APTITUD FORESTAL

DE LA PROVINCIA

DE SAN LUIS*

- 2006 -

* Trabajo realizado mediante Convenio de Cooperación Técnica entre el INTA E.E.A. San Luis y el Gobierno de la provincia de San Luis.

EDITORES:

ECHEVERRÍA, J. C.

JOBBAGY, E. G.

COLLADO, A. D.

LISTA DE AUTORES:

BALLESTEROS, S.I. [(1)]

BERTÓN, J. A [(2)]

COLLADO, A. D. [(3)]

ECHEVERRÍA, J. C [(3)]

d'HIRIART, A. [(3)]

GIULIETTI, J. D. [(3)]

GÓMEZ, M. M. [(4)]

GÓMEZ HERMIDA, V. F. [(3)]

JOBBAGY, E. G. [(1)]

NOSETTO, M. D. [(1)]

(1) Grupo de Estudios Ambientales – Universidad Nacional de San Luis y CONICET. Av. Ej de los Andes 950. (5700) San Luis

(2) Guemes s / nº Barrio Villa Lujan. (5889) Mina Clavero, Cordoba

(3) INTA. Estación Experimental Agropecuaria San Luis. Ruta 7 y 8. (5730) V. Mercedes, San Luis.

(4) Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales. U.N.S.L. 25 de Mayo 384. (5730) V. Mercedes, San Luis.

PRÓLOGO

Este trabajo responde a una iniciativa provincial en un esfuerzo por orientar sus políticas de la tierra basándose en la mejor información disponible, transitando de esta manera los primeros pasos en busca del crecimiento de la actividad forestal de San Luis.

Surge como resultado de una necesidad real y se ve fortalecido por la cooperación interinstitucional, a través del Convenio de Cooperación Técnica que le dio origen, e interdisciplinaria representada por las especialidades de los autores.

Aquí se integran los datos preexistentes con el conocimiento generado por el equipo de trabajo en una secuencia orientada a la aplicación, conformando una herramienta para los tomadores de decisiones, constituyéndose en el primer antecedente importante sobre el tema en la provincia y en una guía de referencia capaz de hacer más eficientes y sustentables los esfuerzos e inversiones de los productores.

El documento se divide en dos partes principales. En la primera se reúnen los datos necesarios y generañ los nuevos conocimientos útiles para la confección de los mapas de aptitud de un grupo importante de especies forestales para todo el territorio provincial. En la segunda se presenta información útil para el desarrollo de iniciativas forestales exitosas y sustentables en San Luis.

Son destacables y meritorios la demanda y el apoyo económico brindado por el Gobierno de San Luis para el desarrollo de este trabajo en pos de la mejor planificación de las políticas del sector.

LOS AUTORES

AGRADECIMIENTOS

Al Ing Bidogia presidente del Consorcio de Regantes de Quines, al departamento de climatología del Colegio N° 32 de San Miguel, al Ing. Guillermo Casagrande climatólogo del INTA EEA Guillermo Covas, al Ing Alberto Belgrano Rawson, coordinador del proyecto Cambio Rural del INTA, y al Ing. Pablo Mestre, funcionario del gobierno de la provincia de San Luis, y a la Dra. Alicia Bañuelos por facilitar los datos de precipitaciones y temperaturas.

Al Analista de sistemas Carlos A. Bonzano por la impresión de los mapas en escala 1:100000.

A la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (C.O.N.A.E) por las imágenes utilizadas.

A las siguientes personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización del siguiente trabajo: Sr. Eduardo Hrabina, Dra. Alicia Bañuelos, Ing. Mario Aguirre e Ing. Stella Bogino.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN
E. G. Jobbagy; J.C. Echeverría 9

II. CARTOGRAFÍA DE VARIABLES AMBIENTALES

Precipitación media anual
J.C. Echeverría; Giulietti J.D..... 11

Recopilación y procesamiento de datos..... 11
Isohietas..... 12

Temperatura del aire
J.C. Echeverría; J.A. Bertón..... 13

Temperatura media del mes más cálido..... 15
Temperatura media del mes más frío..... 17
Temperatura máxima media del mes más cálido. 19
Temperatura mínima media del mes más frío..... 19
Temperatura mínima absoluta..... 21

Permeabilidad y salinidad de los suelos
J.C. Echeverría; A. d'Hiriart..... 23

Ambientes de la zona serrana
M. D. Nosetto; S.I. Ballesteros; E. G. Jobbagy..... 26

Disponibilidad y calidad del agua con fines forestales
A.D. Collado; V. F. Gómez Hermida 29

Introducción..... 29
Cubetas de deflación..... 30
Materiales y métodos..... 30
Aptitud del agua subterránea para riego..... 31
Conclusiones..... 33

Referencias..... 34

III. REQUERIMIENTOS DE LAS ESPECIES
E.G. Jobbagy; M. M. Gómez; V.F. Gómez Hermida; M.D. Nosetto; J. C. Echeverría

Introducción..... 36

Observaciones..... 36
Resultados..... 38
Referencias..... 40

IV. APTITUD FORESTAL DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS
J.C. Echeverría; E.G. Jobbagy; M.M. Gómez; A.D. Collado; M.D. Nosetto; V.F. Gómez Hermida.

Consideraciones generales..... 41
Consideraciones específicas..... 42
Referencias..... 58
Mapas en escala 1:250 000..... 59

Eucaliptus camaldulensis; Eucaliptus viminalis; Robinia pseudoacacia; Populus deltoides..... 60

Pinus elliottii; Pinus taeda; Pinus radiata; Pinus halepensis; Pinus ponderosa; Pinus pinaster; Pinus pinea..... 61

Mapas en escala 1:100 000..... 62

Pinus elliottii; Pinus taeda; Pinus radiata; Pinus halepensis; Pinus ponderosa; Pinus pinaster y P. pinea; Eucaliptus camaldulensis; Eucaliptus viminalis; Robinia pseudoacacia; Populus deltoides..... 63

V. ESPECIES NATIVAS CON APTITUD FORESTAL
M. M. Gómez; A.D. Collado; E.G. Jobbagy; V.F. Gómez Hermida.

Introducción..... 64
Especies recomendadas..... 65
Consideraciones finales..... 70
Referencias..... 72

VI. AREAS CLIMÁTICAMENTE SIMILARES A SAN LUIS
E.G. Jobbagy; M.D. Nosetto

Importancia y criterios..... 74
Resultados..... 76
Referencias..... 81

VII. IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FORESTACIÓN
A.D. Collado; J.A. Bertón

Introducción..... 82
Impactos positivos..... 82
Impactos negativos..... 83

Riesgo de impactos por forestación en San Luis..... 87
Conclusiones..... 88
Referencias..... 89

VIII. CAMBIO CLIMÁTICO
J.A. Bertón; J.C. Echeverría; E.G. Jobbagy

Introducción..... 92
Temperatura..... 93
Precipitación..... 94
Escenarios de cambio climático global..... 95
Cambio climático local..... 99
Escenarios forestales para la provincia de San Luis..... 100
Referencias..... 103

IX. SECUESTRO DE CARBONO
E.G Jobbagy; M. D. Nosetto

Introducción..... 104
Secuestro de carbono en plantaciones de pino ponderosa..... 105
Secuestro de carbono en San Luis..... 106
Referencias..... 107

X. PROPUESTAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
E.G. Jobbagy..... 108

XI. ANEXO FOTOGRAFICO
M. M. Gómez; V.F. Gómez Hermida..... A-1

I. INTRODUCCIÓN

E.G Jobbagy; J.C. Echeverría

El establecimiento de cultivos perennes de larga vida como las plantaciones forestales requiere un cuidadoso análisis de las condiciones ambientales del territorio elegido para ejecutarlas. La posible aproximación de "prueba y error", algunas veces implementada para cultivos anuales nuevos en una zona, se vuelve extremadamente riesgosa y lenta en el caso de cultivos de tan largo ciclo como los forestales. Ante esta situación resulta imprescindible plantear un esquema ordenador de la tierra que identifique con cierto margen de seguridad (y con un inevitable grado de incertidumbre) áreas en las que la supervivencia y el crecimiento satisfactorio de las especies arbóreas de interés tengan altas probabilidades de cumplirse.

La provincia de San Luis presenta a la vez interesantes posibilidades y complejos desafíos para la producción forestal. Las posibilidades más notables se relacionan a la presencia de grandes extensiones de tierra ocupadas por vegetación natural (pastizales, arbustales, savanas) que sin poseer condiciones para el uso agrícola, podrían sostener producción de cultivos forestales. Este tipo de tierras, típicamente destinadas a uso ganadero en nuestro país y vecinos como Uruguay, Chile y Brasil, son las que verifican el máximo aumento de la superficie forestada en la actualidad, especialmente donde la agricultura es impracticable por limitaciones edáficas pero el aporte de precipitación suficiente para lograr alta producción primaria. En estas tierras la alterativa forestal aporta diversidad y nuevas posibilidades productivas a los esquemas ganaderos extensivos que han prevalecido en ellas hasta hoy.

En la provincia de San Luis existen ambientes de este tipo si bien las precipitaciones son menores a las de los núcleos de expansión forestal más importantes de la región. Los desafíos principales para la producción forestal en San Luis son justamente, la aridez, sumada a la escasez de antecedentes previos o modelos forestales exitosos a nivel local y al desarrollo todavía incipiente tecnologías para la producción forestal en condiciones semiáridas a nivel global. Es importante destacar aquí que anteriores iniciativas provinciales sumadas al esfuerzo y motivación de forestadores locales y de provincias vecinas han instalado la temática forestal en San Luis hace ya años, generando las primeras experiencias. La labor de Carlos Fernandez, quien estableció las primera parcelas forestales de la provincia y de los Ingenieros Aldo Rudy y Juan Lenardón, responsables del diseño de las primeras plantaciones, se destacan en este comienzo forestal que deberá nutrirse de experiencias pasadas para ofrecer esquemas productivos exitosos, sustentables y útiles a toda la sociedad puntana.

Los mapas de aptitud forestal presentados aquí buscan definir la posibilidad de establecer exitosamente plantaciones forestales comerciales en el

territorio de la provincia de San Luis. En el análisis se ha contemplado la totalidad del territorio provincial y se han considerado las especies arbóreas más corrientes en el ámbito de la producción forestal del país, principalmente pinos y eucaliptos. Así mismo, se plantean en secciones subsiguientes alternativas forestales que involucran especies nativas o exóticas menos corrientes o ensayadas pero con posibilidades promisorias en San Luis.

La definición de áreas de aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales se basa en la confrontación de la información ambiental del territorio considerado contra los datos acerca de los requerimientos ambientales del conjunto de especies evaluadas. Esta confrontación requiere la identificación de variables relevantes desde el punto de vista biológico y a la vez capaces de ser medidas o estimadas y mapeadas en el territorio. Las siguientes páginas detallan los pasos seguidos en la elección y mapeo de las variables ambientales (sección II) y en la definición de los requerimientos de las especies (sección III). A continuación se describen los resultados de este análisis, presentándose mapas de aptitud (sección IV) e información adicional para el soporte de la toma de decisiones forestales desde el ámbito de la gestión pública y privada (secciones V a X).

II. CARTOGRAFIA DE VARIABLES AMBIENTALES

Precipitación media anual

J.C. Echeverría; J.D. Giulietti

El adecuado conocimiento de las precipitaciones en una región es una de las variables climáticas más importantes al momento de realizar recomendaciones sobre las probabilidades de éxito de un cultivo. Seguidamente se describe el tipo y fuente de datos y metodologia aplicada para la geneción de la cartografía de las isohietas de la provincia San Luis, en una escala compatible con los mapas de aptitud forestal generados en el presente trabajo (capítulo IV).

Recopilación y procesamiento de datos

Se recopilarorn los datos de precipitaciones de aproximadamente 200 localidades ubicadas dentro y fuera de la provincia a partir de diversas fuentes de información (establecimientos agropecuarios, Gobierno de la provincia de San Luis, INTA y Servicio Meteorológico Nacional).

Se seleccionaron 114 sitios con 20 o más años de registros cada uno, para el período 1960 y 1999, excepto en siete localidades del noroeste de la provincia que, aunque no cumplieron este requisito, se incluyeron debido a la carencia de datos suficientes en dicha zona (figura II1).

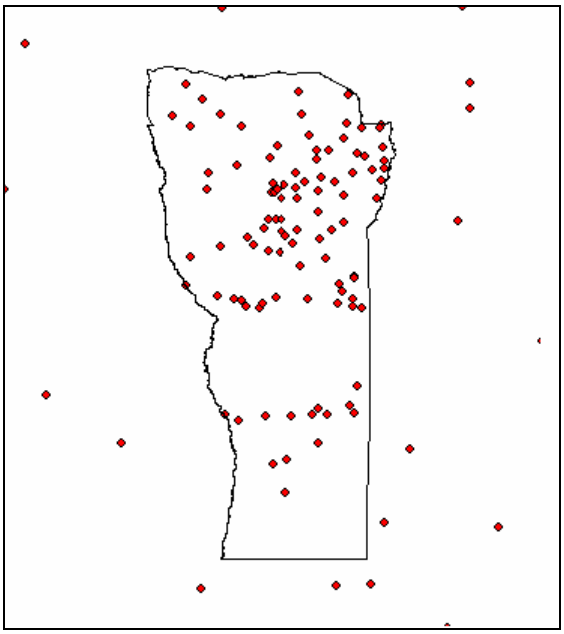


Figura II.1: Estaciones pluviométricas utilizadas para la elaboración de las isohietas.

Debido a la tendencia creciente de la precipitación media anual de la región (ver sección VIII), posiblemente a consecuencia del cambio climático global, y puesto que la cantidad de años con registros en cada sitio era variable (entre 20 y 40), se corrigieron las series de datos de cada estación de acuerdo con la tendencia media del conjunto.

Para los sitios con menos de 40 años de registros se calculó la precipitación media más probable (considerando la citada tendencia) en cada uno de los años faltantes, hasta completar el número total de 40. La media estimada para cada sitio y año se calculó con la siguiente ecuación:

$$Mn = Mo + (0.009140924881 * Mv * Año)$$

donde:

Mn: Promedio estimado para el año.

Mv: Promedio de la serie de datos observadas

0.009140924881: Proporción de incremento anual del promedio de precipitaciones para el conjunto de sitios (para todos los años observados. Es igual a 5.4726 / 598.69215; (Coeficiente de regresión / media conjunto de datos observados). .

Año: Distancia en años a partir de la media del período 1960-99 (media del eje X). Para 1979 = -0.5 y para 1980 = +0.5. Del mismo modo para 1960 = -19.5 y para 1999 = +19.5.

De esta forma, para cada sitio se obtuvo un promedio para cada uno de los 40 años del período. Veinte o más años correspondientes a observaciones y los restantes procedentes de los promedios anuales estimados con la ecuación anterior, como se ejemplifica en el sitio Dos Hermanos (figura II.2).

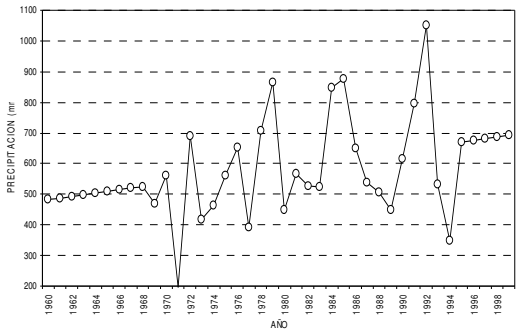


Figura II.2: Precipitación media anual observada y estimada para los años sin datos en el sitio "Dos Hermanos".

Isohietas

El mapa de isohietas (figura II.4.) se confeccionó a partir de los datos corregidos representativos del período 1960-1999 utilizando geoestadística y kriging ajustando un modelo teórico Lineal, que describió el 97.8 % de la variablidad total, que presentaba los siguientes parámetros: Varianza al azar= 1000; Varianza máxima= 47500 y Alcance= 250000. (figura II.3).

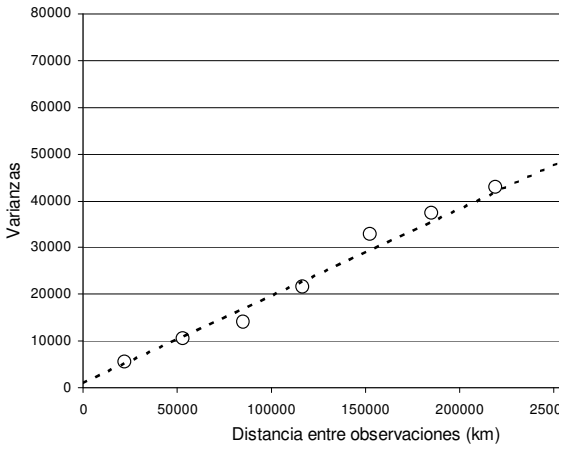


Figura II.3: Variograma empírico (puntos) y teórico (línea) de las precipitaciones de la provincia de San Luis para el período 1960-99.

Las isohietas resultantes presentas una tendencia decreciente de este a oeste, en especial en la mitad sur de la provincia y de sudeste a noroeste en la mitad norte de la misma, variando desde los 675 mm hasta los 225 mm, aproximadamente. En las sierras centrales las isohietas son cerradas en relación directa con la altitud, concordando con la distribución general de las mismas calculadas para un período anterior (1921-1950) (SMN, 1960) aunque con valores superiores.

Temperatura del aire

J.C. Echeverria; J.A. Bertón

Las temperaturas extremas al igual que la duración de los períodos desfavorables para determinada especie son factores decisivos en el éxito o fracaso de una forestación.

Al igual que con las isohietas, las isotermas fueron elaboradas a partir de datos puntuales, en este caso tomados de los anales del Servicio Meteorológico Nacional (período 1951-90) (S.M.N.,1972; 1981; 1986; 1992) y de la estación Quines (período 1998-2003), que aunque contaba solamente con seis años de registros, se incluyó en el análisis por su estratégica ubicación geográfica.

