

# Spatial distribution of forest plantations in southern Chile, an area with a pulp mill

Distribución espacial de las plantaciones forestales al sur de Chile, zona con presencia de una planta de celulosa

Gastón Vergara-Díaz<sup>\*1</sup>; Víctor A. Sandoval-Vásquez<sup>2</sup>; Miguel A. Herrera-Machuca<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto de Estadística. Casilla 567, Valdivia, Chile.

gastonvergara@uach.cl, Tel.: +56 (63) 2293549 (\*Corresponding author).

<sup>2</sup>Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Instituto de Bosque y Sociedad, Laboratorio de Geomática. Casilla 567, Valdivia, Chile.

<sup>3</sup>Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Forestal, Campus de Rabanales, Edificio Leonardo Da Vinci. Carretera nacional IV, km 396. C. P. 14071. Córdoba, España.

## Abstract

The increase in industrial forest plantations in southern Chile and the alteration of the landscape have been an ongoing concern of researchers. In this paper, spatial statistical techniques were used to describe the composition of the territorial patterns of forest plantations, in an area with a pulp mill and with high demand for exotic species such as *Pinus radiata* and *Eucalyptus*. GeoDa software was used to calculate global and local Moran indexes. Land-use cover data and the area of the forest plantation polygons updated in the period 2006-2013 were used. The global Moran index indicates that plantation distribution occurs as a random phenomenon throughout the territory. In its interior there are different structures, represented by enclaves of large areas, small polygons surrounded by others of great size and large polygons surrounded by small ones, as well as a fragmentation throughout the territory, composed of polygons of various sizes and neighborless. The dynamics of change in the period 2006-2013 indicates that plantation cover presented the largest increase (6,578 ha) due to the reduction in native forest and grassland-shrubland covers.

**Keywords:** Moran's Index, autocorrelation, territorial cluster, land use.

## Resumen

El incremento de las plantaciones forestales industriales en el sur de Chile y la alteración del paisaje, han sido una preocupación permanente para los investigadores. En este trabajo se utilizaron técnicas estadísticas espaciales para describir la composición de los patrones territoriales de las plantaciones forestales en una zona con presencia de una planta de celulosa y con alta demanda de especies exóticas como *Pinus radiata* y *Eucalyptus*. El software GeoDa se utilizó para calcular los índices de Moran global y local. Se utilizaron los datos de cobertura de uso del suelo y la superficie de los polígonos de plantaciones forestales actualizadas en el periodo 2006-2013. El índice de Moran global indica que la distribución de las plantaciones ocurre como un fenómeno aleatorio en todo el territorio. En su interior se observan distintas estructuras representadas por enclaves de grandes superficies, polígonos pequeños rodeados por otros de gran tamaño y polígonos grandes rodeados por pequeños, además de una fragmentación a través de todo el territorio, compuesta por polígonos de diversos tamaños y sin vecindad. La dinámica del cambio en el periodo 2006-2013 indica que la cobertura de plantaciones presentó el mayor incremento (6,578 ha) a causa del desmedro de las coberturas de bosque nativo y praderas-matorrales.

**Palabras clave:** Índice Moran, autocorrelación, cluster territorial, uso del suelo.

## Introduction

Subsidies granted to forest plantations in Chile have increased since 1974 with the enactment of Decree Law 701, which was aimed at developing high-yield plantations covering between 75 and 90 % of the costs of planting. Initially, the main beneficiaries were large landowners; later in 1998, Decree Law 19.561 reformulated the subsidy system so that small landowners could obtain the benefits and strengthen to some extent soil conservation. Due to the lack of availability of large tracts of land and an increase in their commercial value, forest farms were created by encouraging the occupation of marginal farmland with forest plantations. Thus, in 2004, smallholders had more than 40,000 hectares planted and were organized to take advantage of economies of scale during the planting, maintenance and harvesting processes (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico [OCDE] & Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2005).

Forest product exports rank third with 13 %, after mining and the food industry with its derivatives, making up 3.5 % of gross domestic product (Donoso & Otero, 2005). Pulp accounts for 47.5 % of forest exports, followed by lumber with 43.1 % and paper and paperboard with 9.4 % (Banco Central de Chile, 2015; OCDE & CEPAL, 2005). Demand for forest products has led to an increase in exotic pine and eucalyptus plantations, and forest plantations in Chile have grown at an annual rate of 2.17 % in the last 14 years (Corporación Nacional Forestal [CONAF], 2011). These plantations occupied 2,119,005 ha in 1997, representing 13.55 % of the forest cover; in 2011, the area increased to 2,872,007 ha, representing 17.22 % of the forest cover (CONAF, 2011).

The main market for forest plantation products is the pulp and paper industry. This industry is found from the Maule Region to the Los Ríos Region with a total of nine active mills with a production capacity of 6 million tons per year. The Maule Region is characterized by having the highest concentration of forestry activity with the presence of pulp industries. On the other hand, the Los Ríos Region, declared a tourist area and characterized by its richness in native forest and biodiversity, has not been left out of the process of pulp mill construction. In 1995 construction began on the Valdivia plant in Mariquina county, located 10 km from the city center. The plant started in 2004 with a capacity of 550,000 t-year<sup>-1</sup> of bleached Kraft pulp, derived from radiata pine and eucalyptus, demanding large tracts of forest plantations as raw material (Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de los Lagos, 1998).

The temperate rainforest area of southern Chile is the only example of a temperate forest biome in

## Introducción

Los subsidios otorgados a las plantaciones forestales en Chile se incrementaron a partir de 1974 con la creación del Decreto Ley 701, cuyo objetivo principal fue desarrollar plantaciones de alta productividad, cubriendo entre 75 y 90 % de los costos de plantación. Inicialmente, los principales beneficiados fueron grandes terratenientes, posteriormente en 1998, el Decreto Ley 19.561 reformuló el sistema de subsidios para que los pequeños propietarios pudieran obtener los beneficios y fortalecer en alguna medida la conservación de los suelos. Debido a la falta de disponibilidad de grandes extensiones de tierra e incremento de su valor comercial, se crearon las granjas forestales incentivando a las ocupaciones de terrenos marginales del sector agrícola con plantaciones de tipo forestal. De esta forma, en el 2004, los pequeños propietarios tenían más de 40,000 ha plantadas y estaban organizados para aprovechar economías de escala durante los procesos de plantación, manutención y cosecha (Organización de Cooperación y Desarrollo Económico [OCDE] & Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2005).

Las exportaciones de productos forestales ocupan el tercer lugar con 13 %, después de la minería y la industria de alimentos con sus derivados, constituyendo 3.5 % del producto interno bruto (Donoso & Otero, 2005). La celulosa representa 47.5 % de las exportaciones forestales, seguida por la madera aserrada con 43.1 %, y papeles y cartones con 9.4 % (Banco Central de Chile, 2015; OCDE & CEPAL, 2005). La demanda de productos forestales generó el incremento de las plantaciones exóticas de pino y eucalipto, es así como las plantaciones forestales en Chile crecieron a una tasa anual de 2.17 % en los últimos 14 años (Corporación Nacional Forestal [CONAF], 2011). Estas plantaciones ocupaban 2,119,005 ha en 1997, que representaban 13.55 % de la cubierta boscosa; en 2011, la superficie aumentó a 2,872,007 ha, representando 17.22 % de la cubierta (CONAF, 2011).

El principal demandante de plantaciones forestales es la industria de celulosa y papel. Esta industria abarca desde la Región del Maule hasta la Región de los Ríos con un total de nueve plantas productoras con una capacidad de producción de 6 millones de toneladas anuales. La región del Maule se caracteriza por concentrar la mayor actividad forestal con presencia de industrias de celulosa. Por otra parte, la Región de los Ríos, declarada zona turística y caracterizada por su riqueza en bosque nativo y biodiversidad, no ha estado fuera del proceso de instalación de plantas de celulosa. En 1995 comenzó el proyecto de construcción de la planta Valdivia en la comuna de Mariquina, a 10 km del centro de la ciudad. La planta inició en el

South America, making it one of the most important biodiversity sites worldwide due to the endemism of its species (Armesto, Rozzi, Smith-Ramirez, & Arroyo, 1998; Smith-Ramírez, 2004). Other important factors involving these forests are related to the provision of ecosystem services such as water production and quality, temperature regulation, soil protection, oxygen production, CO<sub>2</sub> sinks and landscape beauty.

