda.

## Fin de la versión en español

Kadioğulları A. İ. (2013). Assessing implications of land use and land cover changes in forest ecosystems of NE Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 2095–2106. doi: 10.1007/s10661-012-2691-0

Kadioğulları, A. İ., & Başkent, E. Z. (2008). Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: A case study in Gümüşhane. *Environmental Monitoring and Assessment*, 138, 289–303. doi: 10.1007/s10661-007-9798-8

Kadioğulları, A. İ., Keleş, S., Başkent, E. Z., & Günlü, A. (2009). Spatiotemporal changes in landscape pattern in response to afforestation in Northeastern Turkey: A case study of Torul. *Scottish Geographical Journal*, 4, 259–273. doi: 10.1080/14702540802566254

Kadioğulları, A. İ., Sayin, M., Çelik, D., Borucu, S., Çil, B., & Bulut, S. (2014). Analysing land cover changes for understanding of forest dynamics using temporal forest management plans. *Environmental Monitoring*

- and Assessment, 186, 2089–2110. doi: 10.1007/s10661-013-3520-9
- Kilic, S., Evrendilek, F., Berberoglu, S., & Demirkesen, A. C. (2006). Environmental monitoring of land-use and land-cover changes in a Mediterranean region of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114(1-3), 157–168. doi:10.1007/s10661-006-2525-z
- Köchli, D. A., & Brang, P. (2005). Simulating effects of forest management on selected public forest goods and services: A case study. *Forest Ecology and Management*, 209, 57–69. doi: 10.1016/j.foreco.2005.01.009
- Turan, S. Ö, Kadioğulları, A. İ., & Günlü, A. (2010). Spatial and temporal dynamics of land use pattern response to urbanization in Kastamonu. *African Journal of Biotechnology*, 9(5), 640–647. Retrieved from <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/78048>
- Padilla, F. M., Vidal, B., Sanchez, J., Pugnaire, & F. I. (2010). Land-use changes and carbon sequestration through the twentieth century in a Mediterranean mountain ecosystem: Implications for land management. *Journal of Environmental Management*, 91, 2688–2695. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.07.031
- Park, M. H., & Stenstrom, M. K. (2008). Classifying environmentally significant urban land uses with satellite imagery. *Journal of Environmental Management*, 86, 181–192. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.12.010
- Paudel, S., & Yuan, R. (2012). Assessing landscape changes and dynamics using patch analysis and GIS modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 16, 66–76. doi: 10.1016/j.jag.2011.12.003
- Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177, 593–596. doi: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3
- Rempel, R. S., Kaukinen, D., & Carr, A. P. (2012). *Patch Analyst and Patch Grid*. Thunder Bay, Ontario, Canada: Ontario Ministry of Natural Resources, Centre for Northern Forest Ecosystem Research. Retrieved from <http://www.cnfer.on.ca/SEP/>
- Republic of Turkey State Institute of Statistics (RTSIS). (2013). *Turkey's statistical year book*. Ankara, Turkey: Author.
- Sancar, C., Turan, S. Ö, & Kadioğulları, A. İ. (2009). Land use-cover change processes in urban fringe areas: Trabzon case study, Turkey. *Scientific Research and Essays*, 4(12), 1454–1462. Retrieved from <http://www.academicjournals.org/journal/SRE/article-full-text-pdf/6AE43C319862>
- Sivrikaya, F., Cakir, G., Kadioğullari, A. İ., Keleş, S., Başkent, E. Z., & Terzioğlu, S. (2007). Evaluating land use/land cover changes and fragmentation in the Camili forest planning unit of northeastern Turkey from 1972 to 2005. *Land Degradation & Development*, 18(4), 383–396. doi: 10.1002/ldr.782
- Şen, G., Bayramoglu, M. M., & Toksoy, D. (2015). Spatiotemporal changes of land use patterns in high mountain areas of Northeast Turkey: A case study in Maçka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(8), 1–14. doi: 10.1007/s10661-015-4727-8
- Terzioğlu, S., Başkent, E. Z., & Kadioğulları, A. İ. (2009). Monitoring structural plant diversity at landscape level: A case study of scots pine forest in NE Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1-4), 71–81. doi: 10.1007/s10661-008-0297-3
- Terzioğlu, S., Başkent, E. Z., Sivrikaya, F., Çakır, G., Kadioğulları, A. İ., Başkaya, Ş., & Keleş, S. (2010). Monitoring forest plant biodiversity changes and developing conservation strategies: A study from Camili Biosphere Reserve Area in NE Turkey. *Biologia*, 65(5), 843–852. doi: 10.2478/s11756-010-0091-x.
- Wakeel, A., Rao, K. S., Maikhuri, R. K., & Saxena, K. G. (2005). Forest management and land use/cover changes in a typical micro watershed in the mid elevation zone of Central Himalaya, India. *Forest Ecology and Management*, 213, 229–242. doi: 10.1016/j.foreco.2005.03.061
- Xu, W., Yin, Y., & Zhou, S. (2007). Social and economic impacts of carbon sequestration and land use change on peasant households in rural China: A case study of Liping, Guizhou Province. *Journal of Environmental Management*, 85, 736–745. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.09.013