Se seleccionaron 16 estaciones en total de las cuales tres estaban ubicadas en la provincia (San Luis, Villa Mercedes y Quines). Su disposición espacial se presenta en la figura II.5

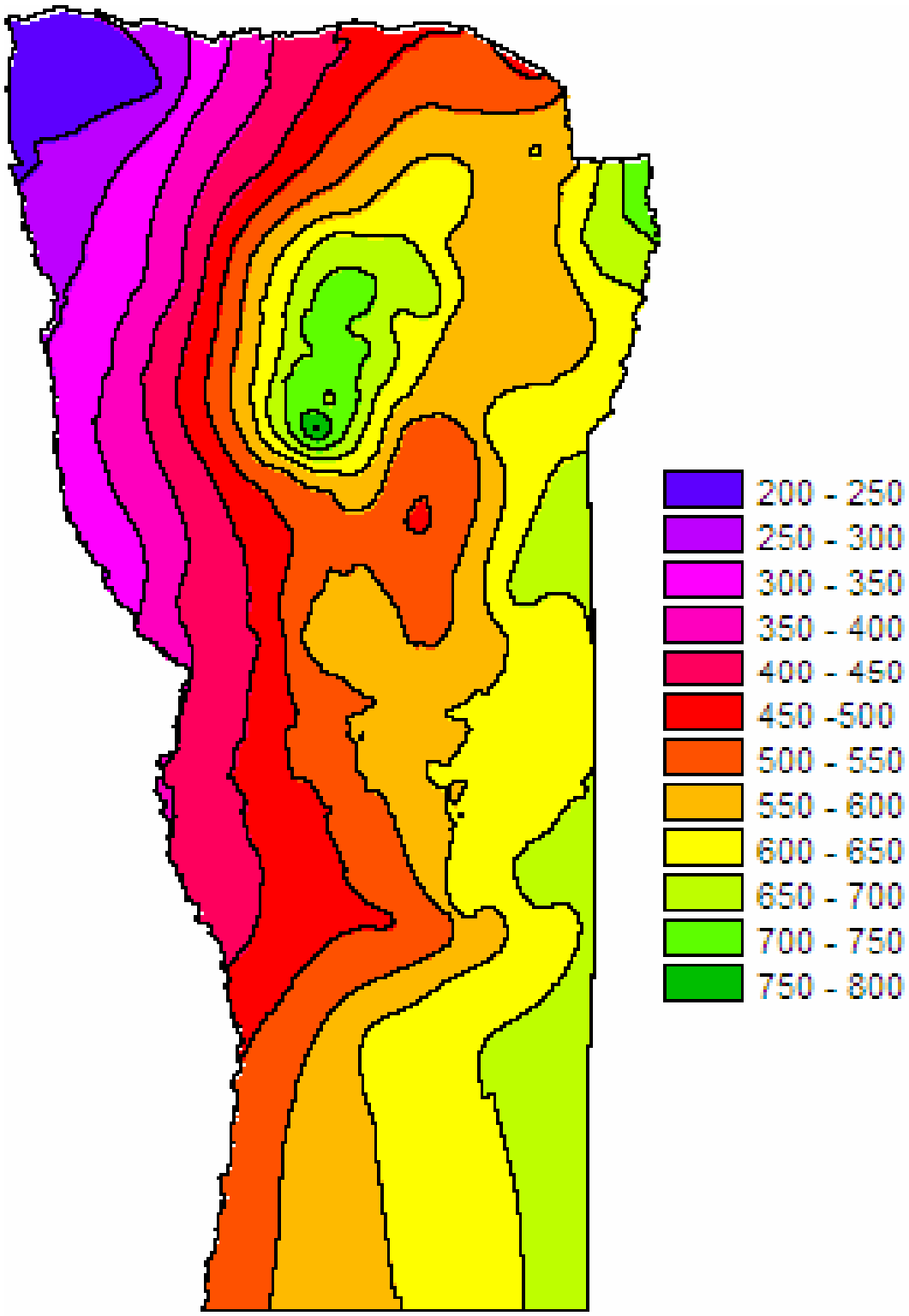


Figura II.4.: Precipitación media anual (mm) en San Luis (1960-1999)

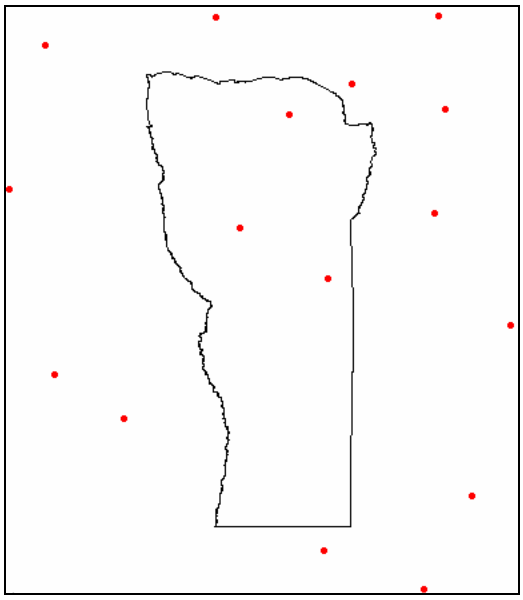


Figura II.5.: Estaciones meteorológicas utilizadas para la elaboración del mapa de isotermas

Temperatura media del mes más cálido

La temperatura registrada en cabina, correspondiente al mes de enero, se redujo a su equivalente al nivel del mar aplicando un factor de corrección de 0.66 por cada 100 metros de altitud (De Fina, 1976). La estructura espacial de la variable se modeló matemáticamente con geoestadística capturando el 100% de la variabilidad total. Mediante la técnica de krigado la temperatura se interpoló sobre todo el territorio provincial.

El producto de la interpolación fue restituido a las temperaturas correspondientes a las altitudes reales aplicando el gradiente citado precedentemente a partir de un modelo digital del terreno (MDT) con una resolución horizontal de 80 x 80 m y 16 m de resolución vertical (figura II.6).

En la figura II.7 se presenta el variograma teórico (modelo lineal base para la interpolación, cuyos parámetros son: Varianza al azar= 0; Varianza máxima= 4.75; Alcance= 450000) y el variograma empírico confeccionado a partir de los datos.

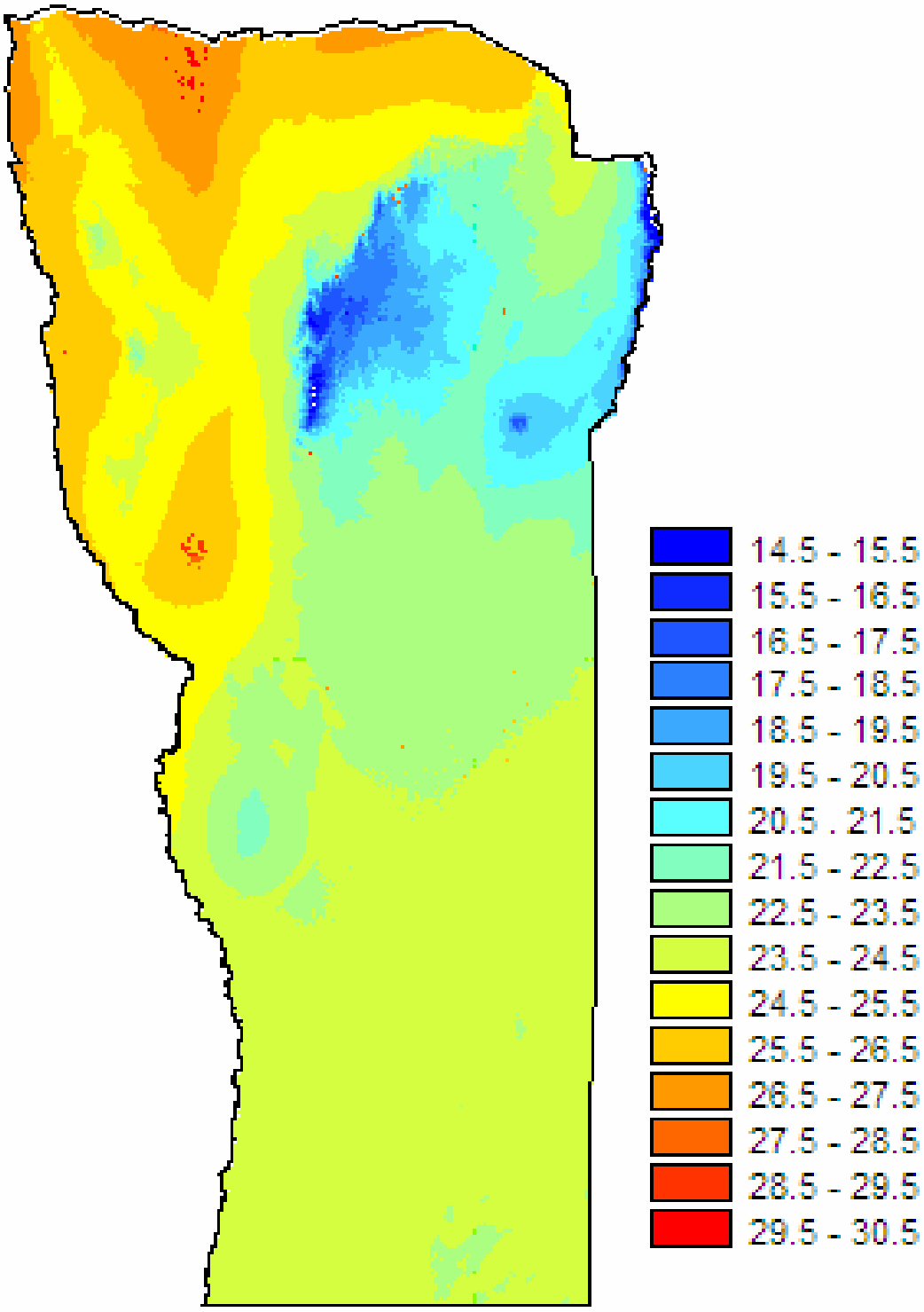


Figura II.6: Temperatura media del mes de enero (°C) en San Luis (1951-90)

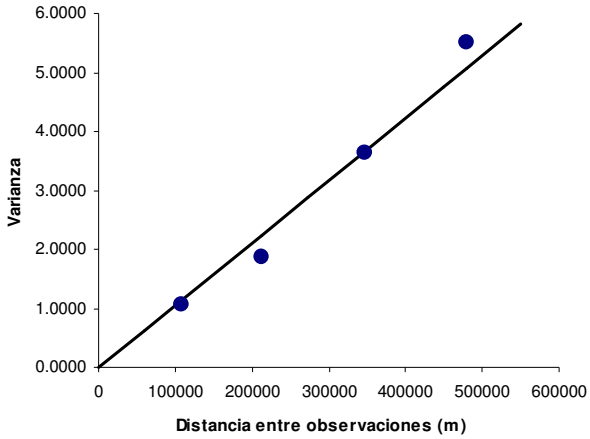


Figura II.7: Variograma empírico (puntos) y teórico (línea) de la temperatura media de enero a nivel del mar (período 1951-90)

Temperatura media del mes más frío

El mapa de temperatura media del mes más frío (figura II.9) fue elaborado utilizando los datos correspondientes al mes de julio procedentes de las mismas estaciones meteorológicas y aplicando la misma metodología de análisis que las utilizadas para el punto anterior. El factor de corrección por altitud fue 0.18 grados de temperatura por cada 100 metros de altitud (De Fina 1976).

El variograma empírico de la temperatura de julio a nivel del mar se presenta en la figura II.8. Se ajustó un modelo lineal con los siguientes parámetros: Varianza al azar= 0; Varianza máxima=2.5; Alcance= 450000 capturando el 100 % de la variabilidad.

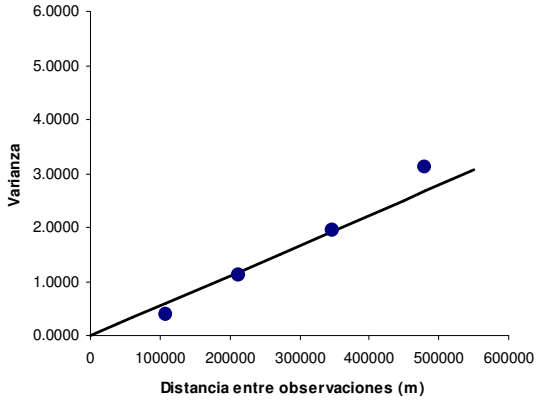


Figura II.8: Variograma empírico (puntos) y teórico (línea) de la temperatura media de julio a nivel del mar (período 1951-90)

El mapa producto de la interpolación fue restituido a los valores correspondientes a las altitudes reales con el mismo gradiente citado utilizando el MDT precedentemente mencionado obteniéndose el mapa objetivo.

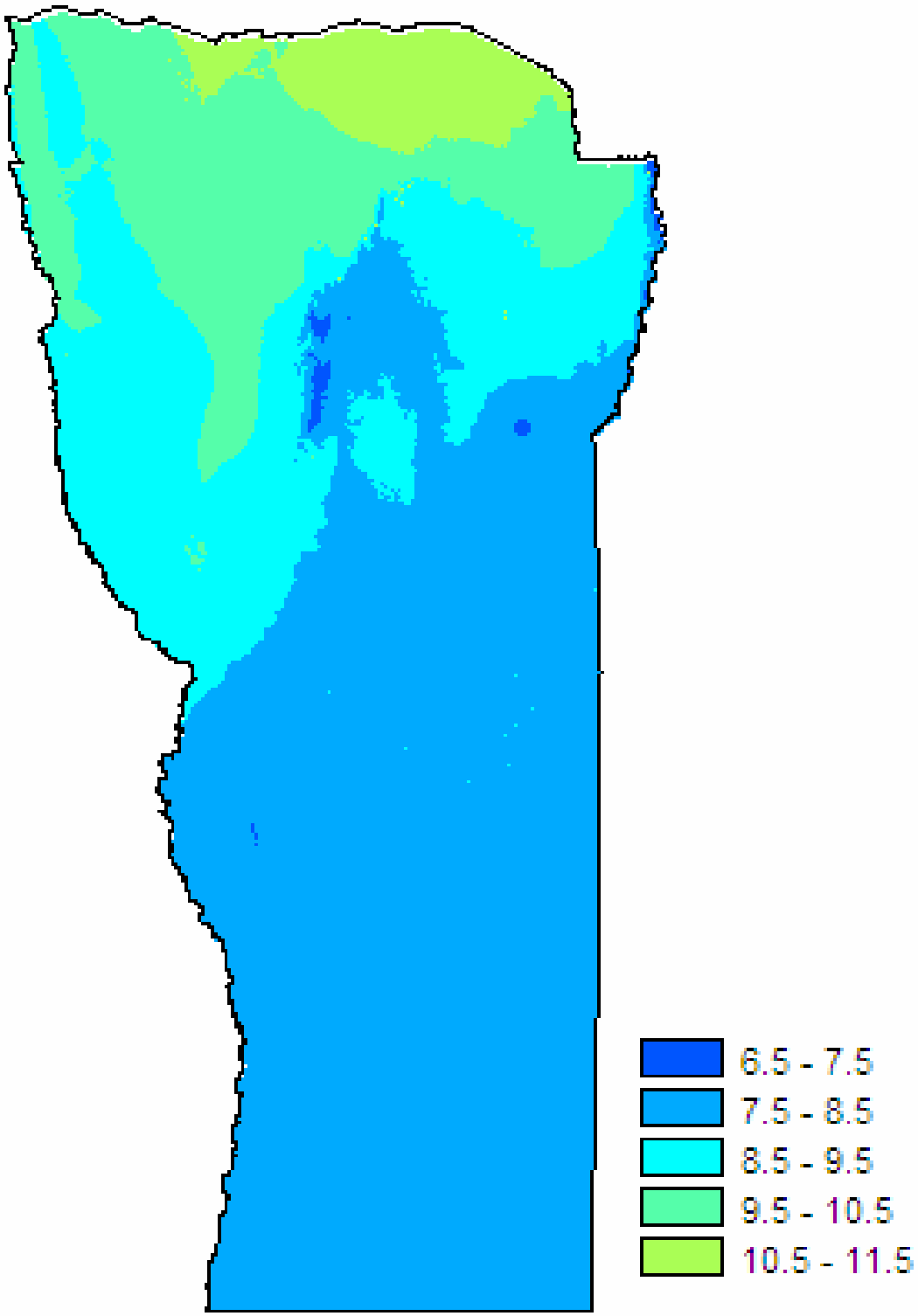


Figura II.9. Temperatura media del mes de julio (°C) en San Luis (1951-90)

Temperatura máxima media del mes más cálido

Aplicando las mismas fuentes de datos y metodología de análisis que las utilizadas para el cálculo de las isotermas anteriores, se confeccionó el mapa de temperatura máxima media del mes de enero (figura II.11). El factor de corrección por altitud aplicado fue 0.66 (De Fina, 1976).

El Variograma empírico de la temperatura a nivel del mar se presenta en la figura II.10. El modelo ajustado, empleado para realizar la interpolación con kriging, fue Lineal con los siguientes parámetros: Varianza al azar= 0.6; Varianza máxima=4.3; Alcance= 450000 capturando el 86 % de la variabilidad total de la variable.

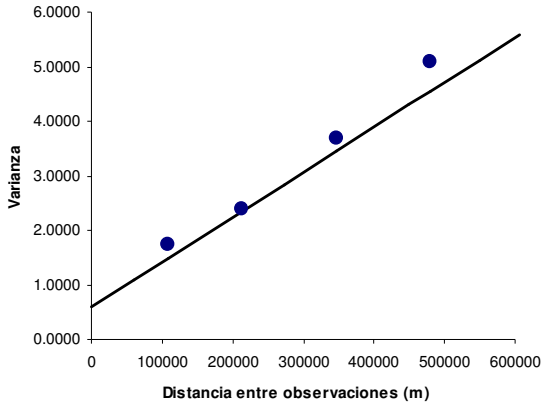


Figura II.10: Variograma empírico (puntos) y teórico (línea) de la temperatura máxima media de enero a nivel del mar (período 1951-90)

Al igual que en los casos anteriores el mapa producto de la interpolación fue restituido a los valores correspondientes a las altitudes reales con el mismo gradiente citado (0.66 grados de temperatura por cada 100 m de altitud) obteniendo el mapa definitivo de la temperatura máxima media del mes de enero (figura II.11).

Temperatura mínima media del mes más frío

Utilizando las mismas fuentes de datos y aplicando la misma metodología de análisis que para el cálculo de las isotermas anteriores, se confeccionó el mapa de temperatura mínima media del mes de julio (figura II.13). El factor de corrección por altitud aplicado fue 0.18 (De Fina, 1976).

El Variograma empírico de la temperatura a nivel del mar se presenta en la figura II.12. El modelo ajustado y empleado para realizar la interpolación, con kriging, fue un esférico con los siguientes parámetros: Varianza al azar= 0.30; Varianza máxima= 2.550; Alcance= 450000 capturando el 88 % de la variabilidad total de la variable.

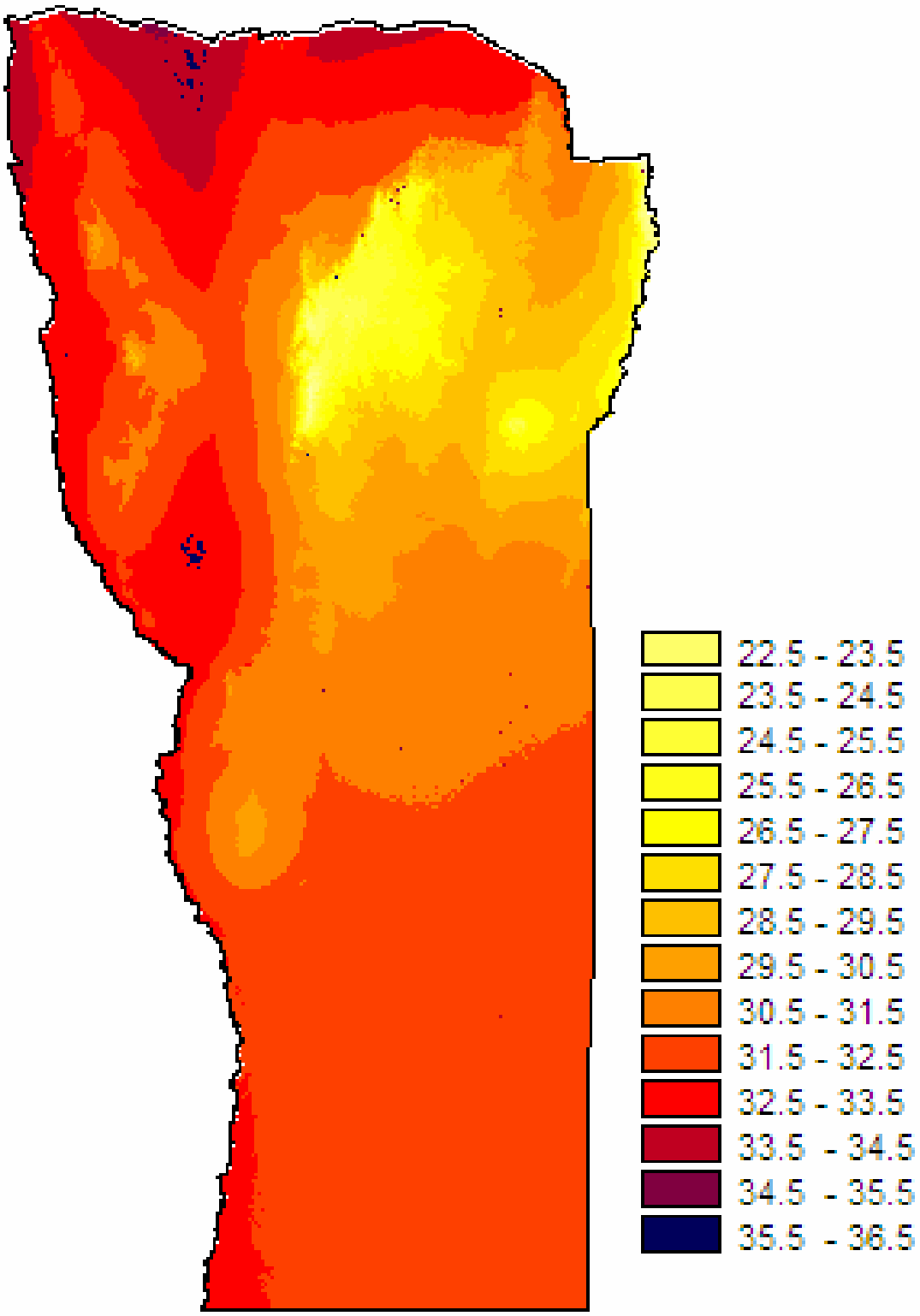


Figura II.11. Temperatura máxima media del mes de enero (°C) en San Luis (1951-90)

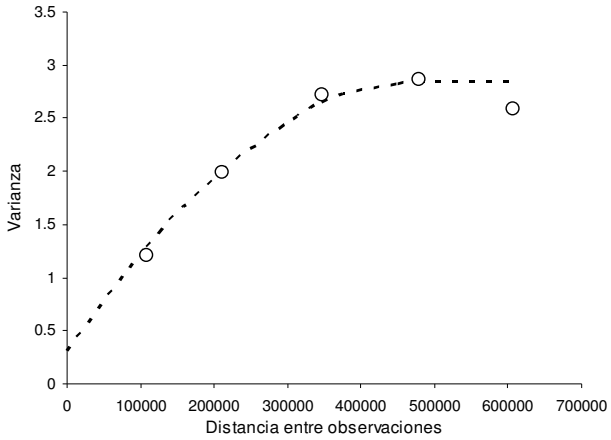


Figura II.12: Variograma empírico (puntos) y teórico (línea) de la temperatura mínima media del mes de julio a nivel del mar (período 1951-90).