According to Donoso and Otero (2005), Chile is still faced with the task of improving levels of environmental sustainability due to the lack of a strong institutional framework that ensures good management of industrial plantations and native forests, thereby safeguarding biodiversity, productivity and domestic services. This research describes pine and eucalypt forest plantation land use in an area of southern Chile where a pulp mill has been operating since 2005. The objectives were to: a) perform a spatial analysis to test the hypothesis that polygons that fragment land use with forest plantations are not spatially related, which would explain why the forest industry undertakes land-use conversions without following the existing use pattern and why private owners perform this action in isolation; b) construct local indicators to determine the relevance of plantation polygons with similarities in their environment; c) explain the effect of plantations on the dynamics of land-use change, which would prove the pressure to which the different land uses, especially the native forests, have been subjected as a result of the replacement of native by exotic species by forest plantations.

## Materials and methods

### Study area

The study area was Mariquina county (known in Chile as a comuna, being the country's smallest administrative unit), located in the Los Ríos Region in southern Chile (Figure 1). The county is located between 39° 31' 0" SL and 72° 58' 0" WL, at an average height of 1,430 m; it is bordered to the North by the Lanco and Loncoche counties, to the South by the Valdivia county, to the West by the Pacific Ocean and to the East by the Máfil county. Mariquina county has a population of 19,823 in an area of 132,100 ha (Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2002). The area is characterized by three physiographic units represented by the Andes mountain range, the Intermediate Depression and the Chilean Coastal Range (in Spanish, the Cordillera de la Costa), which runs from north to south. The climate is rainy with Mediterranean influence and annual temperatures range between 9 and 10 °C on the coast and the coastal range areas. The area is characterized by a West-East precipitation gradient that on average ranges between 1,200 and 1,600 mm annually, being

2004 con una capacidad de 550,000 t-año<sup>-1</sup> de celulosa Kraft blanqueada, derivada de pino radiata y eucalipto, demandando grandes extensiones de plantaciones de bosque como materia prima (Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de los Lagos, 1998).

Los bosques templados lluviosos al sur de Chile constituyen la única muestra del bioma de bosques templados de Sudamérica, transformándose en uno de los lugares más importantes de la biodiversidad a nivel mundial, debido al endemismo de sus especies (Armesto, Rozzi, Smith-Ramirez, & Arroyo, 1998; Smith-Ramírez, 2004). Otros factores importantes de estos bosques se relacionan con la provisión de servicios ecosistémicos como la producción y calidad del agua, regulación de la temperatura, protección del suelo, producción de oxígeno, sumideros de CO<sub>2</sub> y belleza del paisaje.

Según Donoso y Otero (2005), Chile aún tiene una tarea pendiente respecto a los niveles de sustentabilidad ambiental por falta de una institucionalidad fuerte que regule el buen manejo de plantaciones industriales y bosque nativo, resguardando la biodiversidad, productividad y servicios domésticos. En la presente investigación se describe el uso del suelo de plantaciones forestales de pino y eucalipto en una zona al sur de Chile con presencia de una planta de celulosa que opera desde el 2005. Los objetivos fueron a) realizar un análisis espacial para probar la hipótesis de que los polígonos que fragmentan el uso del suelo con plantaciones forestales no se relacionan espacialmente, lo cual explicaría que la industria forestal realiza reconversiones de uso del suelo sin seguir un patrón sobre el uso existente y que los propietarios privados realizan esta acción en forma aislada; b) construir indicadores locales para determinar la relevancia de los polígonos de plantaciones con similitudes en su entorno; c) explicar el efecto de las plantaciones en la dinámica del cambio de uso del suelo, que probaría la presión a la que los diferentes usos del territorio, en especial los bosques nativos, han estado sometidos a través de la sustitución por plantaciones forestales con especies exóticas.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio corresponde a la comuna de Mariquina, situada en la Región de los Ríos al sur de Chile (Figura 1). La comuna se localiza entre los 39° 31' 0" LS y 72° 58' 0" LO, a una altitud promedio de 1,430 m; limita al norte con las comunas de Lanco y Loncoche, al sur con la comuna de Valdivia, al oeste con el océano Pacífico y al este con la comuna de Máfil. La población es de 19,823 habitantes en una superficie de 132,100 ha

concentrated mainly between March to August, with a drier period between January and February, when precipitation does not exceed 60 mm.

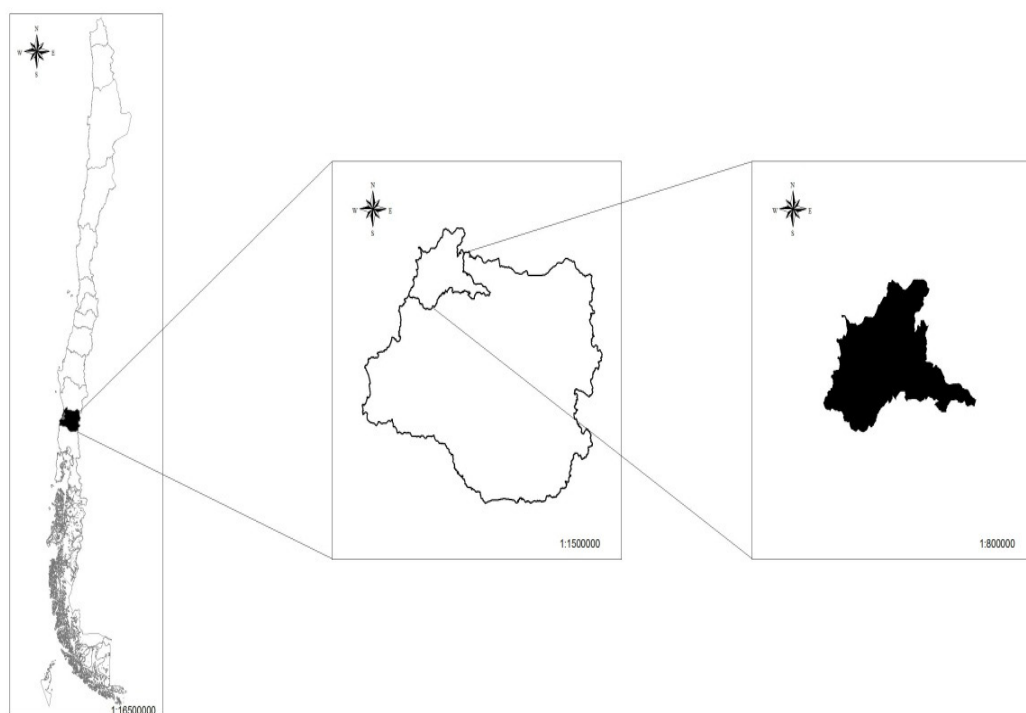
The native temperate rainforests are characterized by the presence of endemic arboreal species with dominance of species classified as evergreen; their greatest presence is transversal between the Andean summit and the Coastal range. There are also mixed forests composed of native and exotic species. The environmental conditions of the territory have allowed for the proliferation of forest plantations, based on fast-growing exotic species such as eucalyptus and pine. In the Intermediate Depression there is an important area (45 %) consisting of grasslands and shrublands (CONAF et al., 1999).