**Appendix 1. The transition matrix of land-cover change of Gümüşhane Forest Industry, Turkey, from 1987 to 2013.**

**Apéndice 1. Matriz de transición del cambio de cobertura en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, de 1987 a 2013.**

Land cover types (1987)/ Tipo de cambio de cobertura (1987)	Land-cover types (2013)/Tipo de cambio de cobertura (2013)							
	Settlement (ha)/ Asentamiento (ha)	Regeneration areas (ha)/ Área de regeneración (ha)	Open areas (ha)/ Área abierta (ha)	Degraded forest (ha)/ Bosque degradado (ha)	Uneven aged forest (ha)/ Bosque disetáneo (ha)	Water (ha)/ Agua (ha)	Productive forest (ha)/ Bosque productivo (ha)	Landscape (ha)/ Paisaje (ha)
Settlement/ Asentamiento	2,133.4	3.0	2,367.4	144.9	0.5	0.1	79.8	4,729.1
Open areas/ Áreas abiertas	1,194.8	1,180.0	264,846.9	39,082.8	204.1	190.0	19,976.2	326,674.8
Degraded coppice/ Monte bajo degradado	33.9	44.5	3,160.3	11,814.1	106.9	2.3	13,130.3	28,292.3
Degraded forest/ Bosque degradado	9.6	5.1	4,963.1	17,867.7	335.3	3.4	26,877.0	50,061.2
Uneven aged forest/ Bosque disetáneo	-	-	35.7	198.5	2,801.2	-	794.3	3,829.7
Productive forest/ Bosque productivo	12.2	0.4	307.9	1,565.2	130.1	-	15,466.9	17,482.7
Landscape/ Paisaje	3,383.9	1,233.0	275,681.3	70,673.3	3,578.1	195.7	76,324.5	431,069.7

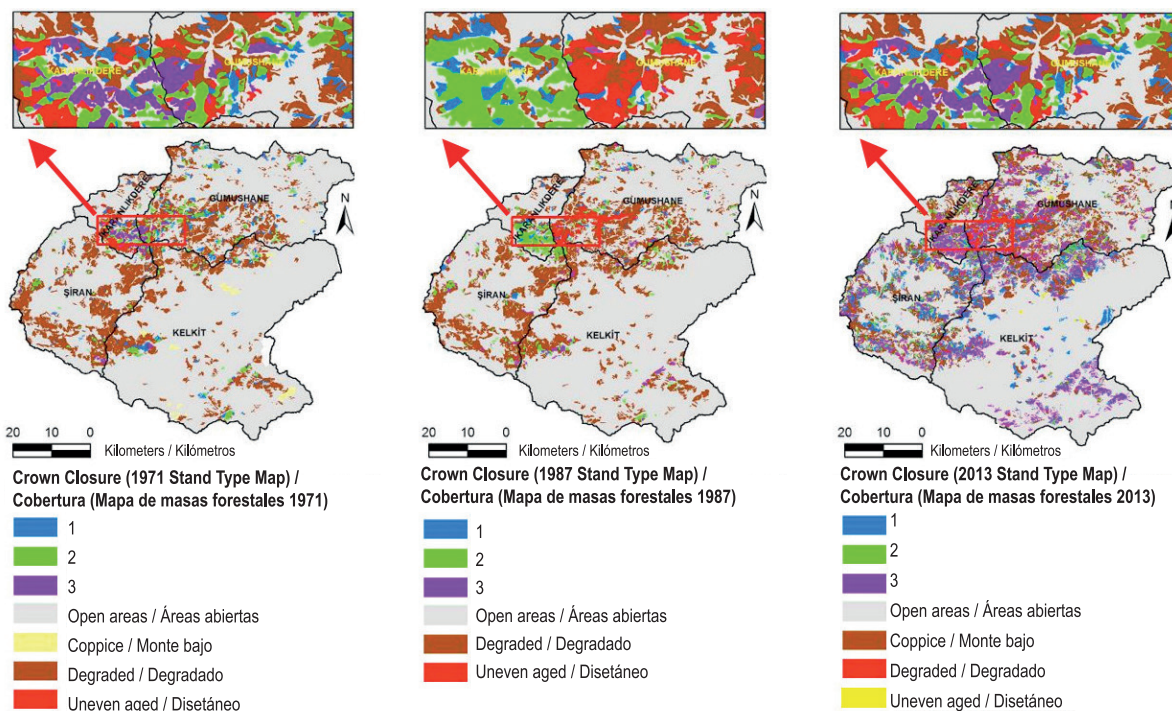
**Appendix 2. The transition matrix of crown closure classes of Gümüşhane Forest Industry, Turkey, from 1987 to 2013.**