El mapa de temperaturas (a nivel del mar) resultante del procesamiento con kriging fue restituido a su verdadero valor, en cada una de las coordenadas del mapa, mediante el mismo factor de corrección citado precedentemente (0.18 grados de temperatura por cada 100 m de altitud) y MDT precedentemente mencionado. El producto, mapa de la temperatura media del mes de julio, se presenta en la figura II.13.

Temperatura mínima absoluta

El mapa de la temperatura mínima absoluta se confeccionó utilizando las mismas fuentes de datos y aplicando la misma metodología de análisis que para el cálculo de las isotermas anteriores. El factor de corrección por altitud aplicado fue 0.18 (De Fina, 1976).

El Variograma empírico de la temperatura a nivel del mar se presenta en la figura II.14. El modelo ajustado y empleado para realizar la interpolación, con kriging, fue gaussiano con los siguientes parámetros: Varianza al azar= 0; Varianza máxima= 6; Alcance= 220000 capturando el 100 % de la variabilidad total de la variable.

El mapa producto de la interpolación fue restablecido a los valores correspondientes a las altitudes reales con el mismo gradiente citado (0.18 grados de temperatura por cada 100 m de altitud) utilizando el MDT antes citado obteniendo el mapa objetivo (figura II.15).

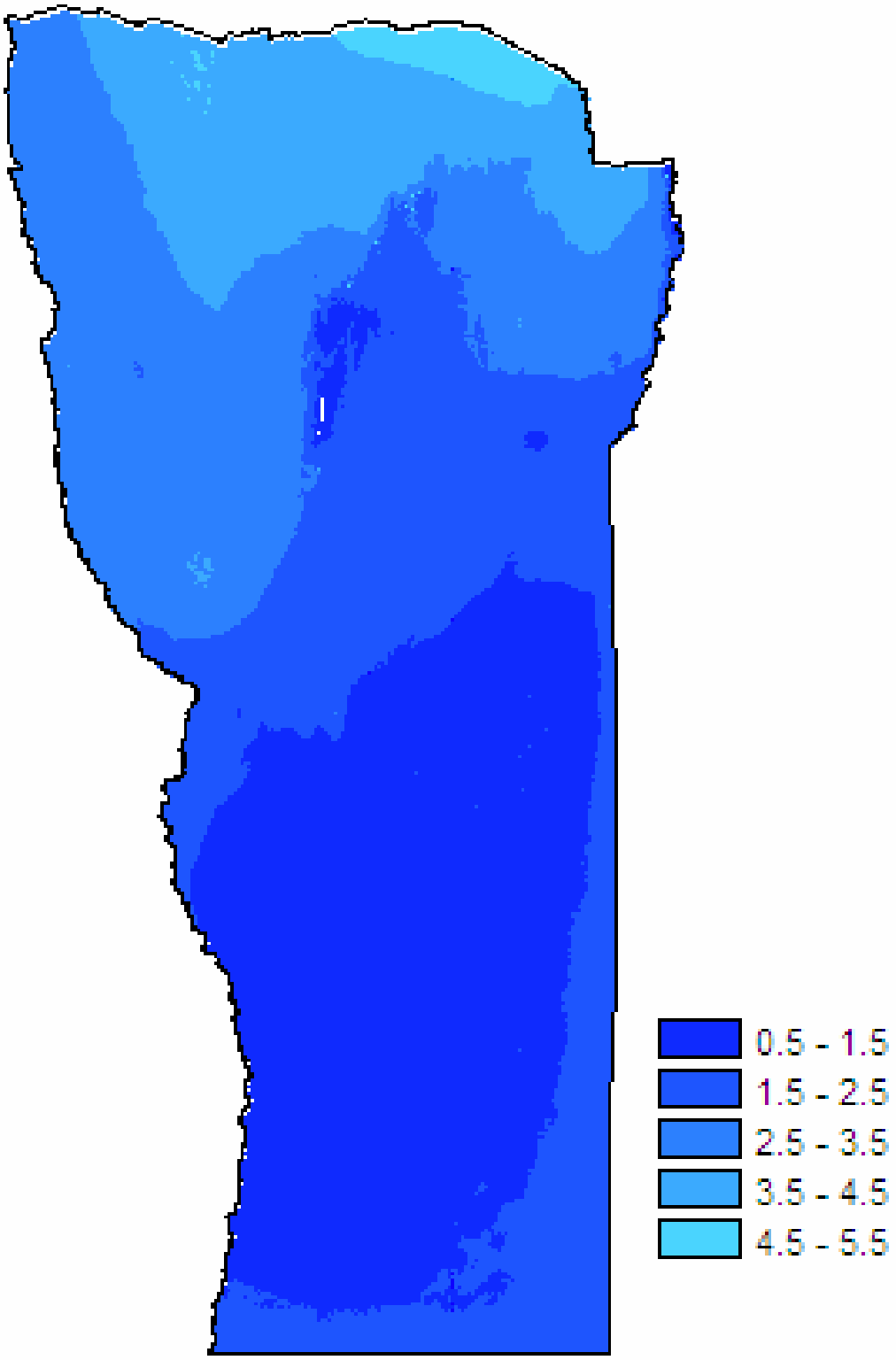


Figura II.13. Temperatura mínima media del mes de julio (°C) en San Luis (1951-90)

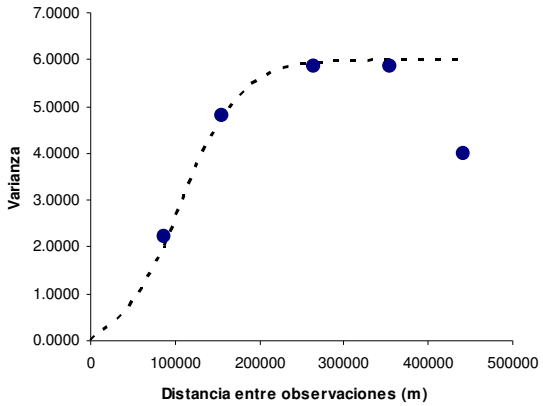


Figura II.14: Variograma empírico (puntos) y teórico (línea) de la temperatura mínima absoluta a nivel del mar (período 1951-90)

Permeabilidad y salinidad de los suelos

J.C. Echeverría; A. d'Hiriart

La permeabilidad, si bien es una característica deseable en la generalidad de los casos, en las regiones semiáridas la excesiva permeabilidd se constituye en una característica limitante para la retención de la escasa humedad proveniente de las precipitaciones. Esta variable se constituyó en el único factor condicionante de las plantaciones de Eucaliptos en el sur este de la provincia donde predominan los suelos arenosos en particular los de la serie Anchorena y Nahuel Mapa (Peña Zubiate, d'Hiriart, 1992 b) que fueron considerados inaptos para Eucaliptus spp.

La salinidad de los suelos es otro de los factores condicionantes del desarrollo de gran parte de las especies vegetales. El mapa de esta variable (figura II.16) se realizó utilizando la base de datos gráfica de las cartas de suelos (INTA. l99l; Peña Zubiate y d'Hiriart, l992 a; Peña Zubiate, y d'Hiriart, 1992b; Peña Zubiate y d'Hiriart, 2000; Peña Zubiate y d'Hiriart, 2005 (en prensa); Peña Zubiate y d'Hiriart, (Inédita); Peña Zubiate y d'Hiriart (Inédita)). Las bases de datos alfanuméricas se tomaron de Peña Zubiate y Hurtado (inédito) cedidas por sus autores para este trabajo.

A cada unidad cartográfica se le asignó el valor de coductividad eléctrica del extracto a saturación. Cuando en una unidad participaban más de una serie de suelo de diferente salinidad se tomó el criterio de asignar a la unidad cartográfica, el valor de salinidad más alto. Los datos se ingresaron agrupados en las siguientes categorías:

1. Suelo no salino. Gran parte de los suelos de la provincia se encuentran en esta categoría (conductividad menor de 4 mmhos/cm).
2. Suelo ligeramente salino (conductividad entre 4 y 15 mmhos/cm).
3. Suelo fuertemente salino (conductividad > de 15 mmhos/cm).

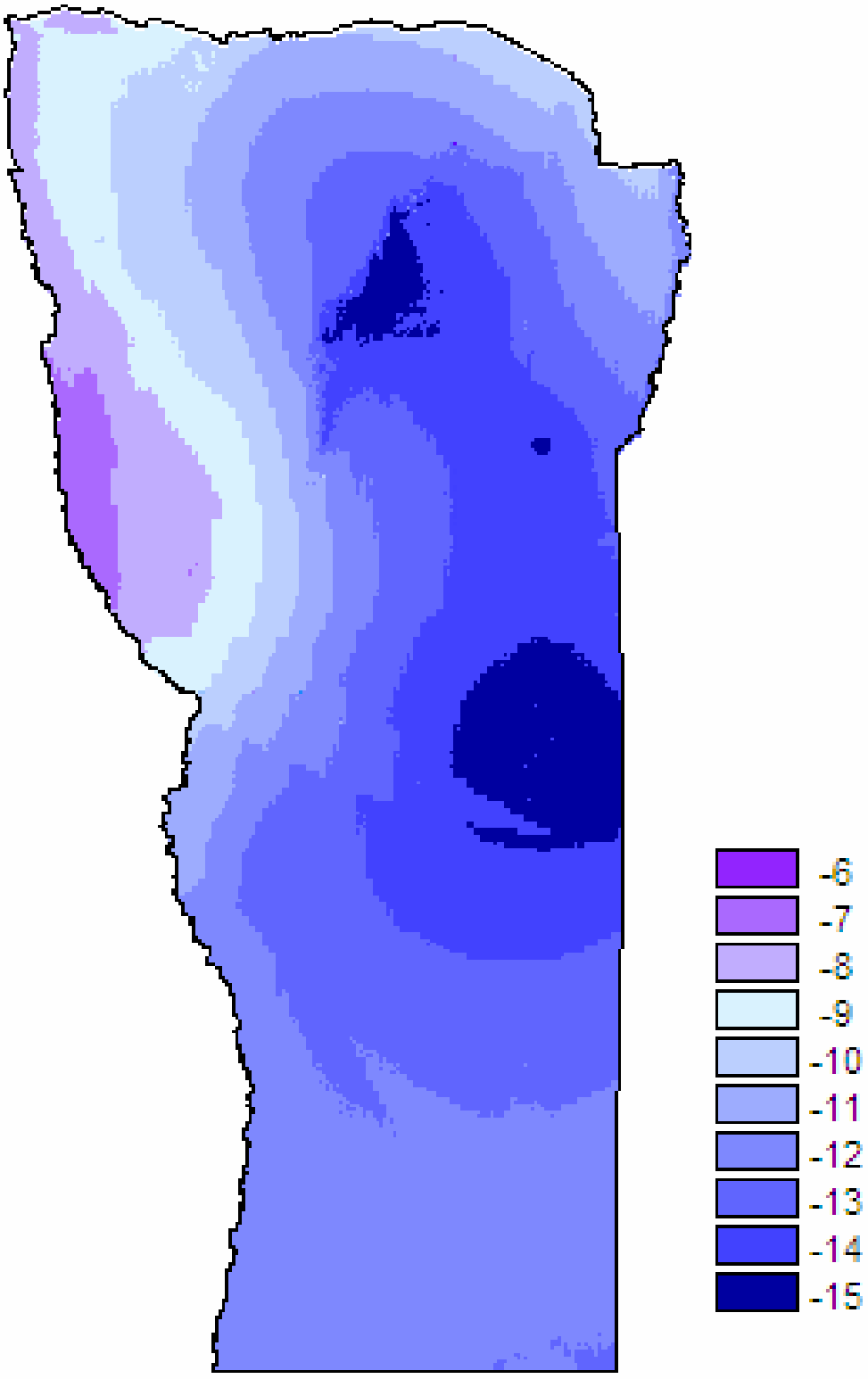


Figura II.15. Temperatura mínima absoluta (°C) en San Luis (1951-90)

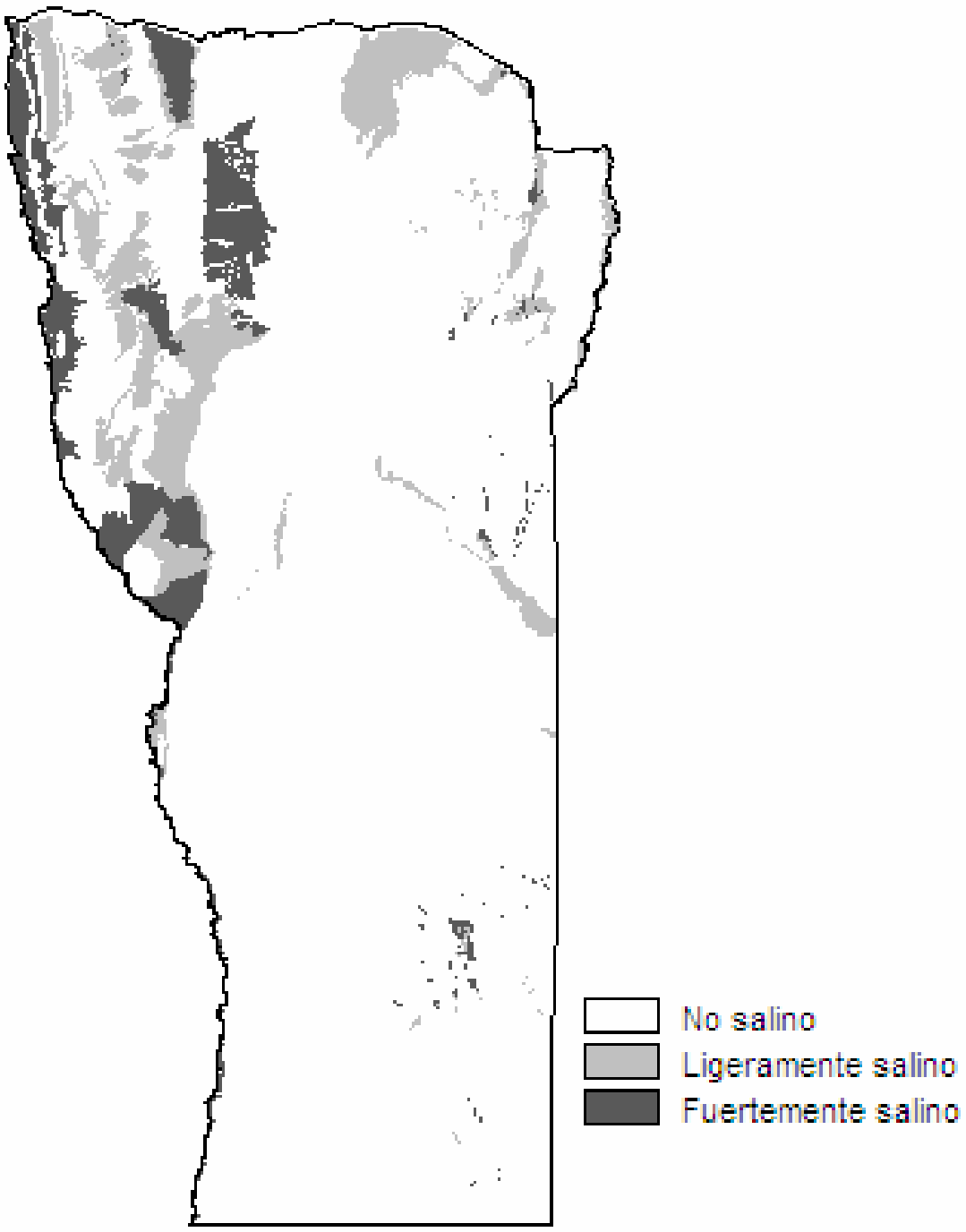


Figura II.16: Clases de salinidad de los suelos de San Luis

Ambientes de la zona serrana

M. D. Nosetto; S. I. Ballesteros; E.G. Jobbagy

En esta sección discutimos dos aspectos importantes generadores de heterogeneidad en la zona serrana y que deben ser considerados al momento de la planificación forestal. Por un lado, realizamos una clasificación de ambientes serranos determinando zonas con distintos grados de rocosidad. Por otro lado, efectuamos una clasificación térmica que considera la variación de la temperatura a una menor escala.

Para realizar la clasificación de la zona serrana de la provincia de San Luis se utilizó como fuente básica de información imágenes satelitales Landsat 5 (escenas 230/82 y 230/83) de Diciembre de 1997 y un MDT elaborado por la NASA, entre otros organismos, con una resolución de 16 m en altura y 80 m espacialmente. El MDT se empleó para establecer un límite altitudinal de 1.100 m a partir del cual se definió la zona serrana a clasificar. Las imágenes Landsat fueron georreferenciadas en la proyección Gauss-Krüger faja 3 utilizando al menos 30 puntos de control y su información digital fue transformada en valores de radiancia y posteriormente reflectancia y temperatura superficial (Markham y Baker, 1986). A partir de las imágenes de reflectancia se elaboraron dos imágenes con alto significado ecológico: el índice verde normalizado (IVN), una medida de la cantidad de vegetación verde que hay presente, y el albedo, un indicador del nivel de radiación que es reflejada por la superficie terrestre.

Para definir los ambientes a clasificar se efectuó una composición de falso color utilizando las bandas 4, 3 y 2, y sobre la misma, y con información obtenida de visitas a campo realizadas previamente, se digitalizaron entre 4 y 5 polígonos de cada una de las siguientes categorías: zona de alta rocosidad, zona de rocosidad media, zona de baja rocosidad, suelo desnudo, valles (asociados generalmente a cursos de agua), pampas, cultivos y cuerpos de agua. Posteriormente se extrajeron y analizaron los valores de IVN, albedo, temperatura y reflectancia en cada una de las bandas para las mencionadas categorías. En principio se observó cierta confusión entre zonas de alta rocosidad y suelo desnudo y entre cultivos, pampas y valles, pero al establecer el límite altitudinal de 1.100 m se eliminó este problema ya que por encima de dicho nivel no existen prácticamente áreas agrícolas. Luego de realizar agrupaciones entre clases que presentaban un comportamiento espectral similar se generó el árbol de clasificación (figura II.17).

Luego de efectuada la clasificación se pasó un filtro modal con una ventana de 5x5 a fin de “suavizar” la clasificación. Como resultado se observó que el área serrana (i.e. toda aquella superior a 1.100 m) abarcó una superficie total de 331.212 ha. De las mismas, el 30.5% correspondió a zonas de alta rocosidad (101.292 ha), el 56.2% a zonas de baja rocosidad (186.020 ha) y el 13.3% a zonas comprendidas por pampas y valles serranos (43.900 ha). Finalmente, esta información en formato raster fue convertida a vector a fin de integrarla al sistema de información geográfica (figura II.18).