### Databases

Data were obtained from a broader project that consisted of updating the land-use cover of the Los Ríos Region in the period 2006-2013. High-resolution images available on Google Earth (<http://earth.google.com>) were used; in the georeferencing, control points obtained from the vectorial covers from the cadastre and national land-use monitoring (CONAF, 2008) were used. The polygons with the classification of uses

(Instituto Nacional de Estadísticas [INE], 2002). La zona se caracteriza por tres unidades fisiográficas representadas por la cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia y la cordillera de la Costa, orientadas de norte a sur. El clima es lluvioso con influencia mediterránea y las temperaturas anuales oscilan entre 9 y 10 °C en la costa y las zonas cordilleranas. El área se caracteriza por un gradiente de precipitación oeste-este que varía entre 1,200 y 1,600 mm promedio anual, concentrándose principalmente entre los meses de marzo a agosto, existiendo un periodo más seco entre enero y febrero, donde la precipitación no sobrepasa los 60 mm.

Los bosques nativos del tipo templado-lluvioso se caracterizan por la presencia de especies arbóreas endémicas con dominancia de especies clasificadas como bosque del tipo forestal siempre verde; su mayor presencia es transversal entre la cumbre andina y la cordillera de la Costa. Existen además bosques mixtos compuestos por especies nativas y exóticas. Las condiciones ambientales del territorio han permitido el aprovechamiento para la proliferación de plantaciones forestales, basadas en especies exóticas de rápido crecimiento como el eucalipto y el pino. En la Depresión Intermedia se encuentra una superficie importante (45 %) constituida por praderas y matorrales (CONAF et al., 1999).



**Figure 1. Location of Mariquina county (study area). On the left is the location of the Los Ríos Region in southern Chile and on the right the county under study.**

**Figura 1. Ubicación de la comuna de Mariquina (área de estudio). A la izquierda se muestra la localización de la Región de los Ríos al sur de Chile y a la derecha la comuna en estudio.**



were digitized on the georeferenced images of the year 2013, assigning a unique identification number to each new polygon, in addition to the cover number of the previous period.

The typology for the classification of land-use/cover was based on the methodology developed by the Louis Emberger Center for Phytosociological and Ecological Studies (CEPE/CNRS of Montpellier, France), known as the Land Occupancy Chart (Etienne & Prado, 1982). This chart was adapted and validated in Chile, extending it to 44 subcategories in the cadaster and evaluation of Chile's native vegetation resources (CONAF et al., 1999). The main types of use are: urban and industrial areas, agricultural land, grasslands and shrublands, forest plantations, native forest, mixed forest, wetlands, and areas devoid of vegetation, snow, glaciers and water bodies.

Field visits allowed ratifying the cartographic classification of the polygons and describing them with land-use changes. Forms were used to describe each polygon in relation to current use, causes of change and presence of species (Sandoval, 2008). The forms were inputted into an information system built for monitoring and updating land-use change (Vergara & Sandoval, 2010). The field information was validated and later joined to the graphical database through the unique polygonal identifier, using ArcMap 10.1 software (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2015) were crossed and a cover with administrative limits was also included, obtaining an alphanumeric and graphical base with the current land use in the Los Ríos Region. A polygon cover in shape file format was also generated for the study area. The data in each polygon with the forest plantation area were used to measure spatial autocorrelation through Moran's index, using GeoDa software (Anselin, 2003). The neighborhood between plantation polygons was defined in the first-order contiguity by the queen-type criterion; that is, if any part of the borders or vertices that make up the irregular plantation polygons are touched, then they are considered neighbors.

### Spatial analysis

The global Moran area autocorrelation coefficient ( $I$ ) (Moran, 1950) is similar to the correlation coefficient proposed by Pearson (1896), but includes the spatial concept, indicating the covariance between different areas in the numerator, variance in the denominator and a matrix with distance or contiguity weights defining the neighboring areas. The index varies between -1 and 1, where values close to 0 indicate a lack of spatial relationship or presence of a random pattern, which would prove our hypothesis; other values indicate the presence of autocorrelation. Negative values indicate a

### Bases de datos

Los datos se obtuvieron a partir de un proyecto más amplio que consistió en la actualización de la cobertura del uso del suelo de la Región de los Ríos en el periodo 2006-2013. Se utilizaron imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth (<http://earth.google.com>); en la georreferenciación se usaron puntos de control obtenidos de las coberturas vectoriales provenientes del catastro y monitoreo nacional de uso de suelo (CONAF, 2008). Los polígonos con la clasificación de los usos se digitalizaron sobre las imágenes georreferenciadas del año 2013, asignando un número de identificación único a cada nuevo polígono, además del número de la cobertura del periodo anterior.

La tipología para la clasificación de la cobertura de uso del suelo se basó en la metodología desarrollada por el Centro de Estudios Fitosociológicos y Ecológicos Louis Emberger (CEPE/CNRS de Montpellier, Francia), conocida como Carta de Ocupación de la Tierra (Etienne & Prado, 1982). Esta carta se adaptó y validó en Chile, ampliándola a 44 subcategorías en el catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF et al., 1999). Las tipologías principales de uso corresponden a las áreas urbanas e industriales, terrenos agrícolas, praderas y matorrales, plantaciones forestales, bosque nativo, bosque mixto, humedales, áreas desprovistas de vegetación, nieves, glaciales y cuerpos de agua.

Las visitas a terreno permitieron ratificar la clasificación cartográfica de los polígonos y describirlos con cambios de uso del suelo. Se utilizaron formularios para describir cada polígono con relación al uso actual, causales de cambio y presencia de especies (Sandoval, 2008). Los formularios se ingresaron en un sistema de información construido para el monitoreo y actualización del cambio de uso del suelo (Vergara & Sandoval, 2010). La información de terreno se validó y posteriormente se unió a la base de datos gráfica a través del identificador único poligonal, utilizando el software ArcMap 10.1 (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016). Se cruzaron ambas coberturas y se incluyó además una cobertura con los límites administrativos, obteniendo una base alfanumérica y gráfica con el uso actual del suelo en la Región de los Ríos. También se generó una cobertura de polígonos en formato "Shape file" para el área de estudio. Los datos en cada polígono con la superficie de plantación forestal se usaron para medir autocorrelación espacial a través del índice de Moran, utilizando el software GeoDa (Anselin, 2003). La vecindad entre polígonos de plantaciones se definió en primer orden de contigüidad por el criterio tipo reina; es decir, si cualquier parte de los bordes o vértices que conforman los polígonos irregulares de plantaciones se tocan, entonces se consideran vecinos.

spatial conglomerate of territorial units with different analysis values, and positive values indicate a spatial conglomerate of territorial units with similar analysis values, whether high or low. The global Moran's index ( $I$ ) was obtained from:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d)(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

where:

$n$  = Case number

$x_i$  = Value of the variable in a given place

$x_j$  = Value of the variable in another place ( $i \neq j$ )

$\bar{x}$  = Mean of the analysis variable

$w_{ij}(d)$  = Weight applied to the comparison between the distance of location  $i$  and the location  $j$ , determined by  $d$ .

The value of  $w_{ij}(d)$  is equal to 1 if the location  $j$  is within the location distance measured from point  $i$ , while  $w_{ij}(d)$  is equal to 0 if the above assumption is not satisfied. The matrix of spatial weights  $\{w_{ij}(d)\}$  has a diagonal that is worth 0 and the elements outside of it are worth 0 or 1, depending on whether it is inside or outside the distance  $d$  (Anselin, 2003).

The global Moran index represents a statistical summary, indicating the intensity of autocorrelation between territorial groups, but does not identify the pattern of spatial relationships. The local Moran index ( $I_i$ ), local index of spatial association index (LISA), was calculated to know the relevance of similar values with respect to their environment. In order to characterize the spatial configuration of the plantations, the index that allows evaluating the degree of grouping of similar and dissimilar observations is defined as:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sum_{j=1}^n w_{ij}(d)(x_j - \bar{x})$$

This index allows identifying polygons in the territory where the analysis values (area of high or low value plantations [ha]) are grouped spatially, as well as polygons with plantation area very different from those of the surrounding areas (Anselin, 1995).