**Apéndice 2. Matriz de transición de las clases de cobertura en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, de 1987 a 2013.**

Crown closure classes (1987)/ Tipos de cobertura (1987)	Crown closure classes (2013)/Clases de cobertura (2013)							Total (ha)
	1 (ha)	2 (ha)	3 (ha)	Regeneration (ha)/ Regeneración (ha)	Degraded (ha)/ Degradado (ha)	Open areas (ha)/ Áreas abiertas (ha)	Uneven aged (ha)/ Disetáneo (ha)	
1	425.8	702.9	1709.5	0.4	584.9	79.8	31.1	3,534.3
2	1,069.5	2,346.1	6,379.5	0.0	799.2	191.1	82.1	10,867.5
3	254.7	500.7	2,078.2	-	181.1	49.3	16.9	3,080.9
Open areas/ Áreas abiertas	10,005.0	3,287.3	6,763.6	1,183.0	39,227.7	270,732.6	204.6	331,403.9
Degraded/ Degradado	16,101.7	7,011.0	16,894.6	49.7	29,681.8	8,172.5	442.2	78,353.5
Uneven aged/ Disetáneo	193.8	169.4	431.1	-	198.5	35.7	2,801.2	3,829.7
Total	28,050.5	14,017.4	34,256.6	1,233.0	70,673.3	279,260.9	3,578.1	431,069.7

Crown closure: 1 = low coverage (0 - 10 %), 2 = medium coverage (11 - 40 %), 3 = full coverage (>71 %).

Cobertura: 1 = cobertura baja (0 - 10 %), 2 = cobertura media (11 - 40 %), 3 = cobertura total (>71 %).



**Appendix 3. Crown closure changes of Gümüşhane Forest Enterprise in the years 1971, 1987 and 2013. Crown closure: 1 = low coverage (0 - 10 %), 2 = medium coverage (11 - 40 %), 3 = full coverage (>71 %).**

**Apéndice 3. Cambios en la cubierta en Gümüşhane Forest Enterprise, Turquía, en los años 1971, 1987 y 2013. Cobertura: 1 = cobertura baja (0 - 10 %), 2 = cobertura media (11 - 40 %), 3 = cobertura total (>71 %).**