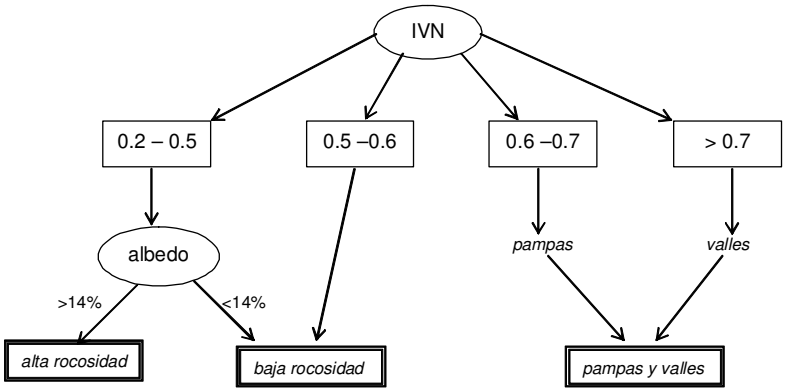


Figura II.17: Árbol jerárquico con los criterios de clasificación utilizados en la delimitación de ambientes en la zona serrana de San Luis.

Con el objetivo de mapear las variaciones térmicas que se producen en la zona serrana a pequeña escala, se trabajó con imágenes Landsat 7 (escenas 230/82 y 230/83) correspondientes al 20 Junio de 2002. Se eligió está fecha ya que en la misma se habían registrado temperaturas muy bajas, lo cual resulta ideal para identificar áreas que se enfriaron en forma diferencial durante la noche y además porque no presentaba problemas de nubosidad. Del mismo modo que en el caso anterior, se utilizó como límite altitudinal el nivel de 1.1000 m. Para la delimitación de áreas con un comportamiento térmico similar, se definieron cuatro categorías desde el extremo más frío al más calido, con una diferencia de temperatura superficial entre ellas de aproximadamente 1,5 ºC. Dado que la cantidad de vegetación existente afecta la temperatura de la superficie pero no necesariamente la del aire, fue necesario realizar una corrección que considere esta variable, lo cual se hizo utilizando al IVN como un factor de corrección. Posteriormente a esto, se confeccionó el mapa con las cuatro categorías térmicas que se muestra en la figura II.19.

Un análisis detallado de este mapa ofrece la posibilidad de identificar zonas que presentan un comportamiento térmico diferente. Es observable que en ciertas áreas del mapa existe una diferencia importante de temperaturas asociada a la orientación que tiene la ladera. Esto estaría explicado por un calentamiento radiativo diferente durante horas de la mañana y no necesariamente a un enfriamiento diferencial nocturno. Por lo tanto es en las zonas de menor pendiente donde este mapa ofrece su mayor utilidad y deben ser observadas con más detalle al momento de decidir la ubicación del lote forestal.

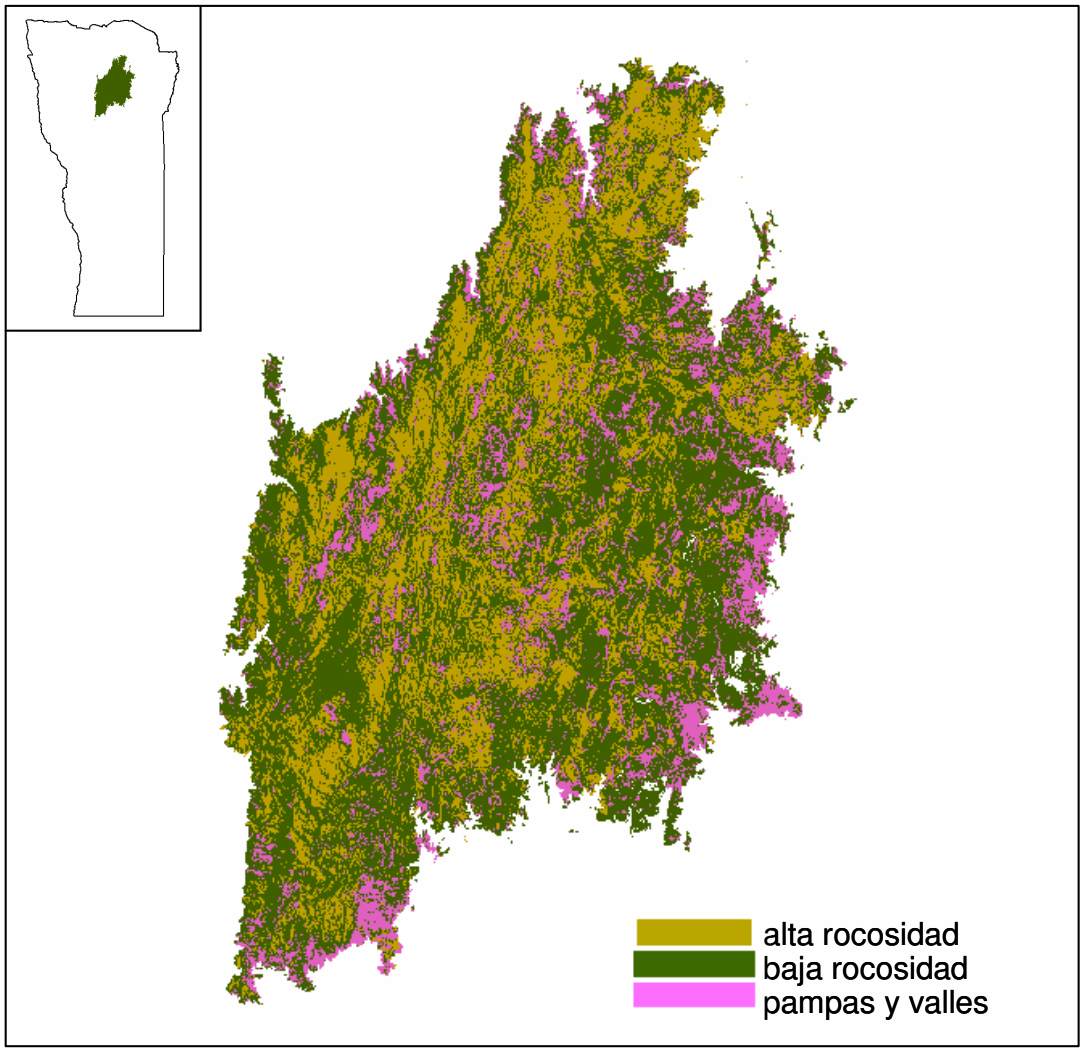


Figura II.18: Ambientes de las sierras centrales de San Luis

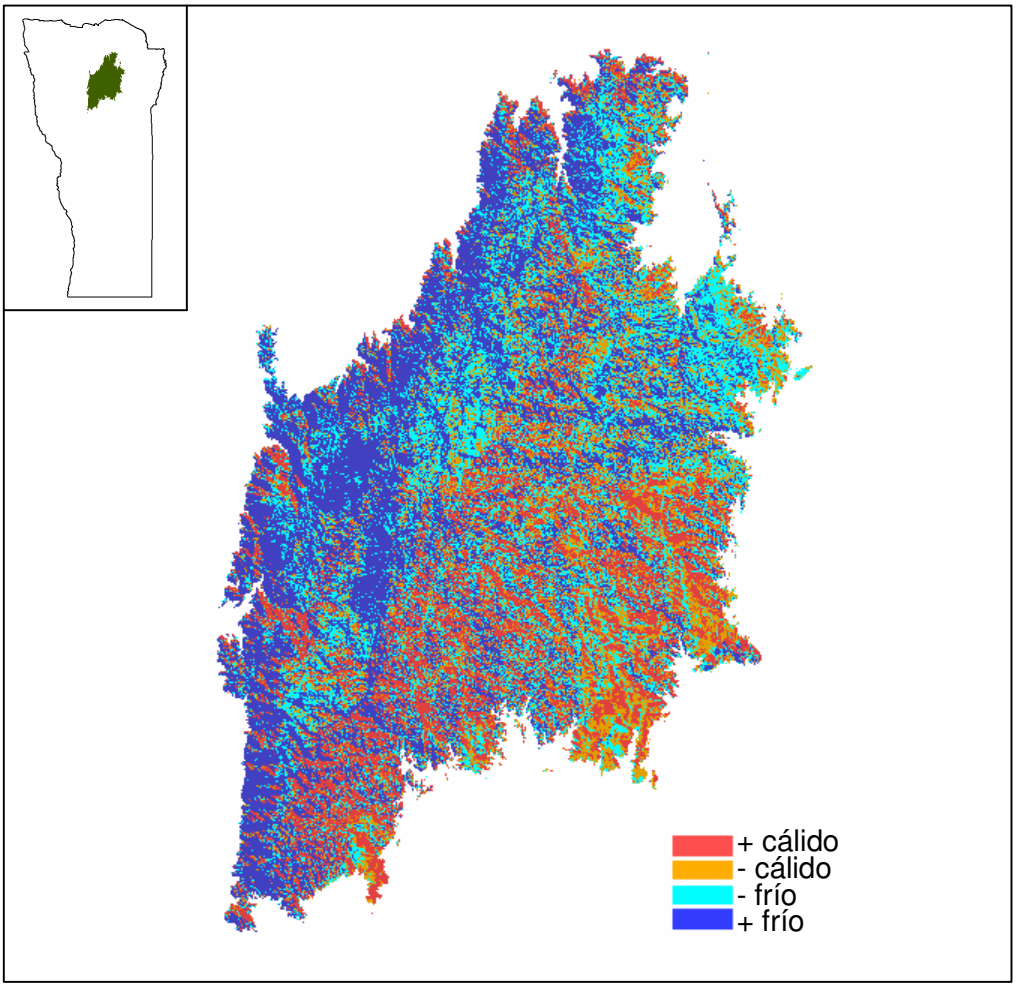


Figura II.19. Clasificación térmica de las sierras centrales de San Luis.

Disponibilidad y calidad del agua con fines forestales

A.D. Collado y V.F. Gómez Hermida

Introducción

El presente capítulo proporciona una breve sinopsis de las principales interacciones entre geología, geomorfología, clima y disponibilidad de agua subterránea en la provincia de San Luis, para ser utilizada con fines forestales.

Los procesos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos pasados y presentes son de gran importancia, debido a los cambios tectónicos y paleoclimáticos que han afectado la región. El bloque de fallas que generó el levantamiento de las sierras de San Luis, ha tenido un impacto en el patrón de distribución de lluvias, el escurrimiento y la disponibilidad de aguas subterráneas. La altitud de la sierras posibilita las lluvias orográficas y las fuertes pendientes

occidentales favorecen el escurrimiento rápido del agua y la recarga de las cuencas adyacentes.

En el sur de la provincia en cambio, donde la ausencia de elevaciones y la formación de los suelos estuvo condicionada por el depósito de material arenoso, el proceso de recarga depende de la difusión del agua a través de estos sedimentos Cuaternarios, en donde pueden apreciarse formas de acumulación que constituyen complejos dunares y formas de excavación asociadas a la presencia de agua que se denominan cubetas de deflación.

Cubetas de deflación

Morfológicamente puede definirse como una base medanosa, sobre la que se sobreimpone un gran "campo de sopladuras" (Field Blows), claramente apreciable en las fotografías aéreas e imágenes satelitarias por sus características morfológicas. El conjunto, fijado por vegetación natural está constituído por cubetas o cuencas de deflación que son depresiones eólicas asimétricas, con la mayor profundidad hacia barlovento y con acumulaciones de arena a sotavento, lo que da lugar a configuraciones alargadas (predominantemente ovaladas), cuyo eje mayor no supera en la generalidad de los casos los dos kilómetros. La profundidad de las cubetas de deflación depende del grado de evolución, generalmente las más grandes son las más profundas.

Existen varias generaciones de cubetas, las primeras son de mayor tamaño y corresponden a eventos eólicos de mayor intensidad, las posteriores son de menor dimensión y están en ocasiones sobreimpuestas a las cubetas originales.

La acción excavadora del viento está limitada por el nivel freático, ya que al llegar a este nivel de profundización, el agua comienza a subir por capilaridad, humedeciendo el fondo arenoso y frenando así la acción excavadora del viento. De este modo se genera una superficie pantanosa que evoluciona hacia una laguna, las que al formarse en la cubeta de deflación, se las denomina lagunas de deflación, de superficie y profundidad variable. Se ha constatado una notable dinámica de la región, por ejemplo se verifica que en el sector NO de la Laguna de Sayape aparecen en las fotografías aéreas de 1962 tres lagunas separadas , en la actualidad forman una sola laguna (Gómez et al., 1986).

A efectos de observar la dinámica de las lagunas, Collado Et al., 2002, analizaron las variaciones espacio-temporales de las mismas durante un lapso de 10 años correspondiendo el período inicial (1982) a un año seco y el período final (1992) a un año húmedo.

Materiales y métodos

Con el propósito de delimitar el área efectiva ocupada por las cubetas de deflación, fue confeccionado un mosaico a partir de imágenes satelitarias Landsat Thematic Mapper (TM). Sobre el área de interés se efectuó un reconocimiento y delimitación por interpretación visual de las cubetas de deflación con límites bien definidos ya que muchas de ellas debido al transcurso del tiempo, y los procesos

de agriculturización han sufrido una removilización y disipación del material original. Sobre las imágenes de referencia fueron digitalizadas las citadas cubetas.

De la superficie total ocupada por el área de cubetas (793.715 ha), 615.369 ha (77.5 %) se encuentran localizadas en el Departamento Pedernera, 173196 ha (21.8 %) en el Departamento Dupuy y solo 5150 ha (0.7%) en el Departamento Capital, como se aprecia en la figura II.20.

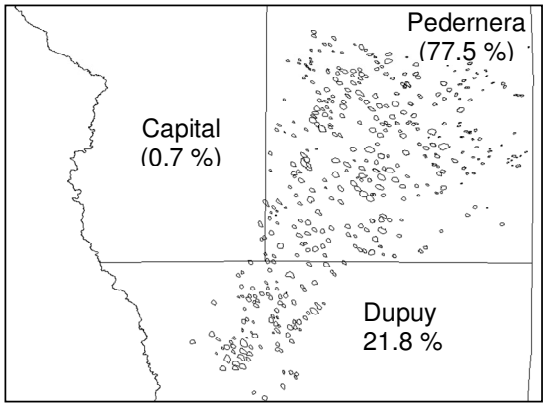


Figura II.20: Distribución porcentual del área de cubetas según Departamento.

Aptitud del agua subterránea para riego

A efectos de conciliar dos factores de importancia, por un lado la presencia de cubetas de deflación y por el otro la presencia de agua subterránea con aptitud para el riego, se superpuso el mapa de cubetas al Mapa de Aptitud para Riego Usando Agua Subterránea, elaborado durante la realización del Proyecto de Cooperación Técnica Australiano-Argentino (Bureau of Rural Sciences, Agriculture, Fisheries and Forestry Australia, 2000), como lo indica la figura II.21.

En todos los casos de superposición (mosaico de imágenes, mapa de aptitud de agua y vectorial del límite provincial y límites departamentales) la exactitud lograda, RMS o error medio cuadrático fue inferior a un píxel.

Al analizar la figura II.21 se aprecia que gran parte de las cubetas se asienta sobre agua no apta para riego según el estudio mencionado. En estas circunstancias se zonificaron y consideraron solo las áreas cubiertas por cubetas y que además estuvieran situadas sobre reservorios de agua con aptitudes para este fin, o con pequeñas o moderadas limitaciones, logrando establecerse 4 zonas identificadas en la figura II.22, con las letras A, B, C y D.

El análisis de las áreas zonificadas expuestas en la Figura 3, permite deducir que las áreas C y D, situadas al oeste de la provincia, si bien se localizan sobre reservas de agua con limitaciones menores o moderadas para el riego, esta se halla disponible a elevadas profundidades como para ser alcanzadas espontáneamente por la vegetación por lo que debería incurrirse en estudios más profundos y eventualmente en gastos de perforación. La profundidad del agua

implicó que durante el análisis de las imágenes satelitarias correspondientes, no se visualizaran lagunas en los mencionados sectores (C y D).

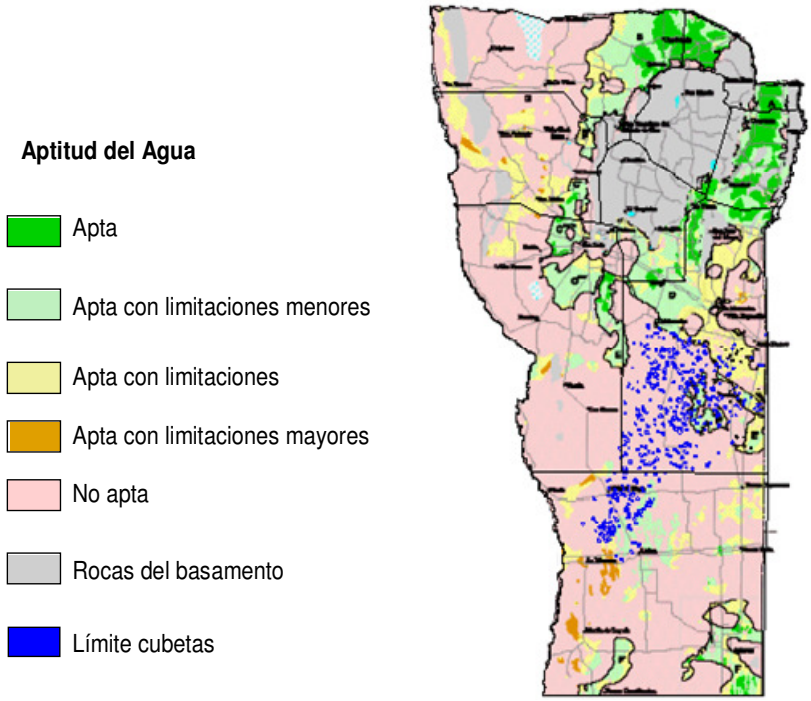


Figura II.21: Mapa de Cubetas superpuesto al Mapa de Aptitud del Agua

Respecto de las áreas indicadas con A y B, también se asientan sobre reservorios de agua sin limitaciones (o con limitaciones menores) en su calidad como para ser utilizadas, además la misma se encuentra a escasa profundidad lo que se evidencia por la presencia de lagunas de deflación.

A efectos de visualizar nítidamente la distribución espacio-temporal de las mismas en las zonas A y B se efectuaron análisis específicos. Para el sector indicado en A, se efectuó un Análisis de Componentes Principales (ACP). De los 6 componentes obtenidos, 1 por cada una de las Bandas, ya que se excluyó de las 7 Bandas del Landsat TM la Banda 6 correspondiente al infrarrojo lejano o térmico, se seleccionó el primero de los componentes por contener el 84 % de la varianza original de la imagen (matriz de varianza-covarianza). Sobre este primer componente se efectuó una clasificación no supervisada (análisis de cluster).

Para el sector indicado en B, se efectuó una clasificación supervisada, es decir eligiendo campos de entrenamiento para dirigir el proceso de clasificación. Los procedimientos empleados fueron distintos para los sectores A y B ya que en el primer caso, el procedimiento de clasificación supervisada no ofreció una discriminación satisfactoria. En ambos casos luego de discriminar las lagunas de deflación, se empléo un Filtro Modal de 3x3 para eliminar los píxeles asignados de modo erróneo por los procesos de clasificación / asignación empleados. Los resultados obtenidos pueden visualizarse en la figura II.23.