### Temporal analysis

Land-use changes in the period 2006-2013 were quantified with a double-entry transition matrix, where the rows and columns represent the land-use types for both periods; each cell, the area of the zones that

### Análisis espacial

El coeficiente de autocorrelación de superficie de Moran global ( $I$ ) (Moran, 1950) es similar al coeficiente de correlación propuesto por Pearson (1896), pero incluye el concepto espacial, indicando la covarianza entre diferentes zonas en el numerador, varianza en el denominador y una matriz con ponderaciones de distancia o contigüidad que define las zonas vecinas. El índice varía entre -1 y 1, donde los valores cercanos a 0 indican falta de relación espacial o presencia de un patrón aleatorio, lo que probaría nuestra hipótesis; otros valores indican la presencia de autocorrelación. Los valores negativos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis distintos, y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares, sean altos o bajos. El índice Moran global ( $I$ ) se obtuvo a partir de:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d)(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

donde:

$n$  = Número de caso

$x_i$  = Valor de la variable en un lugar determinado

$x_j$  = Valor de la variable en otro lugar ( $i \neq j$ )

$\bar{x}$  = Media de la variable de análisis

$w_{ij}(d)$  = Peso aplicado a la comparación entre la distancia de localización  $i$  y la localización  $j$ , determinada por  $d$ .

El valor de  $w_{ij}(d)$  es igual a 1 si la localización  $j$  está dentro de la distancia de localización medida a partir del punto  $i$ , mientras que  $w_{ij}(d)$  es igual a 0 si no se cumple el supuesto anterior. La matriz de pesos espaciales  $\{w_{ij}(d)\}$  tiene una diagonal que vale 0 y los elementos fuera de ésta valen 0 o 1, dependiendo de si se encuentra dentro o fuera de la distancia  $d$  (Anselin, 2003).

El índice de Moran global representa un resumen estadístico, indicando la intensidad de autocorrelación entre grupos territoriales, pero no identifica el patrón de las relaciones espaciales. El índice de Moran local ( $I_i$ ), índice local de asociación espacial (LISA), se calculó para conocer la relevancia de los valores similares con respecto a su entorno. Para caracterizar la configuración espacial de las plantaciones, el índice que permite evaluar el grado de agrupación de las observaciones similares y disímiles se define como:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sum_{j=1}^n w_{ij}(d)(x_j - \bar{x})$$

presented changes in the period, and the diagonal is left represented by the area of the use types that did not present changes (Aguayo, Pauchard, Azocar, & Parra, 2009). The matrix was constructed with an information system developed in the geomatics laboratory at the Universidad Austral de Chile (Vergara & Sandoval, 2010). The rate of change in the period was calculated using the formula proposed by Puyravaud (2003):

$$P = \frac{100}{t_2 - t_1} \ln \left( \frac{A_2}{A_1} \right)$$

$P$  = Annual rate of change (%)

$A_1$  = Area of the use class at the initial time (ha)

$A_2$  = Area of the use class at the final time (ha)

$t_1$  = Year of initial evaluation

$t_2$  = Year of final evaluation

## Results and discussion

Results show that the forest plantations are spread throughout the whole territory, with emphasis towards the northern sector (Lanco and Loncoche counties) and the east sector with the boundary of Máfí county, where the best road network is found and the pulp mill is located nearby. Plantations near wetlands were observed, and in some cases they are demarcated without separation corridors; there is a herringbone-shaped penetration into the native forest, causing degradation, where forest use remains as such, but it loses density in its crown cover (e.g. from native forest it went to arborescent shrubland and to mixed forest), and is also fragmented with different-sized polygons (Figure 2). Nahuelhual, Carmona, Lara, Echeverría, and González (2012) conducted a study in south-central Chile to assess the vulnerability of native forests in unprotected areas prone to conversion to forest plantations. The authors determined that the forest plantations do not have a distribution pattern, but expand in different directions, establishing themselves in the secondary native forest, further generating biodiversity loss. Coinciding with the results of this research, Wilson, Newton, Echeverría, Weston, and Burgman (2005) determined that climate, topography, soil and proximity to roads, cities and industrial areas are relevant spatial distribution factors in the likelihood of conversion.

Figure 3 shows that the global Moran index for forest plantations is 0.06 ( $P < 0.01$ ), indicating the presence of a random pattern throughout the whole territory with the existence of many isolated polygons of various sizes and without neighbors. Van Holt, Binford, Portier, and Vergara (2016) analyzed a wide area encompassing two regions in southern Chile and verified that plantations were established in foothills of predominantly agricultural watersheds rather than in watersheds dominated by native forests or in flat, agriculturally productive areas.

Este índice permite identificar polígonos en el territorio donde los valores de análisis (superficie de plantaciones [ha]) altos o bajos se agrupan espacialmente, así también polígonos con superficie de plantaciones muy distinta a las de las áreas circundantes (Anselin, 1995).

## Análisis temporal

Los cambios del uso del suelo en el periodo 2006-2013 se cuantificaron con una matriz de transición de doble entrada, donde las filas y columnas representan los tipos de uso del suelo para ambos periodos; cada celda, la superficie de las áreas que presentaron cambios en el periodo; y la diagonal queda representada por la superficie de los tipos de usos que no presentaron cambios (Aguayo, Pauchard, Azocar, & Parra, 2009). La matriz se construyó con un sistema de información desarrollado en el laboratorio de geomática de la Universidad Austral de Chile (Vergara & Sandoval, 2010). La tasa de cambio en el periodo se calculó utilizando la fórmula propuesta por Puyravaud (2003):

$$P = \frac{100}{t_2 - t_1} \ln \left( \frac{A_2}{A_1} \right)$$

$P$  = Tasa de cambio anual (%)

$A_1$  = Superficie de la clase de uso en el tiempo inicial (ha)

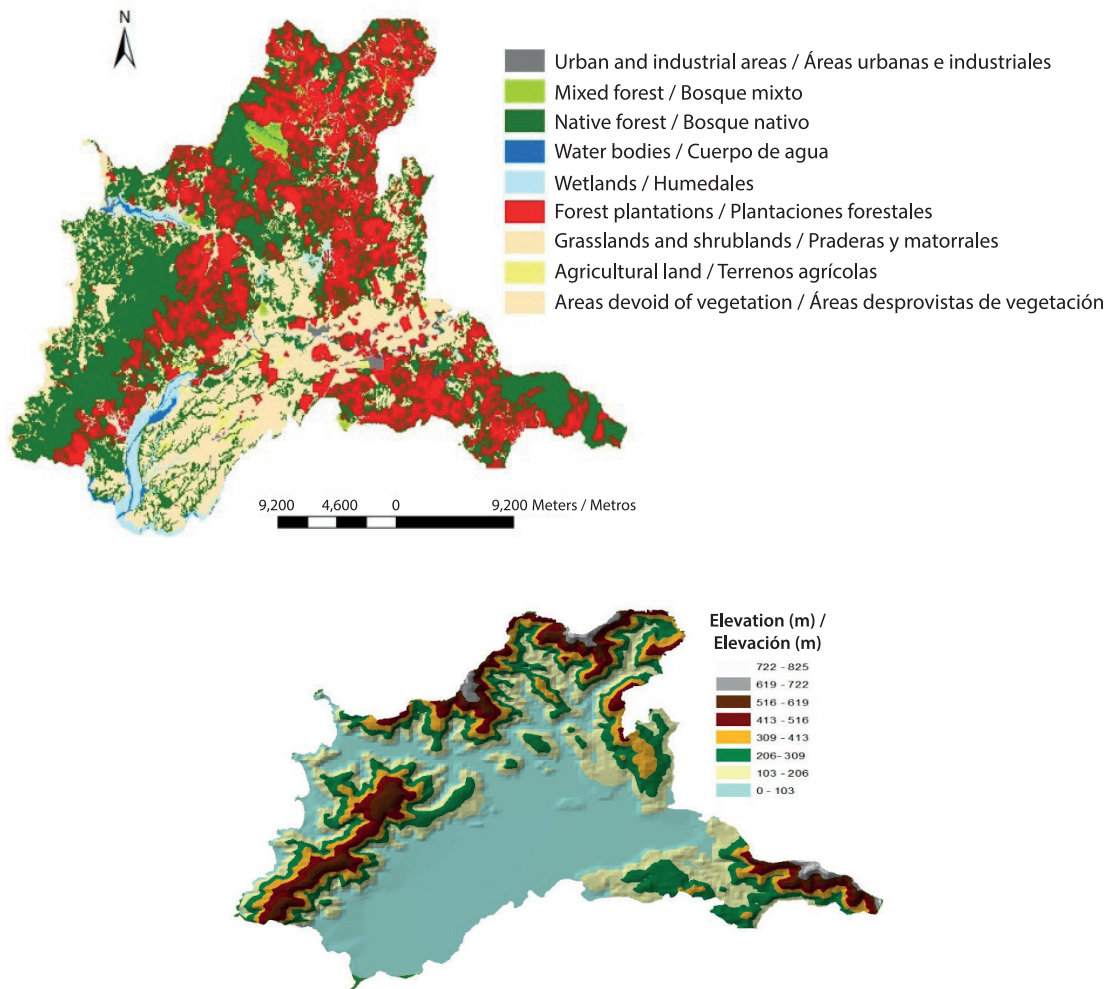
$A_2$  = Superficie de la clase de uso en el tiempo final (ha)