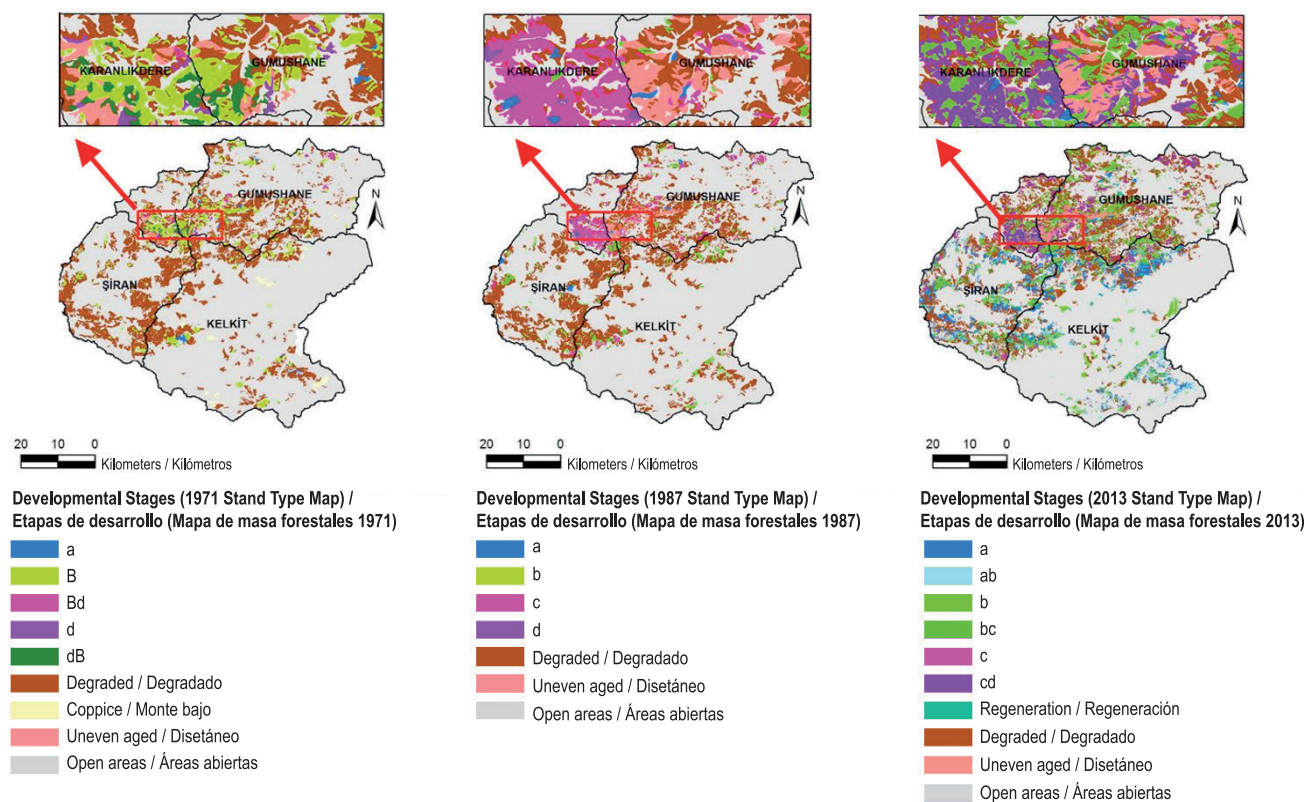
**Appendix 4. The transition matrix of developmental stages of Gümüşhane Forest Enterprise from 1987 to 2013. Apéndice 4. Matrices de transición de las etapas de desarrollo en Gümüşhane Forest Industry, Turquía, de 1987 a 2013.**

Developmental stages (1987)/Etapas de desarrollo (1987)	Developmental stages (2013)/Etapas de desarrollo (2013)										
	Regeneration (ha)/Regeneración(ha)	a (ha)	ab (ha)	b (ha)	bc (ha)	c (ha)	cd (ha)	Degraded (ha)/Degradado (ha)	Open areas (ha)/Áreas abiertas (ha)	Uneven aged (ha)/Disetáneo (ha)	Total (ha)
a	0.4	117.3	171.3	49.1	278.4	2.4	99.5	101.5	18.6	11.6	850.2
b	-	321.0	139.5	175.4	3,040.2	54.9	450.9	526.4	101.0	51.6	4,861.1
bc	0.0	155.2	46.6	41.0	1,916.9	381.3	348.3	157.5	49.9	-	3,096.8
c	0.0	122.7	24.9	89.0	2,647.2	351.9	4,163.7	749.7	137.2	66.9	8,353.3
d	-	39.3	-	-	39.7	-	198.9	30.1	13.4	-	321.3
Settlement/Asentamiento	3.0	22.8	6.1	0.2	47.4	-	3.4	144.9	4,500.9	0.5	4,729.1
Open areas/Áreas abiertas	1,180.0	7,147.9	2,284.4	1,685.8	6,102.4	235.6	2,520.2	39,082.8	266,231.7	204.1	32,6674.8
Uneven aged/Disetáneo	-	1.0	0.8	1.8	412.7	-	378.0	198.5	35.7	2,801.2	3,829.7
Degraded/Degradado	49.7	11,577.0	4,596.3	2,134.9	16,835.7	581.0	4,282.5	29,681.8	8,172.5	442.2	78,353.5
<b>Total</b>	<b>1,233.0</b>	<b>19,504.2</b>	<b>7,269.8</b>	<b>4,177.3</b>	<b>31,320.6</b>	<b>1,607.2</b>	<b>124,45.3</b>	<b>70,673.3</b>	<b>279,260.9</b>	<b>3,578.1</b>	<b>431,069.7</b>

Developmental stages: a = regenerated, b = young, c = mature, d = over-mature.

Etapas de desarrollo: a = regenerado, b = joven, c = maduro, d = extremadamente maduro.





#### Appendix 5. Developmental stage changes of Gümüşhane Forest Enterprise in the years 1971, 1987 and 2013.

Developmental stages: a = regenerated, b = young, c = mature, d = over-mature.

Apéndice 5. Cambios en la etapa de desarrollo en Gümüşhane Forest Enterprise, Turquía, en los años 1971, 1987 y 2013. Etapas de desarrollo: a = regenerado, b = joven, c = maduro, d = extremadamente maduro.