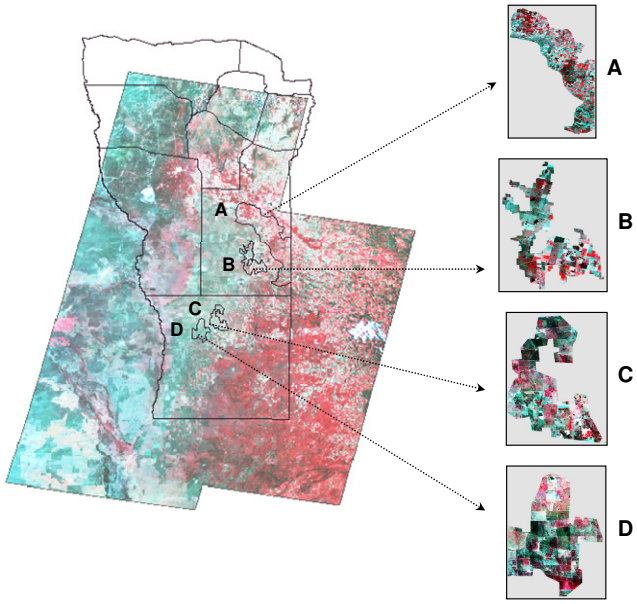


Figura II.22: Zonificación de Cubetas en función del Mapa de Aptitud del Agua

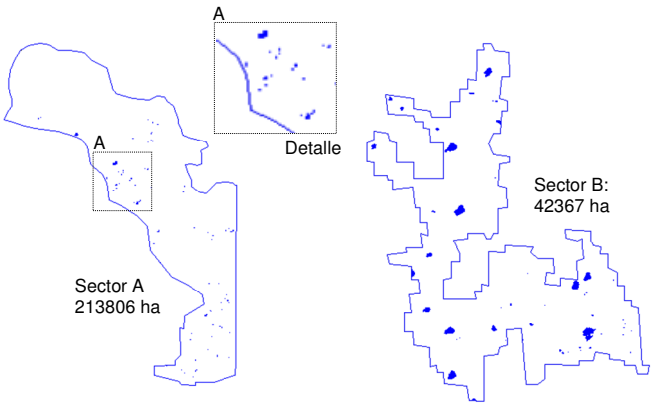


Figura II.23: Distribución espacial de lagunas de deflación en sectores A y B

Conclusiones

Si consideramos la relación entre la superficie total con supuesta aptitud (A + B = 256.173 ha) y la Superficie total ocupada por cubetas (793.715 ha), se comprende que solo un 32 % de estos ambientes podría ser considerado en primera instancia para diseñar alguna actividad forestal (en función de los atributos disponibilidad y calidad de agua). Para inferir de ese 32 % cuanto podría efectivamente utilizarse debido a los condicionantes físicos, deben considerarse que especies, densidades y tamaño de las plantaciones, deberían adoptarse, para no ocasionar impactos negativos de la forestación, como el provocado por el descenso del nivel freático tratados en el correspondiente capítulo de “Impactos Ambientales de la Forestación”. De modo preliminar puede intuirse que de ese 32 %, la superficie utilizable será obviamente mucho menor.

Referencias

Bureau of Rural Sciences, Agriculture, Fisheries and Forestry Australia, 2000. Evaluación de posibilidades físicas y económicas de riego con aguas subterráneas en la provincia de San Luis. Informe Nº 6, Fase 1 del Proyecto

Collado, A.D., Chuvieco, E. y Camarasa, A., 2002. Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina. Journal of Arid Environments – JARE 52: 121-133. http://www.geogra.uah.es/Personal/ emilio.chuvieco/collado2002.pdf

De Fina, A. L. 1976. Datos Agroclimáticos de la República Argentina. IDIA Enero-Julio.

Gómez, H.D., Milano, L.A., Félix, P.J. y De Silvestri, L.E., 1986. Informe sobre Geomorfología del área de la laguna de Sayape.

INTA. l99l. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Arizona. INTA. Gobierno de la provincia de San Luís. 102 pp. 4 mapas.

Markham, B. L., and J. L. Barker. 1986. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic rangers, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. Pages 3-8 *in* EOSAT Landsat Technical Notes.

Peña Zubiate, C.A.y d'Hiriart, A. l992 a. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Buena Esperanza. INTA. Gobierno de la Provincia de San Luís. 75 pp. 4 mapas.

Peña Zubiate, C.A. y d'Hiriart, A. 1992 b. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Varela y Martín de Loyola. INTA. Gobierno de la Provincia de San Luís. 76 pp. 8 mapas.

Peña Zubiate, C.A. y d'Hiriart, A. 2000. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Villa Mercedes. INTA. Gobierno de la Provincia de San Luís. 196 pp. 2 mapas.

Peña Zubiate, C.A. y d'Hiriart, A. 2005. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Concarán. INTA. Gobierno de la Provincia de San Luís. 154 pp. 3 mapas. (En prensa).

Peña Zubiate, C.A. y d'Hiriart, A. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja San Luís. (Inédita)

Peña Zubiate, C.A. y d'Hiriart, A. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Villa General Roca. (Inédita)

Peña Zubiate y Hurtado. Mapa de salinidad de la provincia de San Luis. (inédito).

Servicio Meteorológico Nacional. 1960. Atlas climático de la República Argentina. Secretaría de Aeronáutica, Buenos Aires.

Servicio Meteorológico Nacional. 1972. Estadísticas Climatológicas 1951-1960.

Servicio Meteorológico Nacional. 1981. Estadísticas Climatológicas 1961-1970.

Servicio Meteorológico Nacional. 1986. Estadísticas Climatológicas 1971-1980.

Servicio Meteorológico Nacional. 1992. Estadísticas Climatológicas 1981-1990.

III. REQUERIMIENTOS DE LAS ESPECIES

E.G. Jobbagy; M.M. Gomez; V.F. Gómez Hermida; M.D. Nosetto; J.C. Echeverría

Introducción

La evaluación de la aptitud de doce especies forestales aquí presentada se basó en un procedimiento iterativo. En primer lugar se confeccionó una matriz de límites climáticos teóricos en la que se fijaron valores de precipitación mínima, temperatura mínima absoluta, temperatura máxima media del mes más cálido, temperaturas medias de julio y enero (para pinos) y temperaturas mínimas medias de julio y máximas medias de enero (para eucaliptos) tolerables por las distintas especies. Los valores surgieron de la revisión de la literatura existente sobre experiencias en plantación de estas especies en nuestro país y en otros y/o sobre sus ámbitos de distribución natural en las zonas de origen (Golfari 1965, Foroughbakhch et al. 1997, Booth & Jones 1998, Humphries & Bourgeron 2003). A partir de estos límites iniciales o teóricos y el mapeo de las variables ambientales de la matriz descriptas en la subsección anterior se confeccionó un primer juego de mapas. La segunda etapa del trabajo involucró el replanteo de estos mapas a campo teniendo en cuenta los sitios en que las especies en evaluación estuviesen presentes.

Los mapas preliminares sugirieron sectores en los que la aptitud de algunas especies era muy incierta por ser sensible a un límite climático incierto (límite de tolerancia de la especie poco conocido o valor de la variable ambiental en el campo poco preciso). Los recorridos y observaciones a campo fueron especialmente orientadas a apuntalar estas incertidumbres (figura III.1). Un caso especialmente importante y difícil de resolver a partir de la literatura fue el de los límites térmicos de aptitud para eucaliptos, que surgieron como determinantes clave en los mapas preliminares.

Observaciones

Las observaciones de campo permitieron reajustar los límites climáticos de las especies (ampliándolos o reduciéndolos), reconciliando las observaciones de muerte o supervivencia con los mapas definitivos. Este proceso mantiene incertidumbres que se detallan más adelante y que podrán acotarse progresivamente en el futuro a medida que los emprendimientos forestales nuevos aporten más información.

Los puntos de observación a campo involucraron:

a) plantas aisladas en cascos de estancia, parques, caminos, cortinas, etc;
b) plantaciones comerciales,
c) parcelas experimentales provinciales.

Es importante destacar la naturaleza inevitablemente sesgada de estas observaciones, especialmente en los sitios tipo (a) y (b). En ellos, si bien la

"experiencia" previa de plantación puede indicar supervivencia o muerte, normalmente solo puede verificarse a campo la primer posibilidad ya que es normalmente muy difícil corroborar casos en los que se haya plantado individuos de una especie que luego hayan perecido. Una excepción a este caso es la de ejemplares que han muerto o han sido severamente dañados en edades avanzadas y que gracias a su tamaño se mantienen aún en pie siendo fácilmente reconocibles. Casos en los que pudo constatarse la falta de aptitud de las especies al clima local son los de las observaciones de ejemplares de eucaliptus fuertemente dañados por heladas en varios de los recorridos.

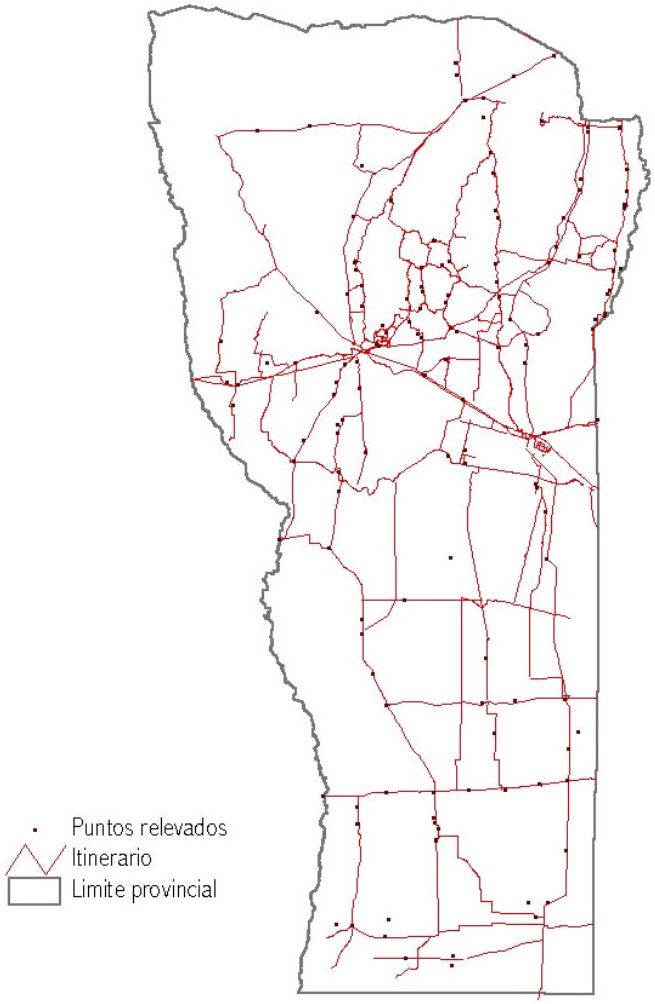


Figura III.1: Relevamientos de campo

Otro aspecto clave a considerar al aplicar las observaciones de campo de sitios tipo (a) se relaciona a las limitantes hídricas. En estos sitios la presencia de individuos de una determinada especie permite inferir la aptitud del sitio en relación al régimen térmico pero no aporta certidumbre respecto a la disponibilidad hídrica adecuada para el crecimiento en plantación. Los árboles aislados pueden superar sequías extremas al no estar expuestos a la competencia con árboles vecinos, pero en caso de estarlo, como ocurre en una

plantación, la sequía puede resultarles fatal. Un ejemplo visible de este tipo de efectos tuvo lugar durante la sequía extrema de primavera de 2003 causo la muerte de ejemplares de *Pinus elliottii* en plantación pero no en ejemplares aislados en las inmediaciones. Lo que puede aventurarse a partir de las observaciones de individuos aislados es la posibilidad de éxito de plantaciones de muy baja densidad (< 400 árboles por ha). Esta problemática resalta la importancia de ensayos en plantación para juzgar adecuadamente la aptitud del territorio.

Resultados

La síntesis de observaciones de campo y conocimiento previo sobre la aptitud de las especies consideradas dio como resultado una matriz de límites climáticos definitiva utilizada para el trazado de los mapas (tabla I). En el caso de *Pinus halepensis* y *P. pinea* en la zona serrana se estableció un criterio alternativo para definir la aptitud en las zonas más altas, tras corroborarse que por encima de 1450 metros sobre el nivel del mar algunos intentos de establecimiento mostraron fracasos por heladas extremas cuando a igual o mayor altitud otros intentos fueron exitosos. Se decidió entonces fijar un límite altitudinal máximo prudente (1450 m) por encima del cual la aptitud de los territorios se ajustó de acuerdo a una análisis satelital de riesgo de temperaturas extremas (ver subsección anterior).

Además del clima, el suelo puede presentar limitaciones a los cultivos forestales. La tolerancia a la salinidad, a la acidez o alcalinidad, o la preferencia por suelos pesados, finos, rocosos o profundos debe ser considerada. En el caso de este estudio, una vez definidos los límites climáticos de las especies y verificado el territorio climáticamente apto se procedió a identificar dentro del mismo zonas que pudieran presentar limitaciones edáficas para las especies evaluadas.

Tabla I: Límites climáticos y altitudinales para el desarrollo de un grupo de especies forestales aptas para San Luis.

Especie	Precip. (mm)	Altitud (msnm)	T. Med. Jul	T.med. Ene	T.min. Abs.	T.min.med. Jul	T..máx.med.Ene
P. elliottiii	> 650		> 8	< 28			
P. taeda	> 650		> 2	< 26			
P. radiate	> 650		> 8	< 20			
P. halepensis	> 550	< 1450	> 2	< 28			
P. pinea y P. pinaster	> 650	< 1450	> 2	< 25			
P. ponderosa	> 550		> 2	< 28			
E. camaldulensis	> 400	< 1100			> -13	> 0	< 41
E. viminalis	> 550	< 1100			> -13	> 0	< 32
E. tereticornis	> 500	< 1100			> -5	> 2	< 32
Populus deltoides	> 700						
Robinia pseudoacacia	> 550						

La primera variable considerada fue la tolerancia a la salinidad. Si bien la mayoría de los suelos salinos de la provincia fueron inicialmente excluidos por su falta de aptitud climática (Salinas del Bebedero, Pampa de las Salinas) para la mayoría de las especies, otras áreas con presencia de sales incluidas en las zonas climáticamente aptas debieron ser descartadas. Para esto se fijo un límite estricto de no-tolerancia a suelos salinos en todas las especies consideradas con excepción de *Pinus halepensis* y *Eucalyptus camaldulensis*, cuyo límites de tolerancia se fijaron en 1.5 dS/m de suelo (1:5 suelo:agua) (Dunn et al. 1994).

La segunda variable tenida en cuenta fue la capacidad de retención hídrica de los suelos. Esta variable, de valores extremadamente bajos en los suelos arenosos de muy alta permeabilidad, limitaría la aptitud de las tierras para la forestación en zonas climáticamente marginales como el sudoeste de San Luis (Peña Zubiate y d'Hiriart. 1992 b). Por esta razón los suelos de alta permeabilidad ubicados en este sector y a priori aptos por precipitación, fueron excluidos.

Las limitaciones por rocosidad son particularmente importantes en la zona serrana y afectan el establecimiento exitoso de las especies latifoliadas potencialmente aptas (*Populus sp*. y *Robinia pseudoacacia*), cuyas plantaciones deberían restringirse a los ambientes de pampas y valles en esta zona. Dentro de las zonas climáticamente aptas se consideraron todos los ambientes de la zona serrana como aptos para coníferas, si bien se indica como preferenciales a los de rocosidad media, intermedios a los de pampas y valles, y de baja aptitud a los de alta rocosidad, donde se espera una limitación en la densidad de árboles que puedan implantarse exitosamente y bajas tasas de crecimientos.

Más allá de la salinidad, la baja retención hídrica y la rocosidad, las limitaciones que los suelos de la provincia presentan para el establecimiento de las especies evaluadas son despreciables, con la única excepción de *Pinus taeda* y *P. elliottii* que requieren para su buen desarrollo suelos ácidos, ausentes en la región. Dentro de la zona serrana estas especies suelen mostrar mejores resultados en suelos de mediana rocosidad.

Referencias

Bogino, S; M. Gómez, Z. Furlán, S. Escudero y A. Corral. 2005. Crecimiento de acacia blanca (R*obinia pseudo-acacia* L.) en la provincia de San Luis. Revista forestal sagpya. nº28.

Bogino, S. Panunzio, J. y Gómez, M. 2005. Crecimiento de *Populus x euroamericana cv*. Conti 12, bajo riego , en la provincia de San Luis. Inédito

Booth TH and Jones PG (1998) Identifying climatically suitable areas for growing particular trees in Latin America. Forest Ecology and Management 108:167–173.

Cátedra de Dasonomía. 2004. Trabajo práctico.F.I.C.E.S. UNSL (inédito).

Dunn GM, Taylor DW, Nester MR, and Beetson TB (1994) Performance of twelve selected Australian tree species on a saline site in southeast Queensland. Forest Ecology and Management 70:255-264

Foroughbakhch R, Háuad LA, Badii MH, and Earl PR (1997). Establishment and growth of five Eucalyptus species in northeastern Mexico. Forest, Farm, and Community Tree Research Reports 2:46-50

Golfari, L. 1965 Regiones potencialmente aptas para plantaciones de pinos y otras coníferas en América Latina. IDIA Suplemento forestal 2:19-48.

Humphries H.C and Bourgeron P.S (2003) Environmental responses of Pinus ponderosa and associated species in the south-western USA. Journal of Biogeography 30:257–276.

Lell, D. 1978. Ensayos de especies forestales en La Pampa. III Congreso Forestal Argentino. Buenos aires.

Mangieri, H y Dimitri, M. 1961. Los eucaliptos en la silvicultura. Editorial Acme. Buenos Aires, Argentina. 226 pp.

Peña Zubiate, C.A. y d'Hiriart, A. 1992 b. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Varela y Martín de Loyola. INTA. Gobierno de la Provincia de San Luís. 76 pp. 8 mapas.

Poduje, L y Roic, L. 1972. Comportamiento de especies de Eucalyptus cultivados bajo condiciones de semiaridez y de frío en la provincia de La Pampa. Revista forestal Argentina XVII (3-4). Buenos Aires.

Wedin D.A, Bullerman M, Minnick T.J (2000) Carbon balance of long-term experimental pine forests in the Nebraska Sandhills: A tradeoff between net carbon storage and soil carbon losses. Abstract Book - Ecological Society of America, Snowbird, Utah.

IV. APTITUD FORESTAL DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS

J.C. Echeverría; E.G. Jobbagy; M.M. Gómez; A.D. Collado; M.D. Nosetto; V.Gómez Hermida.

Consideraciones generales

La aplicación de los límites ambientales de las especies forestales al espacio de variables ambientales de San Luis, dio como resultado los mapas de aptitud presentados en las figuras IV.1 a IV.10. Se consideran situaciones aptas a aquellas en las que el establecimiento exitoso de plantaciones de una determinada especies es esperable. No se aproximan valores de crecimiento ni se establecen niveles de aptitud dentro de la mayor parte de estas áreas debido a los muy escasos antecedentes de macizos forestales que permitan anticipar niveles de producción forestal. Al final de esta sección se sugieren posibles ordenamientos de las especies evaluadas en función de sus tasas de producción esperables y el riesgo de fallas en el período de establecimiento. La totalidad del área apta para forestación con al menos una de las especies consideradas es de 5.3 millones de hectáreas, es decir un 70% del territorio provincial. Cabe destacar que la mayor parte de esta superficie es apta en forma marginal, fundamentalmente como resultado de las bajas precipitaciones y que por lo tanto los crecimientos esperables no podrán alcanzar los niveles observados en zonas forestales cercanas pero más húmedas, como la ladera oriental de la Sierra de Comechingones en la provincia de Córdoba.

En general las zonas aptas para el desarrollo de las forestaciones comprenden dos grandes sectores del territorio provincial: el área de sierras y las planicies del centro este y sudeste. La mayor restricción a la forestación en la provincia está dada por la escasez de precipitación y son por esta razón las especies más tolerantes a la aridez dentro del elenco evaluado, *Pinus halepensis, P ponderosa y Eucalyptus camaldulensis*, las que presentan distribuciones de aptitud más amplias.

En segundo orden de importancia se presenta como limitación la baja temperatura invernal, especialmente perjudicial para las especies del género *Eucalyptus.* Es importante destacar que en la zona serrana existe un compromiso geográfico entre la aptitud pluviométrica y la térmica, dada por el hecho de que las zonas más lluviosas son las de mayor altitud y por lo tanto más frías. Esto explica la distribución de anillo en la zona serrana del área apta para *Pinus elliotii* entre otros, cuyo límite altitudinal inferior es dictado por la aridez y el superior por las temperaturas mínimas.