$t_1$  = Año de evaluación inicial

$t_2$  = Año de evaluación final

## Resultados y discusión

Los resultados muestran que las plantaciones forestales se extienden a través de todo el territorio, con énfasis hacia el sector norte (comunas de Lanco y Loncoche) y el sector este con el límite de la comuna de Máfí, donde se encuentra la mejor red caminera y hay cercanía con la planta de celulosa. Se observaron plantaciones cercanas a humedales y en algunos casos deslindan sin corredores de separación; existe una penetración en forma de espina de pescado hacia el interior del bosque nativo, generando degradación, donde el uso de bosque permanece como tal, pero pierde densidad en su cobertura de copa (v. g. de bosque nativo pasó a matorral arborescente y a bosque mixto), y además está fragmentado con polígonos de diferentes tamaños (Figura 2). Nahuelhual, Carmona, Lara, Echeverría, y González (2012) realizaron un estudio en el centro sur de Chile, para evaluar la vulnerabilidad de los bosques nativos en áreas no protegidas y propensas para su conversión en plantaciones forestales. Los autores determinaron que las plantaciones forestales no tienen un patrón de distribución, sino que se expanden en diferentes direcciones, estableciéndose en el bosque nativo secundario, generando además pérdida de biodiversidad. Coincidente con los resultados en esta investigación, Wilson, Newton, Echeverría,



**Figure 2. Land-use covers and elevation contours in Mariquina county, Chile.**

**Figura 2. Coberturas de uso del suelo y curvas de elevación en la comuna de Mariquina, Chile.**

The random distribution of exotic species by natural regeneration also occurred in the Chilean Patagonia, where exotic plantations were initially established to control erosion caused by fires and livestock. Later, these plantations were introduced for commercial purposes, and because of the ease of adaptation to local conditions, a natural regeneration occurred that invaded native forests and generated different spatial patterns (Langdon, Pauchard, & Aguayo, 2010). A similar situation was reported in the Argentinian Patagonia, where exotic species with productive purposes such as the lodgepole pine showed an invasive expansion on the steppe, and the Douglas fir on cypress forests (Sarasola, Rusch, Schlichter, & Ghersa, 2006).

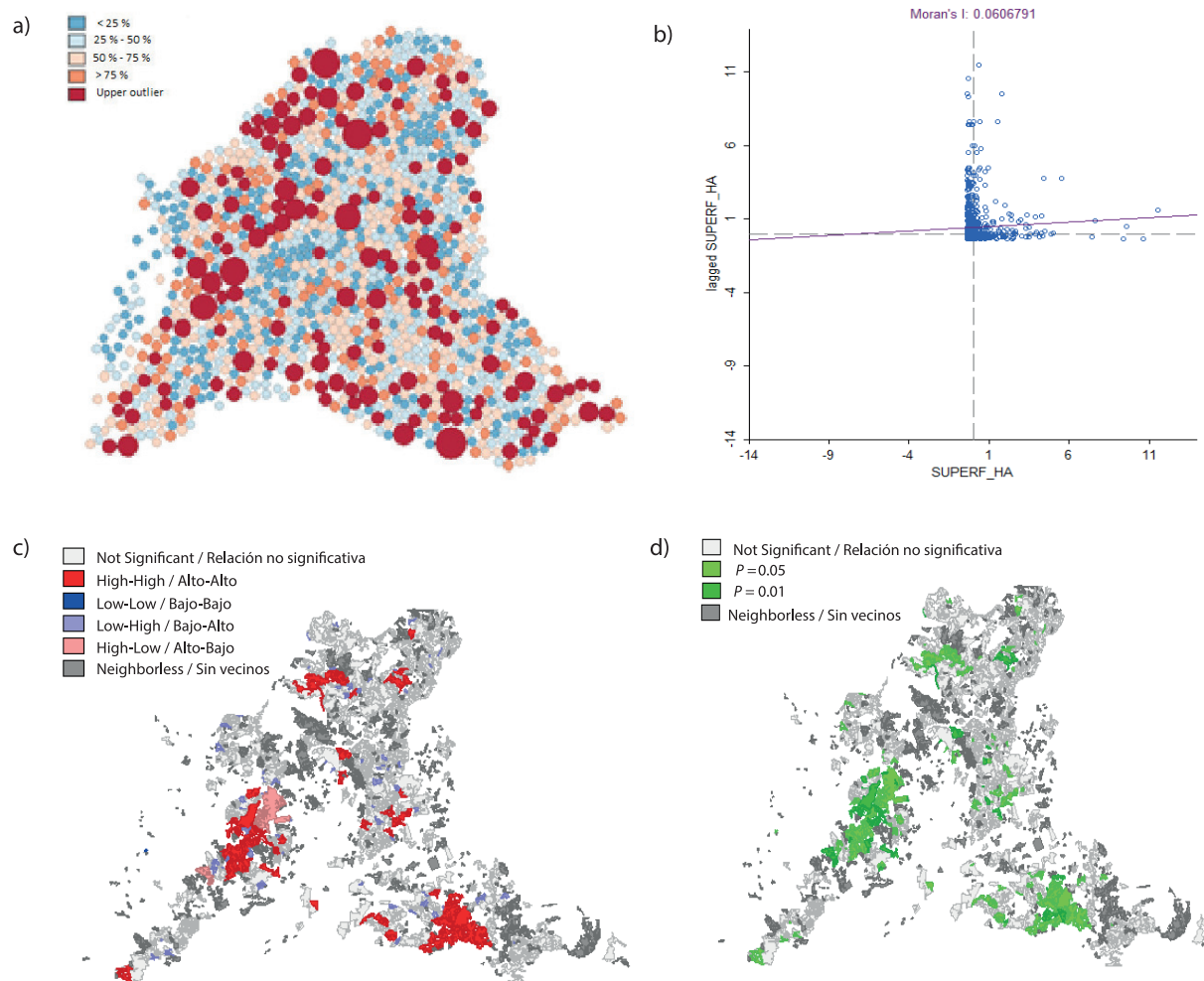
As the global Moran index is only a statistical summary indicating the intensity of autocorrelation between territorial groups, it is necessary to identify some spatial relationship patterns. For this reason, the local Moran index was constructed to identify territorial units (plantation polygons) that are grouped together. High (large polygons) or low (small polygons) analysis

Weston, y Burgman (2005) determinaron que el clima, topografía, suelo, cercanía a caminos, ciudades y áreas industriales son factores de distribución espacial relevantes en la sustitución.