La zona serrana presenta una fuerte heterogeneidad en sus temperaturas mínimas absolutas, como lo sugiere el análisis satelital, explicada por factores locales como la topografía (pendiente y exposición, posición de valle, ladera, o cumbre) además del efecto regional de la altitud. Por esta razón, por encima de los 1450 m sobre el nivel del mar en las Sierras de San Luis, el Morro y

Comechingones se consideraron las variaciones en las temperaturas mínimas absolutas de pequeña escala para discriminar sectores aptos e inaptos por frío para *Pinus halepensis*, *P. pinea* y *P pinaster*. *Pinus ponderosa, Robinia pseudoacacia* y *Populus deltoides* serían las únicas especies sin limitaciones de aptitud en toda esta zona de mayor altitud. Una sola de las especies evaluada se vería limitada en la provincia por temperaturas excesivamente altas. Se trata de *Pinus radiata*, cuyo límite altitudinal inferior de aptitud en las Sierra de San Luis se asocia a la isoterma de 20 ºC para la media del mes de enero.

Consideraciones específicas

Pinus elliottii E.

Este pino originario del sudeste de Norteamérica es la conífera más difundida en los sistemas forestales implantados del país, mostrando altas tasas de crecimiento en la Mesopotamia. Se han establecido exitosamente grandes parcelas de esta especie en las Sierras de Córdoba. En San Luis el área apta se restringe por precipitaciones a las serranías de San Luis y Comechingones y dentro de éstas se desaconseja el uso de tierras altas por posible daño por frío. El área potencialmente apta abarca 345000 ha. Cabe destacar que todo este territorio es marginalmente apto para la especie y que todas las zonas importantes de producción de esta especie en Argentina y el resto del mundo poseen climas más húmedos.

Se aconseja implantar esta especie preferencialmente en áreas de mediana rocosidad, siguiendo en orden de aptitud decreciente a las mismas, las áreas de pampas y valles y las de alta rocosidad. Cabe destacar que en la ladera oriental de la Sierra de Comechingones, en Córdoba, se observan mejores crecimientos y menores niveles de falla en situaciones de mediana rocosidad (sectores clásticos) siendo más pobres los resultados en los suelos profundos y más calcáreos de las pampas o valles. Los suelos calcáreos en general son poco aptos para esta especie cuya área de origen incluye principalmente suelos ácidos a neutros.

Las plantaciones existentes en la provincia indican crecimientos promedios de 10 $m^3.ha^{-1}.año^{-1}$ (Cátedra de Dasonomía, 2004). Si bien se han observado individuos aislados o pequeños grupos fuera de las áreas definidas como aptas se consideran riesgosas las plantaciones en ellas y se ha verificado la muerte de muchos individuos en macizo en el sitio provocada por la sequía de primavera de 2003 (32º49'47'' S – 65º55'53'' O y 1487 m.s.n.m). En este sitio los árboles aislados de la especie sobrevivieron este evento extremo. Esto sugiere que podría plantearse la forestación a muy bajas densidades (<400 arboles/Ha) en la faja vecina a la zona inferior de aptitud en las sierras, pero posiblemente resulte más rentable y seguro el uso de *P. ponderosa* o *P. halepensis* en esos ambientes.

***Pinus taeda* L.**

Este especie es también originaria del SE de Estados Unidos y muy difundida en plantaciones de todo el mundo. Sus requerimientos climáticos son similares a los de *P. elliottii* con excepción de una mayor tolerancia a las bajas temperaturas, traducida en un área potencialmente apta de 880000 ha en la provincia. Se aplican para esta especie las mismas consideraciones planteadas para *P. elliottii* respecto al tipo de suelos preferenciales en la zona serrana. Es importante destacar que las zonas aptas para esta especie en la provincia lo son sólo marginalmente.

***Pinus radiata* D. Don.**

Pino de Monterrey o insignis, originario de ambientes marítimos de California. Especie implantada exitosamente en ambientes mediterráneos (lluvias invernales y temperaturas poco variables estacionalmente) en Chile, Nueva Zelandia y Sudáfrica. Exhibe alta plasticidad a los distintos tipos de suelos pero tiene mejor crecimiento en suelos sueltos y profundos, siendo pobre el desarrollo en los muy compactos y arcillosos o calcáreos y salinos. Se adapta a suelos rocosos y pedregosos. La provincia solo presente ambientes marginalmente aptos para la especie. Si bien se observan crecimientos mayores a los de otros pinos en algunos sitios relevados (p.ej Los Membrillos), se plantean problemas de ramificación y mal desarrollo del fuste para esta especie en climas más continentales como el de San Luis. En Córdoba se ha establecido exitosamente entre 800-1200 m de altitud, con un crecimiento volumétrico de 11.2 m^3.ha. año. (Golfari, L. 1965).

El área potencialmente apta abarca 119000 ha, concentradas en la ladera este de las sierras de San Luis sin alcanzar las alturas máximas en las que el frío puede afectar a la especie.

Pinus halepensis M.

Conocido como pino de alepo o carrasco, está presente en bosques secos de tipo mediterráneo de Europa, Asia occidental y África del norte. Existen registros de sobrevivencia con precipitaciones de 250 mm/año. Se adapta a suelos superficiales, pedregosos, salitrosos y alcalinos. Es uno de los elementos forestales de más consideración en zonas áridas y semiáridas. Muy vulnerable al granizo. Los pocos registros de crecimiento disponibles sugieren producciones de 15 m^3.ha. año en La Pampa y de 6.4 m^3.ha. año en Villa Dolores (Córdoba) (Golfari, L. 1965) (Lelll, S.1978). Junto a *P. ponderosa* representa la especie más resistente a la aridez, lo que se traduce en un área potencialmente apta de casi cuatro millones de hectáreas (3850000 ha) en la provincia. A diferencia de *P. ponderosa*, esta especie presenta limitaciones por frío extremo en la zona de mayor elevación de las sierras de San Luis. Cabe indicar aquí que *P. brutia*, especie muy relacionada a *P. halepensis*, mostraría condiciones mejores para la

producción en San Luis. Esta especie, fuertemente emparentada con *P. halepensis* es orginaria de zonas más continentales y en algunos casos de áreas con lluvias estivales. Sus fustes suelen ser más rectos dándole a la especie mejor porte forestal.

***P pinaster* Ait.**

Pino marítimo o pino resinero. Ocupa una parte extensa en los países del Mediterráneo occidental y de la parte atlántica de Francia, España y Portugal. La especie es una de las más comunes en las forestaciones de dunas atlánticas en la Provincia de Buenos Aires y el Uruguay. El área potencialmente apta abarca 796000 ha

***P pinea* L.**

Conocido como pino piñonero, coincide en su distribución natural con P. pinaster en Europa. Además del aprovechamiento forestal esta especie es utilizada para la producción de sus piñones comestibles. En nuestro país se ha plantado en sistemas dunícolas al igual que P. pinaster, con quien comparte la misma zona de aptitud en la provincia.

***Pinus ponderosa* P.& C. Lawson**

Este pino es originario del oeste norteamericano y ocupa un rango muy grande de condiciones ambientales desde México hasta Canadá. En nuestro país su zona de mayor difusión es la Patagonia, dónde ocupa tierras de estepa adyacentes a las ocupadas por los bosques nativos con niveles de precipitación de ~ 400 mm/año o mayores.

En San Luis las zonas aptas abarcan las serranías de San Luis y Comechingones en su totalidad y las planicies del centro este y sudeste. El área potencialmente apta abarca casi cuatro millones de hectáreas (3835000 ha).

Cabe destacar que existen antecedentes de plantaciones de *P. ponderosa* en suelos arenosos bajo climas semiáridos similares a los del sur de la provincia de San Luis en Nebraska (EE.UU.) (Wedin et al. 2000).

Si bien no se han relevado plantaciones de más de un lustro para esta especie en la provincia, se ha observado una alta tasa de supervivencia de la misma en todos los sitios visitados en la Sierra de San Luis, superando a las de otras especies de pinos cuando estuvieron presentes. Cabe destacar que en la ladera oriental de la Sierra de Comechingones en Córdoba esta especie se ha implantado exitosamente pero ha mostrado crecimientos menores que los de *P. elliottii*. Las observaciones realizadas en San Luis y en Córdoba sugieren que en las áreas de la provincia clasificadas como aptas para *P. elliottii* y *P. ponderosa* la primera especie tiene mayores riesgos de fallas y daños por sequía y frío, pero mayor potencial de crecimiento que la segunda.

Los sitios de origen del *P. ponderosa* introducido en nuestro país son por lo general de climas mediterráneos (precipitación invernal), similares a los de su principal zona de destino en el país, que es la Patagonia. En San Luis se recomienda la introducción de orígenes diferentes, provenientes de la falda oriental de las montañas rocallosas, donde el clima es más continental y la lluvia estival.

P. patula y P. canariensis

No se identifican áreas potencialmente aptas en la provincia

Algunos aspectos comparativos en pinos

La elección de especies a implantar responde por lo general a cuestiones ecológicas tales como la capacidad de establecimiento y crecimiento de las especies en los ambientes disponibles así como económicas, relacionadas a la existencia de mercados, costos de flete, etc. Aquí se ordenan las especies de pinos evaluadas en función de aspectos ecológicos, específicamente potencial tasa de crecimiento y riesgo de falla de las plantaciones para la zona serrana, forestalmente la más importante de la provincia.

De acuerdo al potencial de crecimiento alcanzable se estima, a partir de las limitadas situaciones disponibles en la provincia, que los máximos valores corresponderían a *P. radiata*, seguido con valores mucho menores por *P halepensis/brutia*, luego por *P. pinea* y por último por *P ponderosa*, que mostraría las tasas de crecimiento menores.

Por otra parte este orden se altera si se considera el riesgo de fallas por frío o sequía. En este sentido se estima que la especie con menor riesgo de fallas sería *P ponderosa*, seguida por *P halepensis/brutia*, luego por *P pinea* y finalmente con riesgos muy altos *P. radiata*. *Pinus elliottii* y *P. taeda* mostrarían riesgos mayores aun a los de *P. radiata* y *P canariensis* y *P patula* se descartan como opción.

Este ordenamiento de especies evidencia un claro compromiso entre potencial de crecimiento y seguridad de establecimiento. En general plantaciones más seguras, como las de *P. ponderosa* y *P. halepensis/brutia* tendrán crecimientos más bajos, pero mayores posibilidades de llegar con buena cantidad de plantas al momento de la cosecha. Cuando se cuente con ambientes excepcionalmente húmedos y no muy fríos, tales como algunas posiciones reparadas de altitud media en la sierra de San Luis, podría ser recomendable la implantación de *P. elliottii*, *P. taeda* y *P radiata* para lograr mayores rendimientos.

***Eucaliptus camaldulensis* Dehnh.**

Especie originaria de Australia, muy difundida en todo ese continente, principalmente a lo largo de corredores de ríos. Es comúnmente encontrada en ambientes muy áridos cuando existen fuentes de agua adicionales a la lluvia. Soporta condiciones de sequía y dentro de las especies del género es

moderadamente resistente al frío y muy resistente a calores fuertes de verano. Acepta suelos de muy distinto tipo siendo posible su establecimiento y crecimiento en suelos superficiales, compactos, arcillosos, pedregosos, de inferior o nula permeabilidad, encharcados, alcalinos y hasta moderadamente salinos. Si bien la especie está muy difundida en el país, las plantaciones comerciales no son tan comunes y en climas húmedos se prefieren especies de mayor tasa de crecimiento como *E grandis*, *E globulus* o *E dunni* más recientemente. En la provincia la especie se encuentra restringida al noroeste por la aridez y en las sierras y el centro-este por el frío invernal. En el sudoeste se excluyen las zonas que si bien presentan precipitaciones levemente por encima del valor mínimo requerido, tienen suelos de muy baja capacidad de retención hídrica. Esto limita a la especie a un corredor N-S en la depresión de Vilance y el Desaguadero y los sectores noreste y sudeste de la provincia, con un área potencialmente apta de más de tres millones de hectáreas (3038000 ha).

***Eucaliptus viminalis* Labill.**

Otra especie del género, en este caso típica de bosques fríos húmedos y subhúmedos del SO de Australia en climas ligeramente continentales. Entre las especies del género es una de las más resistentes al frío. Es menos resistente a la sequía, al calor estival y la salinidad que E. camaldulensis. Requiere suelos sueltos, profundos, permeables y ricos, excluyendo los suelos pedregosos, encharcados, compactos y/o salinos.

Se encuentra en el Oeste de Buenos Aires, noreste de La Pampa. Se citan valores de crecimiento de 13-18 $m^3.ha^{-1}.año^{-1}$ en la zona oriental de la provincia de La Pampa (Poduje L. y Roic L. 1972) (Mangieri, H y Dimitri, M. 1961). En San Luis su área de aptitud está restringida por la aridez (Oeste) y por el frío (zonas altas de sierra y llanuras del sur). La misma abarca 997000 ha. Es importante aclarar que los orígenes más continentales de la especie serían los de mayor interés para la provincia. En este sentido una especie recientemente separada de *E. viminalis*, llamada *E. nobilis*, presentaría mejor aptitud para el clima más árido y de extremos térmicos mayores.

Eucaliptus tereticornis Sm.

No se identifican áreas potencialmente aptas en la provincia.

***Robinia pseudoacacia* L.**

Especie decidua originaria del este de Norteamérica común en bosques templados húmedos en donde suele ocupar un estrato intermedio. Muy difundida en todo el país como ornamental y formando montes de reparo para el ganado. En San Luis existen pequeños macizos en la zona serrana.

Su distribución está limitada por la aridez y no se espera limitación por frío dentro del territorio provincial. En el caso de las sierras, las zonas preferenciales para su implantación son las de pampas y valles. En Sierras del Portezuelo (33º 08'S; 65º 05' W) en secano se determinó un crecimiento volumétrico de 2,5 $m^3.ha^{-}$

^{1}.año^{-1}, para esta especie (Bogino et al, 2005). El área potencialmente apta abarca 2530000 ha

***Populus deltoides* M.**

Especie decidua originaria de Norteamérica, presente en ambientes riparios de casi todo el continente. En zonas áridas se encuentra en sectores con agua freática disponible a baja profundidad (< 3 m) y niveles estables. No tolera inundación por períodos prolongados. Está ampliamente difundida en el país existiendo plantaciones de secano en provincia de Buenos Aires tanto en el interior como en el delta del Paraná, en dónde suele ocupar suelos previamente drenados. En San Luis su área de aptitud es restringida por la aridez a los sectores más lluviosos de la provincia. En las zonas de sierra se recomienda su plantación únicamente en zonas de pampas y valles. Cabe notar que esta especie podría ser implantada por debajo de los límites de precipitación sugeridos en situaciones en que pueda acceder a una fuente de agua adicional de buena calidad y disponibilidad estable. Este es el caso de los valles húmedos de la sierra en zonas no incluidas inicialmente por escasa precipitación. El sur arenoso, en la zona de lagunas, puede presentar ambientes propicios por las mismas razones, pero la factibilidad de plantaciones allí requiere un análisis más detallado de la fluctuación de niveles freáticos y la tolerancia a los mismos por la especie. Se sugiere un área potencialmente apta de 35000 ha. Bajo riego, el crecimiento volumétrico medido en Candelaria es de 12,8 m^3.ha^{-1}.$año^{-1}$, para esta especie (Bogino et al. 2005). El análisis de zonas climáticas similares a San Luis en el resto del planeta señala áreas en las que sería promisoria la búsqueda de especies y orígenes del género *Populus* para su introducción en el sur de San Luis, especialmente interesante en este sentido es *P. simoni* de China.

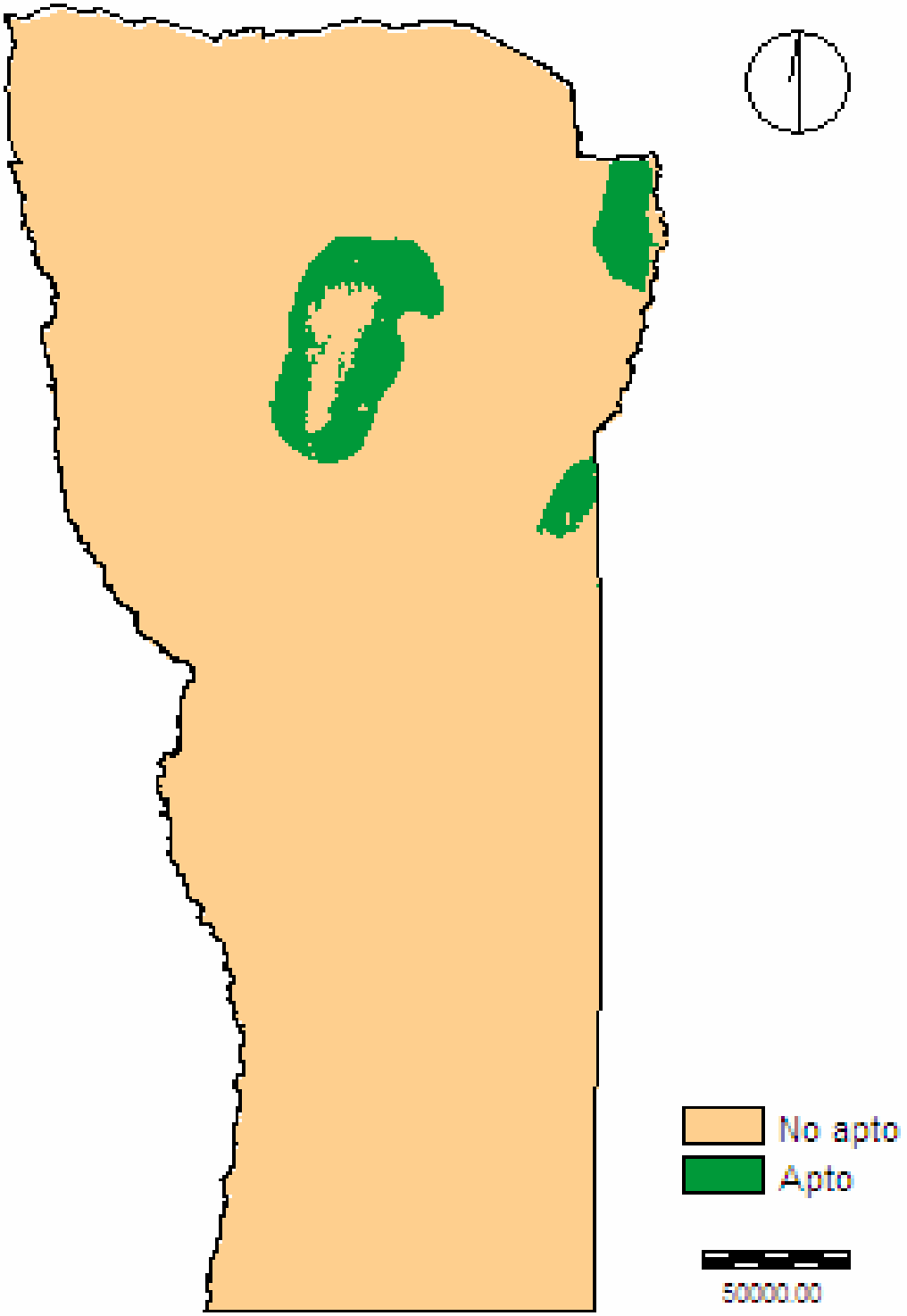


Figura: IV.1.: Area potencialmente apta para *Pinus elliottii* en San Luis

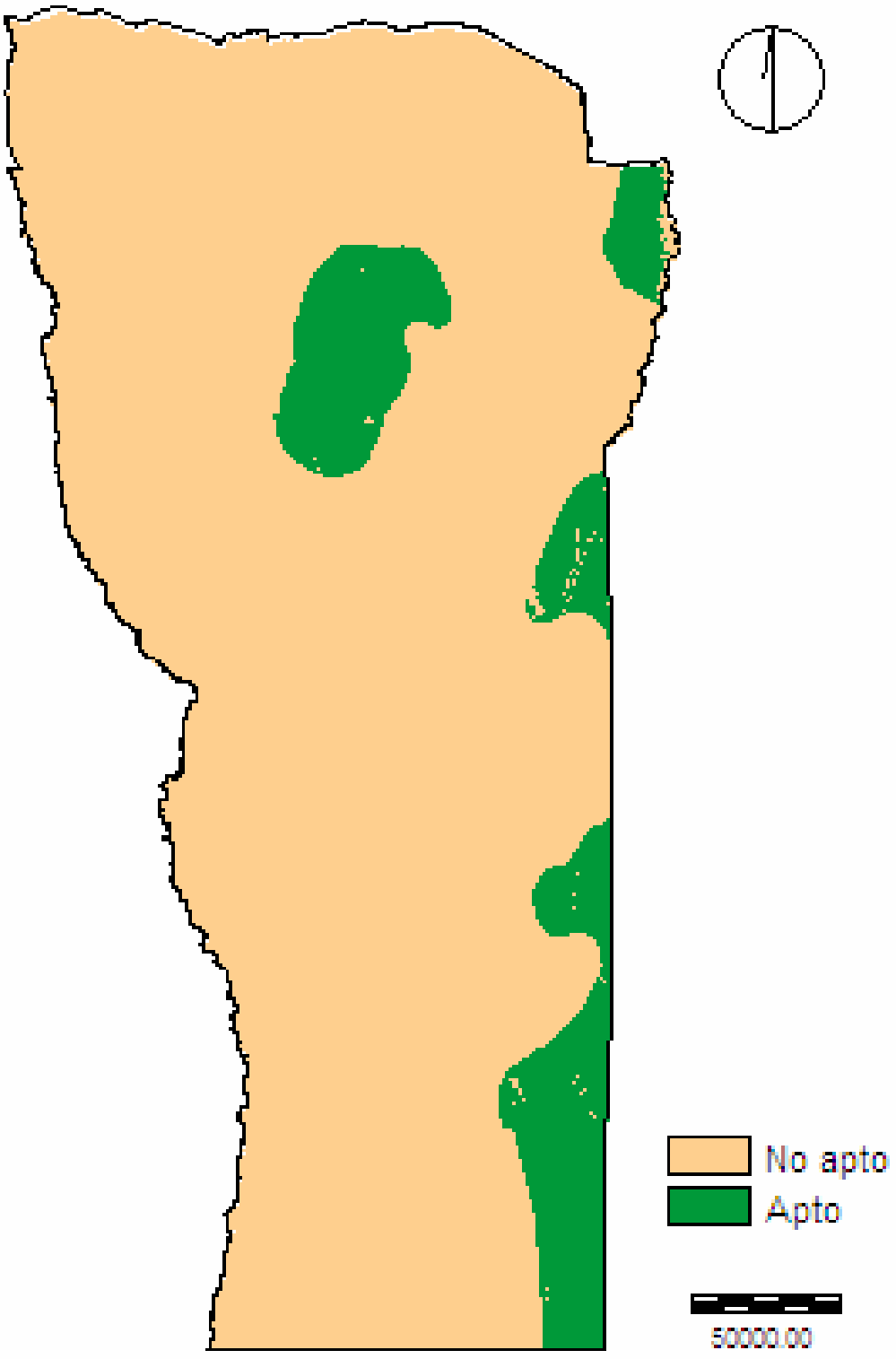


Figura: IV.2: Area potencialmente apta para *Pinus taeda* en San Luis

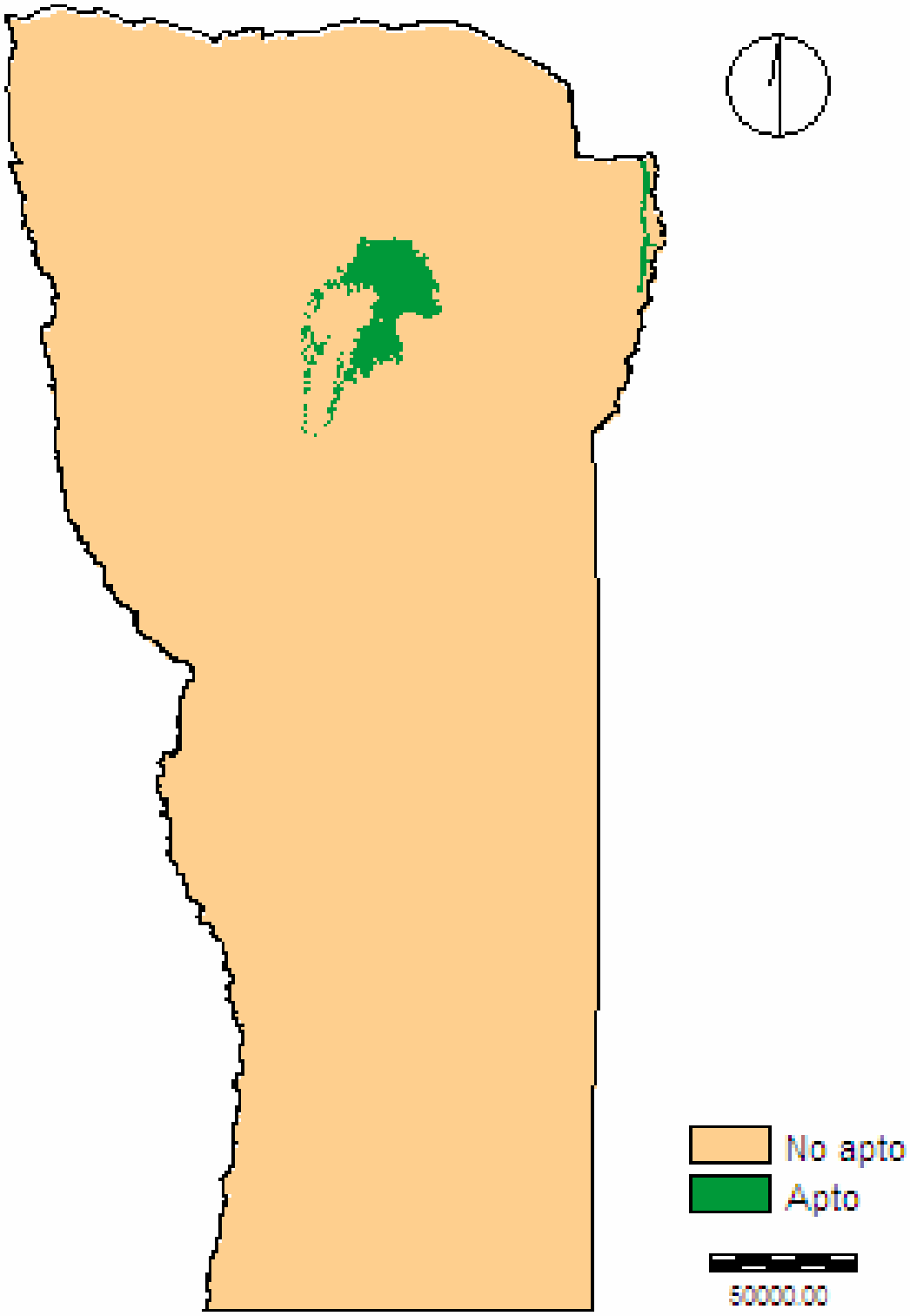


Figura: IV.3: Area potencialmente apta para *Pinus radiata* en San Luis

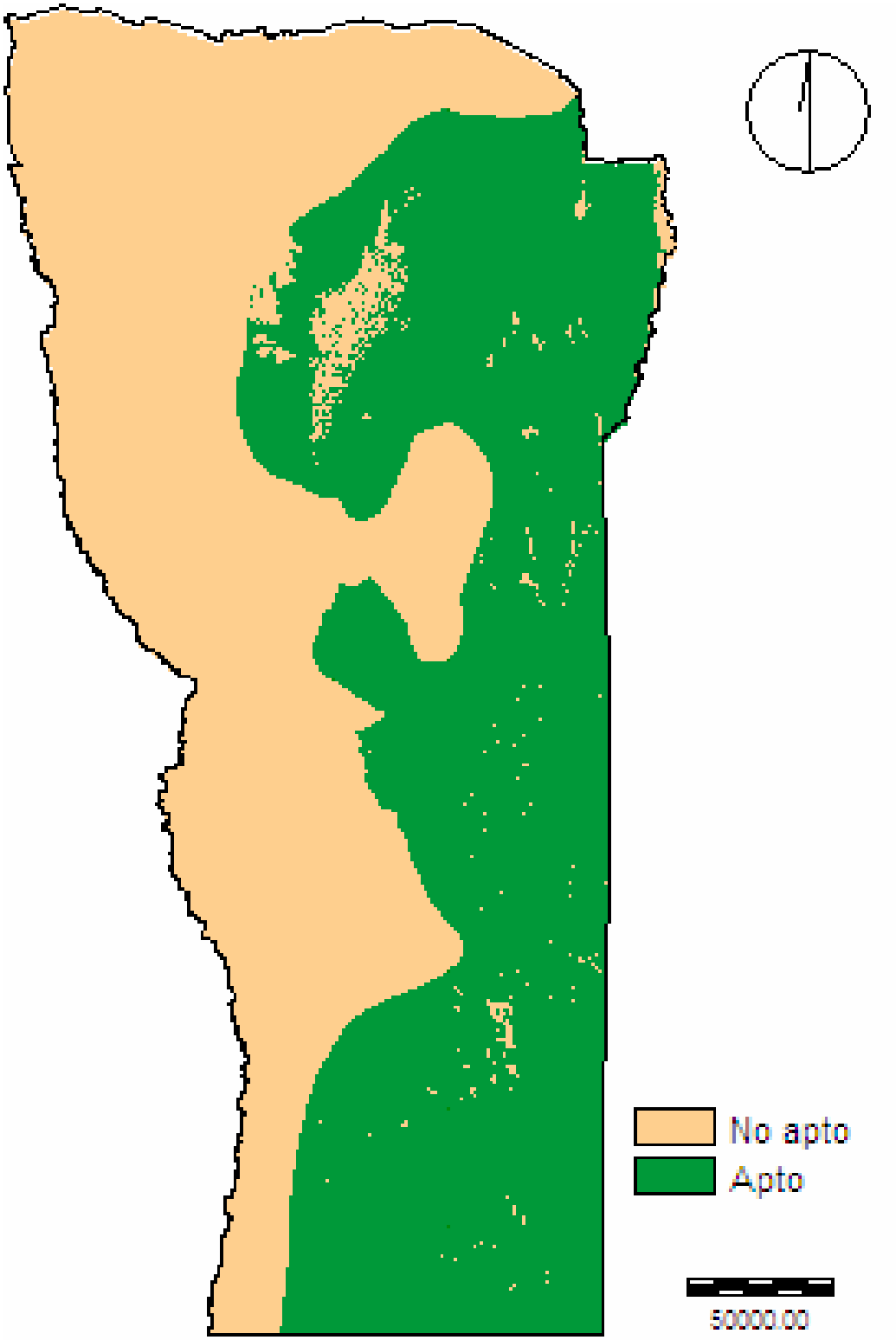


Figura: IV.4: Area potencialmente apta para *Pinus halepensis* en San Luis

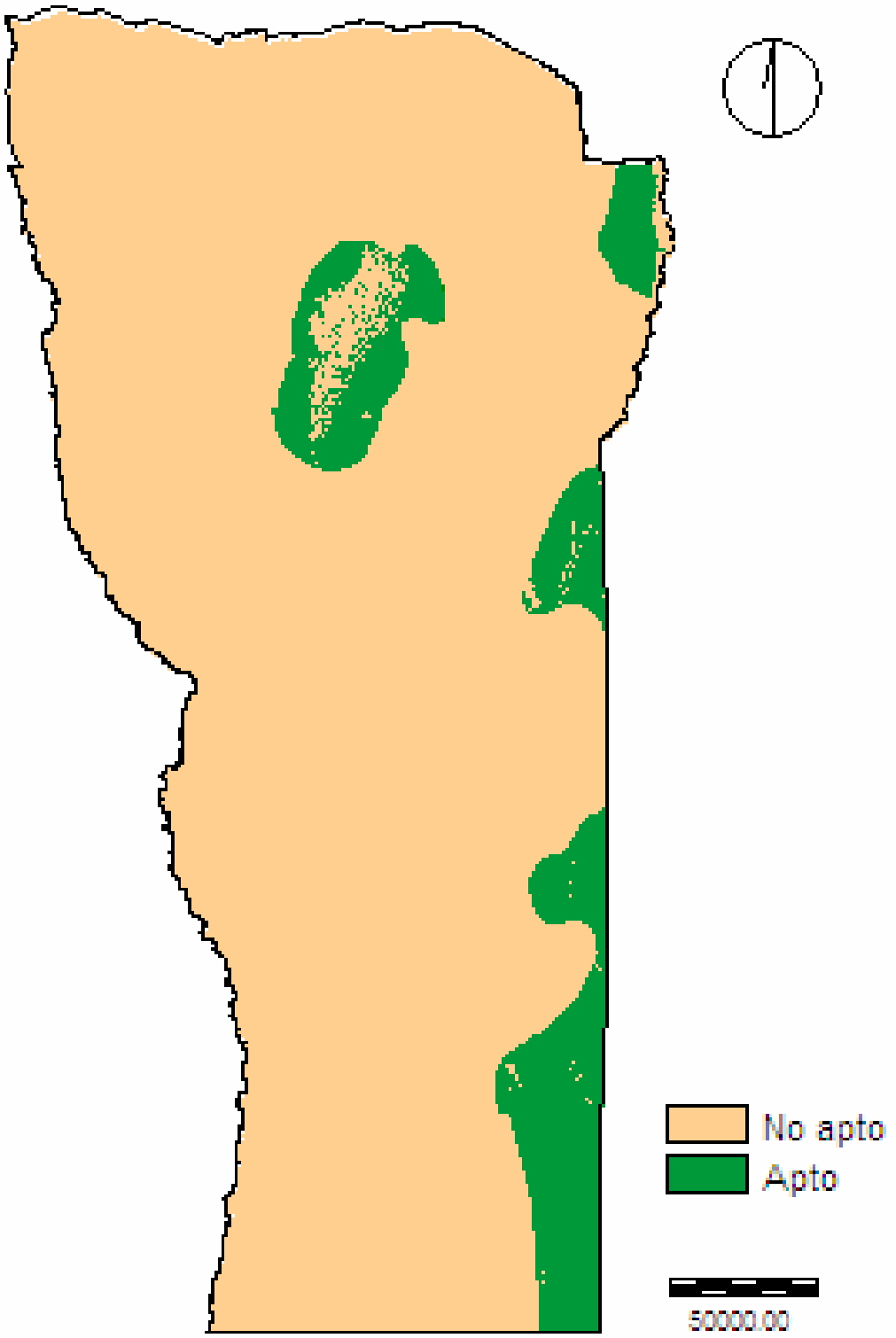


Figura: IV.5: Area potencialmente apta para *Pinus pinaster y P. pinea* en San Luis

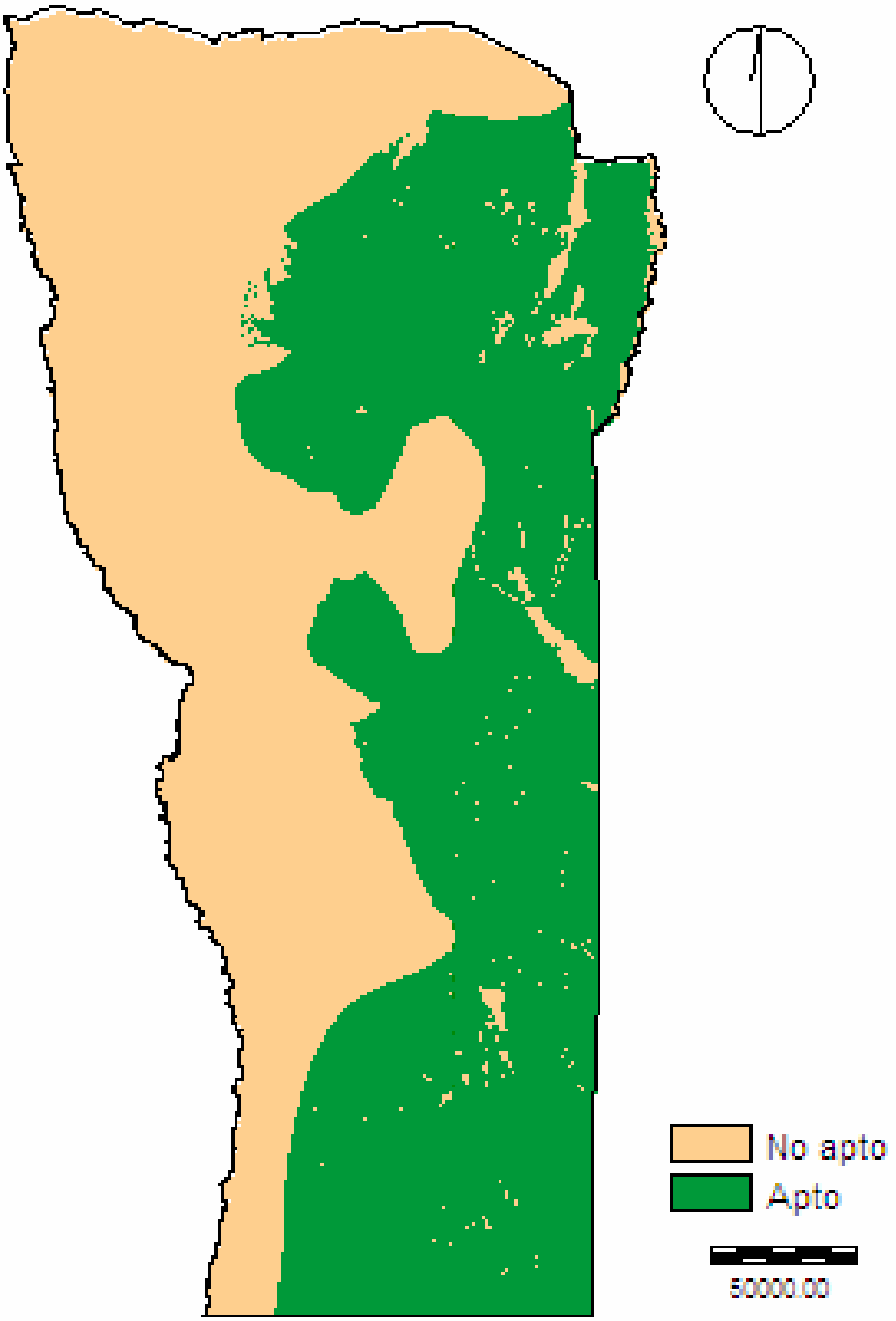


Figura: IV.6: Area potencialmente apta para *Pinus ponderosa* en San Luis

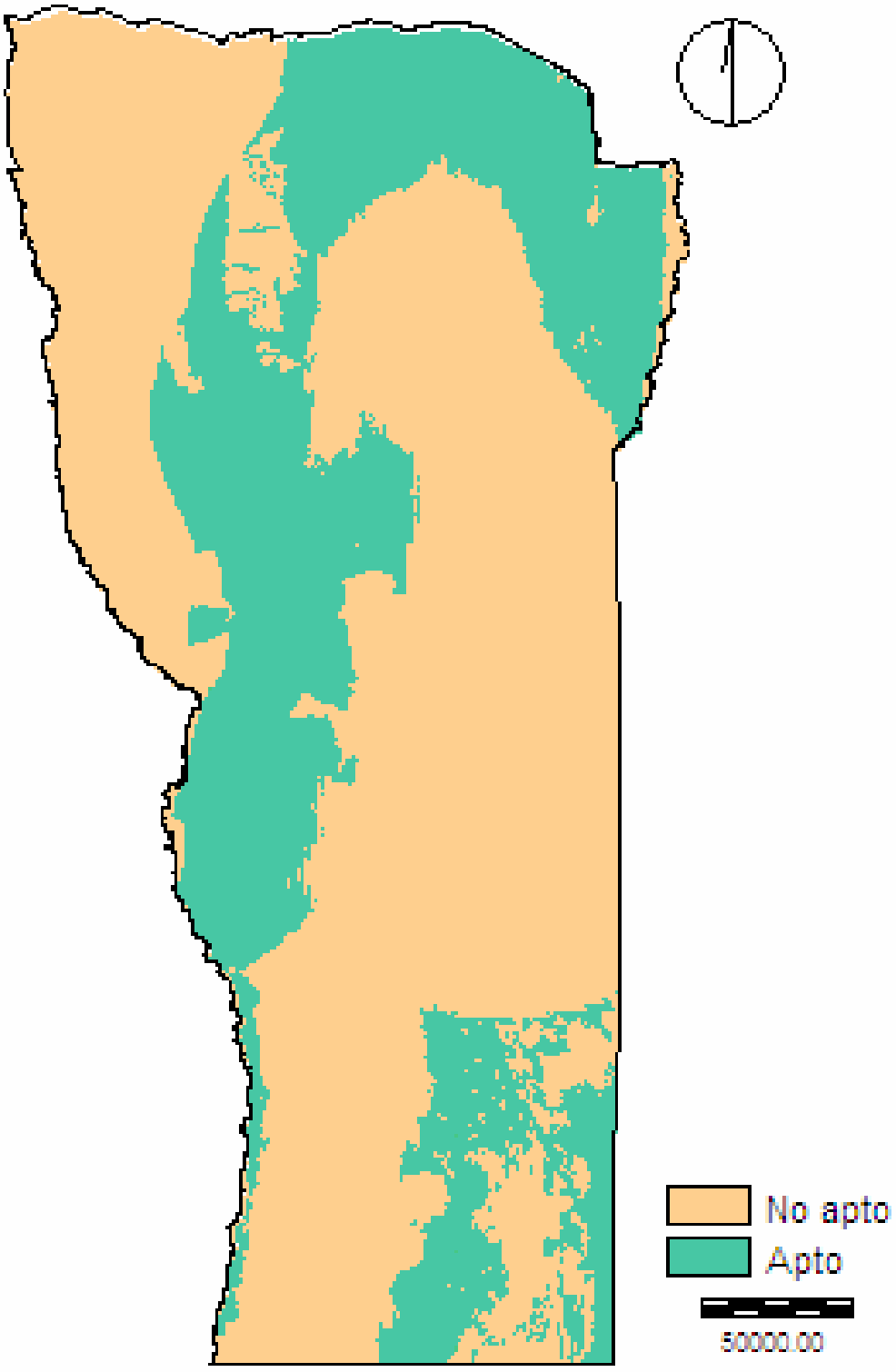


Figura: IV.7: Area potencialmente apta para *Eucaliptus camaldulensis* en San Luis