En la Figura 3 se puede apreciar que el índice de Moran global para las plantaciones forestales es de 0.06 ( $P < 0.01$ ), indicando presencia de un patrón aleatorio a través de todo el territorio con la existencia de muchos polígonos aislados de diversos tamaños y sin vecindad. Van Holt, Binford, Portier, y Vergara (2016) analizaron una zona amplia de dos regiones del sur de Chile y comprobaron que las plantaciones se establecieron en cuencas esencialmente agrícolas, en cuencas hidrográficas dominadas por bosque nativo y en zonas planas dedicadas a la agricultura.

La distribución aleatoria de especies exóticas por regeneración natural ocurrió también en la Patagonia chilena, donde inicialmente se establecieron plantaciones exóticas para controlar la erosión causada por los incendios y la ganadería. Posteriormente dichas plantaciones se





**Figure 3. a) Territorial fragmentation and size of forest plantation polygons in Mariquina county, Chile, b) global Moran index for the variable plantation polygon, c) Conglomerate map of plantation polygons, d) Significance map of plantation polygons.**

**Figura 3. a) Fragmentación territorial y tamaño de los polígonos de plantaciones forestales en la comuna de Mariquina, Chile, b) Índice de Moran global para la variable polígono de plantación, c) Mapa de conglomerados de los polígonos de plantaciones, d) Mapa de significancia de los polígonos de plantaciones.**

values are grouped spatially, as well as polygons with values very different from the surrounding areas. Thus, in our study we can distinguish the following types of spatial conglomerates

**High-High.** Plantation polygons with above-average area, significantly surrounded by neighboring polygons that also have an above-average area, correspond to forest company areas that occupy large tracts of land with forest plantations in the county (Figure 3). Some conglomerates of this type also appear, extending towards the limits of Mafil county in an easterly direction and Valdivia county towards the South. Altamirano and Lara (2010) studied the Andean foothills of south-central Chile and determined that 63 % of forest plantations were found in covers corresponding to native forest, areas with intermediate elevation levels and a short distance from the road

introdujeron para fines comerciales, y por la facilidad de adaptación a las condiciones locales se produjo una regeneración natural que invadió los bosques nativos y generó diferentes patrones espaciales (Langdon, Pauchard, & Aguayo, 2010). Una situación similar se reportó en la Patagonia argentina, donde las especies exóticas con fines productivos como el pino murrayana mostró una expansión invasora sobre la estepa, y el pino oregón sobre los cipresales (Sarasola, Rusch, Schlichter, & Ghersa, 2006).

Como el índice de Moran global es solo un resumen estadístico que indica la intensidad de autocorrelación entre los grupos territoriales, es necesario identificar algunos patrones de relaciones espaciales. Por tal motivo, el índice de Moran local se construyó para identificar las unidades territoriales (polígonos de plantaciones) que se agrupan. Los valores de análisis altos (polígonos grandes) o bajos (polígonos pequeños)

network. González, Lara, Urrutia, and Bosnich (2011) warn that the extensive areas of forest plantations and ecosystems highly fragmented and invaded by exotic species, together with the decrease in precipitation and the increase in recurrent droughts, generate a high continuity of fuel prone to forest fires.

**Low-High.** It refers to plantation polygons with a small area, significantly surrounded by neighboring polygons with a larger than average area (Figure 3). This situation occurs when smallholders, neighbors to the forest plantations, are left surrounded by forestry companies and decide to devote their lands to the forestry activity, as a result of the previous degradation of native forest by the extraction of firewood. The study by Aguayo et al. (2009), in south-central Chile, explains the transformation of native forest into shrublands and, later, a large percentage of the latter is converted into forest plantations. Other research attributes a large percentage of the replacement of native forest to forest plantations directly (Lara, Solari, Prieto, & Peña, 2012; Nahuelhual et al., 2012).

**High-Low.** It refers to the presence of polygons with large-scale plantations, significantly surrounded by polygons of neighboring plantations with below-average area; that is, smallholders who neighbor large plantation owners and decide to devote their property to forest use.

**Neighborless.** When considering in the analysis only the polygons with forest plantations, a territorial fragmentation with many different-sized, neighborless polygons is produced. This is confirmed by the global Moran index, which indicates a random plantation pattern; it also coincides with the study of Nahuelhual et al. (2012), who mention the proliferation of a number of polygons fragmented into different sizes and distributed throughout the landscape.

**Not significant.** It is produced by the presence of plantation polygons, where the variable polygon area is not significantly related to the values presented by their neighbors. This is due to fragmentation and the presence of other uses as neighbors.

Spatial analysis using Moran's index is a technique not widely used in the field of natural resources; however, its use in research related to spatial analysis of forest fires (Ávila-Flores, Pompa-García, & Vargas-Pérez, 2010; Pompa-García, & Hernández-González, 2012) and changes in plant cover (Rodríguez, Pompa-García, Hernández-Díaz, & Juárez-Reyes, 2010) should be highlighted. The change matrix reveals that the land-use covers that presented the greatest transformations were the urban and industrial areas, forest plantations, agricultural land and grasslands-shrublands, dynamics

se agrupan espacialmente, así como también polígonos con valores muy distintos a las áreas circundantes. De esta forma en nuestro estudio podemos distinguir los siguientes tipos de conglomerados espaciales:

**Alto-Alto.** Polígonos de plantaciones con superficie sobre la media, rodeados significativamente por polígonos vecinos que también tienen una superficie sobre la media; corresponden a superficies de empresas forestales que ocupan espacios grandes del territorio con plantaciones forestales en la comuna (Figura 3). También aparecen algunos conglomerados de este tipo, extendiéndose hacia los límites de las comunas de Máfil en sentido Este y Valdivia hacia el Sur. Altamirano y Lara (2010) estudiaron la zona precordillerana del centro sur de Chile y determinaron que 63 % de las plantaciones forestales se encontraron en coberturas que correspondían a bosque nativo, zonas con niveles de elevación intermedia y a corta distancia de la red de caminos. González, Lara, Urrutia, y Bosnich (2011) advierten que las superficies extensas de plantaciones forestales y los ecosistemas altamente fragmentados e invadidos por especies exóticas, junto a la disminución de las precipitaciones y el aumento de sequías recurrentes, generan una alta continuidad de combustible propensa a incendios forestales.

**Bajo-Alto.** Polígonos de plantaciones con una pequeña superficie, rodeada significativamente por polígonos vecinos con superficie con un tamaño superior a la media (Figura 3). Esta situación se presenta cuando los pequeños propietarios, vecinos a las plantaciones forestales, quedan rodeados por las empresas forestales y deciden dedicar sus tierras a la actividad forestal, producto de la degradación previa de bosque nativo por la extracción de leña. El estudio de Aguayo et al. (2009), en el centro sur de Chile, explica la transformación de bosque nativo en matorrales y, posteriormente, un gran porcentaje de estos últimos en plantaciones forestales. Otras investigaciones atribuyen un gran porcentaje del reemplazo del bosque nativo a las plantaciones forestales directamente (Lara, Solari, Prieto, & Peña, 2012; Nahuelhual et al., 2012).

**Alto-Bajo.** Se refiere a la presencia de polígonos con plantaciones de gran superficie, rodeados significativamente por polígonos de plantaciones vecinas con superficie inferior a la media; es decir, pequeños propietarios que orbitan y deslindan con los grandes propietarios de plantaciones y deciden dedicar su propiedad al uso forestal.

**Sin vecinos.** Al considerar en el análisis solamente los polígonos con plantaciones forestales, se produce una fragmentación territorial, existiendo muchos polígonos de diferente tamaño sin vecindad. Lo anterior está ratificado por el índice de Moran global, que indica un

coinciding with that found by Aguayo et al. (2009). Urban and industrial areas grew at an annual rate of 12.5 %, followed by forest plantations at 2.7 % (Table 1), which is in line with official figures published by CONAF (2011). The grassland-shrubland cover had a negative annual rate (-1.7 %) (Table 1), with its greatest loss in area (4,412 ha) resulting from the establishment of forest plantations (Table 2). Likewise, the native forest cover presented a negative rate; the largest loss of area (2,168 ha) also resulted from forest plantations. The above situations justify the increase in area obtained by the plantations, going from a territorial representation of 23.6 to 28.6 % with a gain of 6,666 ha in the period 2006-2013. Aguayo et al. (2009) studied the dynamics of land-use change, between 1979 and 2000, in two regions neighboring the Los Ríos region. The authors found that the main landscape transformations were due to forestry, agriculture and urban growth. However, the main loss of native forest was attributed to the expansion of forest activity

patrón aleatorio de las plantaciones; asimismo coincide con el estudio de Nahuelhual et al. (2012), quienes mencionan la proliferación de una serie de polígonos fragmentados en diferentes tamaños y distribuidos a través de todo el paisaje.

**Relación no significativa.** Se produce por la presencia de polígonos de plantaciones, donde la variable superficie del polígono no se relaciona significativamente con los valores que presentan sus vecinos. Esto sucede por la fragmentación y la presencia de otros usos como vecindad.

El análisis espacial, utilizando el índice de Moran, es una técnica no usada ampliamente en el ámbito de los recursos naturales; sin embargo, es necesario destacar investigaciones relacionadas con el análisis espacial de los incendios forestales (Ávila-Flores, Pompa-García, & Vargas-Pérez, 2010; Pompa-García, & Hernández-González, 2012) y de los cambios en la cobertura

**Table 1. Area and rate of change of land-use covers between 2006 and 2013 in Mariquina county, Chile.**

**Cuadro 1. Superficie y tasa de cambio de coberturas de uso de suelo entre los años 2006 y 2013 en la comuna de Mariquina, Chile.**

Use type/Tipos de uso	Area 2006/ Superficie 2006		Area 2013/ Superficie 2013		Rate of change/ Tasa de cambio	Loss/ Pérdida	Gain/ Ganancia	Change/ Cambio
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(%)	(ha)	(ha)	(ha)
Urban and industrial areas/ Áreas urbanas e industriales	256	0.2	613	0.5	12.5	0	357	357
Agricultural land/ Terrenos agrícolas	962	0.7	1,108	0.8	2.0	84	230	146
Grasslands and shrublands/ Praderas y matorrales	45,211	34.2	40,182	30.4	-1.7	5,091	61	-5,030
Forest plantations/ Plantaciones forestales	31,242	23.6	37,820	28.6	2.7	88	6,666	6,578
Native forest/Bosque nativo	48,532	36.7	46,481	35.2	-0.6	2,219	169	-2,050
Mixed forest/Bosque mixto	288	0.2	288	0.2	0.0	0	0	0
Wetlands/Humedales	4,484	3.4	4,482	3.4	0.0	2	0	-2
Areas devoid of vegetation/ Áreas desprovistas de vegetación	510	0.4	510	0.4	0.0	0	0	0
Water bodies/ Cuerpos de agua	650	0.5	650	0.5	0.0	0	0	0
Total	132,134	100	132,134	100				

Table 2. Matrix of land-use/cover change between 2006 and 2013 in Mariquina county, Chile.  
Cuadro 2. Matriz de cambio de cobertura de uso del suelo entre los años 2006 y 2013 en la comuna de Mariquina, Chile.

Cover (ha)/ Cobertura (ha)	Year 2013 / Año 2013										Total 2006 (ha)
	Urban areas /Áreas urbanas	Agricultural land/ Terrenos agrícolas	Grasslands and shrublands/ Praderas y matorrales	Forest plantations/ Plantaciones forestales	Native forest/ Bosque nativo	Mixed forest/ Bosque mixto	Wetlands/ Humedales	Areas devoid of vegetation/ Áreas sin vegetación	Water bodies/ Cuerpos de agua		
Urban-industrial areas/ Áreas urbanas- industriales	256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256
Agricultural land/ Terrenos agrícolas	0	878	0	84	0	0	0	0	0	0	962
Grasslands and shrublands/ Praderas y Matorrales	280	230	40,120	4,412	169	0	0	0	0	0	45,211
Forest plantations/ Plantaciones Forestales	75	0	14	31,153	0	0	0	0	0	0	31,242
Native forest/ Bosque nativo	3	0	48	2,168	46,312	0	0	0	0	0	48,532
Mixed forest / Bosque mixto	0	0	0	0	0	288	0	0	0	0	288
Wetlands / Humedales	0	0	0	2	0	0	4,482	0	0	0	4,484
Areas devoid of vegetation/ Áreas sin vegetación	0	0	0	0	0	0	0	510	0	0	510
Water bodies/ Cuerpos de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	650	0	650
Total 2013 (ha)	613	1,108	40,182	37,820	46,481	288	4,482	510	650	650	132,134

Year 2006 / Año 2006



towards the Andean and coastal mountain ranges. The trend of land-use transformations and the direction of change in this paper are also consistent with those found by Vergara, Sandoval, and Miranda (2010) in a study covering the whole Los Ríos region for the period 1998-2007.

## Conclusions

Spatial analysis using statistical techniques, through Moran's index, confirms that the distribution of plantations of exotic species such as *P. radiata* and *Eucalyptus* in an area of southern Chile, and with the presence of a pulp mill, is random. Conglomerates of different shapes and sizes are formed in the interior of the territory, as well as fragments of areas with plantations of different magnitude and without neighbors. The dynamics of change in the period 2006-2013 indicated that forest plantations had the largest increase (6,578 ha) at the expense of the native forest and grassland-shrubland areas. The techniques used in this research generate relevant information for institutions responsible for forest protection and application of legislation. In the future, it is advisable to incorporate systematized spatial analysis techniques, with shorter periods, in order to detect land-use changes early and to stop the degradation of native forests in a timely manner.

## Acknowledgements

The authors are especially grateful to Universidad Austral de Chile's Geomatics Laboratory for allowing the processing of information on the vegetation cover of the studied area, the National Forestry Corporation (CONAF) and Austral University of Chile's Research and Development Department (DID).

*End of English version*

## References / Referencias

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(3), 361-374. doi:10.4067/S0716-078X2009000300004
- Altamirano, A., & Lara, A. (2010). Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 31(1), 53-64. doi: 10.4067/S0717-92002010000100007
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, 27, 93-115. doi:10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x
- Anselin, L. (2003). GeoDa 0.9 User's Guide. Spatial analysis laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL. Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/geoda/software/docs/geoda093.pdf>

vegetal (Rodríguez, Pompa-García, Hernández-Díaz, & Juárez-Reyes, 2010). La matriz de cambio revela que las coberturas de uso de suelo que presentaron mayores transformaciones correspondieron a las áreas urbanas e industriales, plantaciones forestales, terrenos agrícolas y praderas-matorrales, dinámica coincidente con la encontrada por Aguayo et al. (2009). Las áreas urbanas e industriales crecieron a una tasa anual de 12.5 %, seguida por las plantaciones forestales con 2.7 % anual (Cuadro 1), lo cual coincide con lo expresado en las cifras oficiales de CONAF (2011). La cobertura de praderas y matorrales tuvo una tasa anual negativa (-1.7 %) (Cuadro 1), siendo su mayor pérdida en superficie (4,412 ha) derivada del uso de plantaciones forestales (Cuadro 2). La cobertura de bosque nativo presentó de igual forma una tasa negativa; la mayor pérdida de superficie (2,168 ha) también fue derivada de las plantaciones forestales. Las situaciones anteriores justifican el incremento de superficie que obtuvieron las plantaciones, pasando de una representación territorial del 23.6 al 28.6 % con una ganancia de 6,666 ha en el periodo 2006-2013. Aguayo et al. (2009) estudiaron la dinámica del cambio de uso del suelo, entre los años 1979 y 2000, en dos regiones vecinas a la región de los Ríos. Los autores determinaron que las principales transformaciones del paisaje se debieron a la actividad forestal, agropecuaria y al crecimiento urbano; sin embargo, la principal pérdida del bosque nativo la atribuyeron a la expansión de la actividad forestal hacia la cordillera andina y la costera. La tendencia de las transformaciones de uso del suelo y la dirección del cambio en este trabajo también es coincidente con las encontradas por Vergara, Sandoval, y Miranda (2010) en un estudio que abarca toda la Región de los Ríos para el periodo 1998-2007.

## Conclusiones

El análisis espacial utilizando técnicas estadísticas, a través del índice de Moran, ratifica que la distribución de las plantaciones de especies exóticas como *P. radiata* y *Eucalyptus* en una zona al sur de Chile, y con presencia de una planta de celulosa, es aleatoria. Al interior del territorio se forman conglomerados de distinta forma y tamaño, además de fragmentos de superficies con plantaciones de diferente magnitud y sin vecindad. La dinámica del cambio en el periodo 2006-2013 indicó que las plantaciones forestales presentaron el mayor incremento (6,578 ha) en desmedro de la superficie del bosque nativo y praderas-matorrales. Las técnicas usadas en la investigación generan información relevante para las instituciones encargadas de la protección de los bosques y aplicación de la legislación. Es recomendable a futuro, la incorporación de técnicas de análisis espacial sistematizadas, con periodos más cortos, que permitan detectar los cambios de usos de suelo de manera temprana y así detener la degradación de los bosques nativos en forma oportuna.

- Armesto, J., Rozzi, R., Smith-Ramirez, C., & Arroyo, M. (1998). Conservation targets in South American temperate forests. *Science*, 282(5392), 1271-1272. doi: 10.1126/science.282.5392.1271
- Ávila-Flores, D., Pompa-García, M., & Vargas-Pérez, E. (2010). Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 253-260. doi: 10.5154/r.rchscfa.2009.08.028
- Banco Central de Chile. (2015). Indicadores de comercio exterior. Retrieved from <http://si3.bcentral.cl/ESTADISTICAS/Principal1/Informes/SE/COMEX/ice022015.pdf>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF), Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, & Universidad Católica de Temuco. (1999). Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Retrieved from [http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/10656/CONAF\\_BD\\_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/10656/CONAF_BD_21.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de los Lagos. (1998). Resolución exenta N° 279/98 del 30 de octubre de 1998 califica favorablemente el proyecto "Valdivia" de Celulosa Arauco y Constitución S. A. Retrieved from [http://www.sinia.cl/1292/articles-35170\\_RCA\\_RioCruces.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-35170_RCA_RioCruces.pdf)
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2008). Catastro de uso del suelo y vegetación. Monitoreo y actualización Región de los Ríos 1998-2006. Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2011). Catastro de los recursos vegetacionales de Chile. Informe nacional. Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura. Consultado 4 de Julio de 2016. Retrieved from [http://www.plataformacaldera.cl/biblioteca/589/articles-66336\\_documento.pdf](http://www.plataformacaldera.cl/biblioteca/589/articles-66336_documento.pdf)
- [http://sit.conaf.cl/tmp/obj\\_490972/171\\_Catastro\\_de\\_los\\_Recursos\\_Vegetacionales\\_1997-2011\\_.pdf](http://sit.conaf.cl/tmp/obj_490972/171_Catastro_de_los_Recursos_Vegetacionales_1997-2011_.pdf)
- Donoso, P., & Otero, L. (2005). Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile? *Bosque (Valdivia)*, 26(3), 5-18. doi: 10.4067/S0717-92002005000300002
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2016). ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. Retrieved August 1, 2016 from <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/#/na/0066000000p000000/>
- Etienne M., & Prado, C. (1982). Descripción de la vegetación mediante la Carta de Ocupación de Tierras. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. Agrarias y Forestales.
- González, M., Lara, A. Urrutia, R., & Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33° - 42° S). *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 215-219. doi: 10.4067/S0717-92002011000300002.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2002). Boletín estadístico: Estadísticas de Chile. Santiago, Chile: Autor.
- ## Agradecimientos
- Los autores agradecen en forma especial al Laboratorio de Geomática de la Universidad Austral de Chile por permitir procesar la información de las coberturas vegetativas de la zona estudiada, a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y también a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DID) de la Universidad Austral de Chile.
- Fin de la versión en español*
- 
- Langdon, B., Pauchard, A., & Aguayo, M. (2010). *Pinus contorta* invasion in the Chilean Patagonia: Local patterns in a global context. *Biological Invasions*, 12(12), 3961-3971. doi: 10.1007/s10530-010-9817-5
- Lara, A., Solari, M. E., Prieto, M. D. R., & Peña, M. P. (2012). Reconstrucción de la cobertura de la vegetación y uso del suelo hacia 1550 y sus cambios a 2007 en la ecorregión de los bosques valdivianos lluviosos de Chile (35° - 43° 30' S). *Bosque (Valdivia)*, 33(1), 13-23. doi: 10.4067/S0717-92002012000100002
- Moran, P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23. doi:10.1093/biomet/37.1-2.17
- Nahuelhual, L., Carmona, A., Lara, A., Echeverría, C., & González, M. (2012). Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. *Landscape and Urban Planning*, 107(1), 12-20. doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.04.006
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) & Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2005). *Evaluación del desempeño ambiental en Chile*. Santiago, Chile: Autor. Retrieved from [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1288/S0500003\\_es.pdf?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1288/S0500003_es.pdf?sequence=1)
- Pearson, K. (1896). Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity, and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 187, 253-318. doi: 10.1098/rsta.1896.0007
- Pompa-García, M., & Hernández-González, P. (2012). Determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para monitorear los incendios forestales en Durango, México. *Bosque (Valdivia)*, 33(1), 63-68. doi:10.4067/S0717-92002012000100007
- Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1), 593-596. doi: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3
- Rodríguez, F., Pompa-García, M., Hernández-Díaz, C., & Juárez-Reyes, A. (2010). Patrón de distribución espacial de la pérdida, degradación y recuperación vegetal en Durango, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(1), 53-65. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83716113004>

- Sandoval, V. (2008). *Manual de operaciones en terreno, monitoreo del uso del suelo en Chile*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Sarasola, M., Rusch, V., Schlichter T., & Ghera, C. (2006). Invasión de coníferas forestales en áreas de estepa y bosques de ciprés de la cordillera en la Región Andino Patagónica. *Ecología austral*, 16, 143-156. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v16n2/v16n2a06.pdf>
- Smith-Ramírez, C. (2004). The Chilean coastal range: A vanishing center of biodiversity and endemism in South American temperate rainforests. *Biodiversity & Conservation*, 13(2), 373-393. doi:10.1023/B:BIOC.0000006505.67560.9f
- Van Holt, T., Binford, M., Portier, K., & Vergara, R. (2016). A stand of trees does not a forest make: Tree plantations and forest transitions. *Land Use Policy*, 56, 147-157. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.04.015
- Vergara, G., & Sandoval, V. (2010). *Manual del usuario del sistema de actualización del monitoreo nacional del uso del suelo en Chile*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Vergara, G., Sandoval, V., & Miranda, J. C. (2010). Indicadores territoriales: ¿Degradación del patrimonio natural turístico en la Región de los Ríos? periodo 1998-2007. *Gestión turística (Valdivia)*, 14, 55-68. doi: 10.4206/gest.tur.2010.n14-04
- Wilson, K., Newton, A., Echeverría, C., Weston, C., & Burgman, M. (2005). A vulnerability analysis of the temperate forests of south central Chile. *Biological Conservation*, 122(1), 9-21. doi: 10.1016/j.biocon.2004.06.015