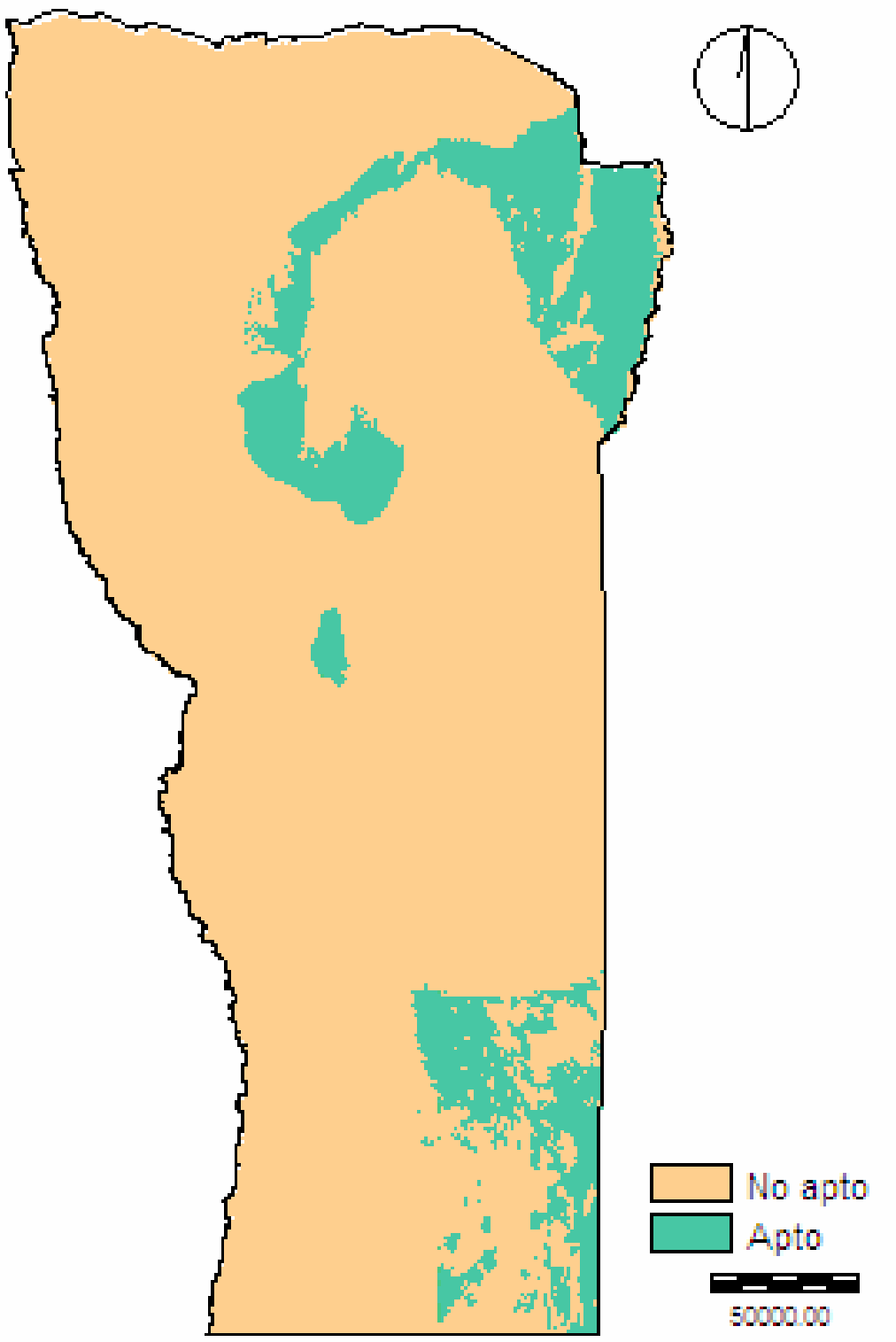


Figura: IV.8: Area potencialmente apta para *Eucaliptus viminalis* en San Luis

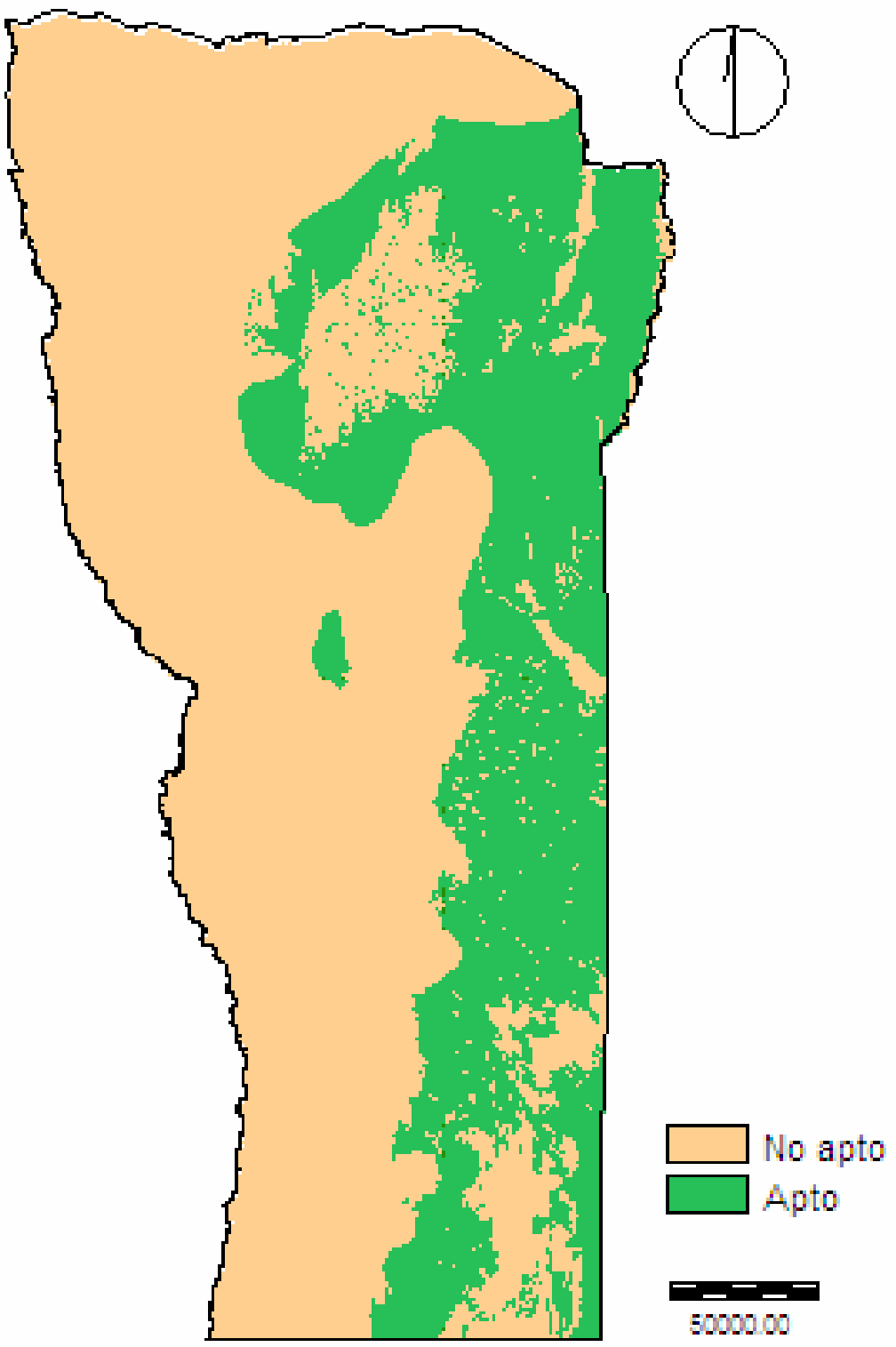


Figura: IV.9: Area potencialmente apta para *Robinia pseudoacacia* en San Luis

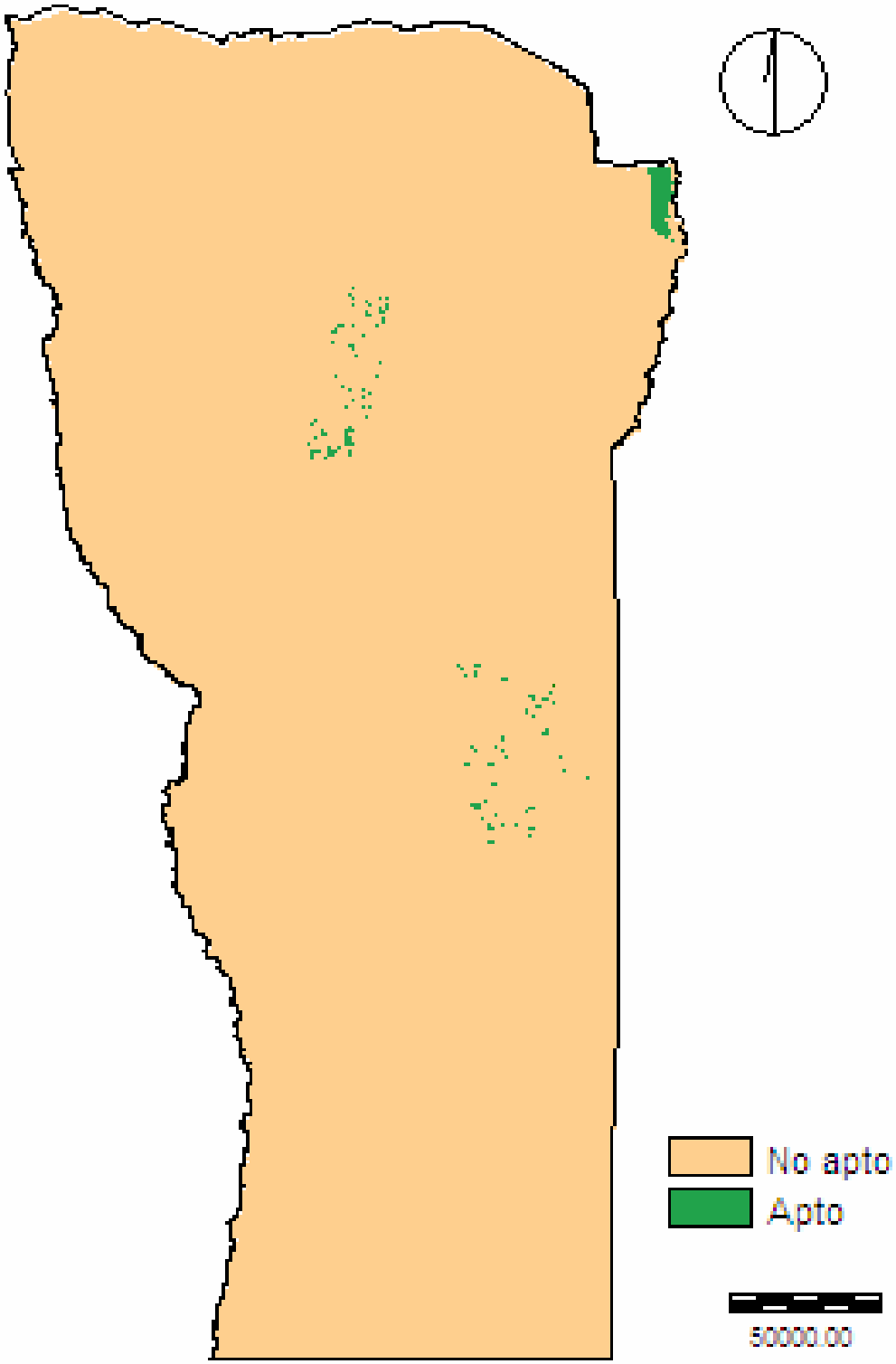


Figura: IV.10: Area potencialmente apta para *Populus deltoides* en San Luis

Referencias

Bogino, S; M. Gómez, Z. Furlán, S. Escudero y A. Corral. 2005. Crecimiento de acacia blanca (R*obinia pseudo-acacia* L.) en la provincia de San Luis. Revista forestal sagpya. nº28.

Bogino, S. Panunzio, J. y Gómez, M. 2005. Crecimiento de *Populus x euroamericana cv*. Conti 12, bajo riego , en la provincia de San Luis. Inédito

Booth TH and Jones PG (1998) Identifying climatically suitable areas for growing particular trees in Latin America. Forest Ecology and Management 108:167–173.

Cátedra de Dasonomía. 2004. Trabajo práctico. F.I.C.E.S., UNSL. (inédito).

Dunn GM, Taylor DW, Nester MR, and Beetson TB (1994) Performance of twelve selected Australian tree species on a saline site in southeast Queensland. Forest Ecology and Management 70:255-264

Foroughbakhch R, Háuad LA, Badii MH, and Earl PR (1997). Establishment and growth of five Eucalyptus species in northeastern Mexico. Forest, Farm, and Community Tree Research Reports 2:46-50

Golfari, L. 1965 Regiones potencialmente aptas para plantaciones de pinos y otras coníferas en América Latina. IDIA Suplemento forestal 2:19-48.

Humphries HC and Bourgeron PS (2003) Environmental responses of Pinus ponderosa and associated species in the south-western USA. Journal of Biogeography 30:257–276.

Lell, D. 1978. Ensayos de especies forestales en La Pampa. III Congreso Forestal Argentino. Buenos aires.

Mangieri, H y Dimitri, M. 1961. Los eucaliptos en la silvicultura. Editorial Acme. Buenos Aires, Argentina. 226 pp.

Poduje, L y Roic, L. 1972. Comportamiento de especies de Eucalyptus cultivados bajo condiciones de semiaridez y de frío en la provincia de La Pampa. Revista forestal Argentina XVII (3-4). Buenos Aires.

Wedin DA, Bullerman M, Minnick TJ (2000) Carbon balance of long-term experimental pine forests in the Nebraska Sandhills: A tradeoff between net carbon storage and soil carbon losses. Abstract Book - Ecological Society of America, Snowbird, Utah.

MAPAS

ESCALA 1:250000

ESPECIES:

- *Eucaliptus camaldulensis*
- *Eucaliptus viminalis*
- *Robinia pseudoacacia*
- *Populus deltoides*

ESPECIES:

- *Pinus elliottii*
- *Pinus taeda*
- *Pinus radiata*
- *Pinus halepensis*
- *Pinus ponderosa*
- *Pinus pinaster*
- *Pinus pinea*

MAPAS

ESCALA 1:100000

ESPECIES:

- *Pinus elliottii*(*)
- *Pinus taeda*(*)
- *Pinus radiata*(*)
- *Pinus halepensis*(*)
- *Pinus ponderosa*(*)
- *Pinus pinaster y P. pinea*(*)
- *Eucaliptus camaldulensis*(*)
- *Eucaliptus viminalis*(*)
- *Robinia pseudoacacia*(*)
- *Populus deltoides*(*)

(*)Ver mapas en sobre anexo

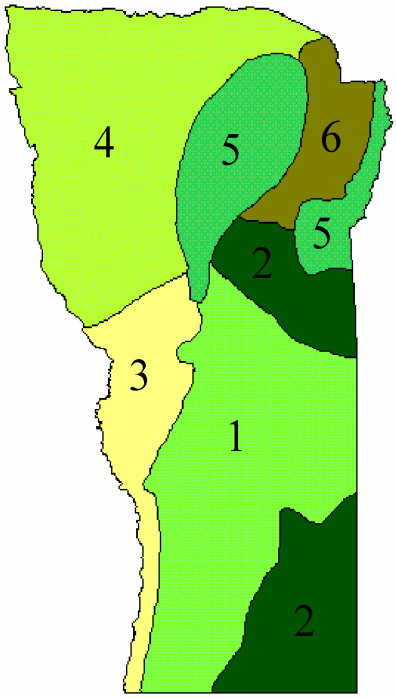
V. ESPECIES NATIVAS CON APTITUD FORESTAL

M.M. Gómez; A.D. Collado; E.G. Jobbagy; V.F. Gómez Hermida.

Introducción

El aprovechamiento forestal de los distintos tipos de vegetación leñosa del territorio provincial y el establecimiento de plantaciones con especies nativas, representan opciones de interés para el desarrollo de la actividad y la obtención de productos madereros de valor comercial. Estas oportunidades productivas en tierras con aptitud marginal o nula para determinadas especies exóticas constituyen una valiosa alternativa.

La provincia de San Luis presenta cinco formaciones vegetales y dos áreas de transición o ecotonos descriptas por Anderson et al., 1970, (figura V. 1), de las cuales cuatro corresponden a bosques o montes naturales ocupados por algunas especies de valor forestal.



1. Área medanosa con pastizales e isletas de chañar.
2. Bosque de Caldén.
3. Bosque de algarrobo, jarilla y chañar.
4. Bosque de quebracho blanco y algarrobo.
5. Bosques serranos.
6. Bosques de quebracho, algarrobo y caldén.

Figura V.1: Formaciones vegetales de la provincia de San Luis según Anderson, 1970.

1. Área medanosa con pastizales e isletas de chañar: representa una unidad con ausencia de especies forestales de interés comercial. Se caracteriza por la presencia de chañar localizado en las lomas y próximo a las fuentes de agua.

2. Bosque de caldén: abarca una superficie original de aproximadamente 600.000 ha con dos áreas principales, la del sur-este que se prolonga en la

provincia de La Pampa y la del centro-este que se extiende hacia el oeste hasta la localidad de Eleodoro Lobos. Esta formación muestra distintos grados de cobertura arbórea que van desde sabanas abiertas hasta matorrales densos; la especie dominante es el caldén, de gran valor forestal.

3. Bosque bajo de algarrobo, arbustal de jarilla y chañar: se encuentra ubicado en el sector oeste-sureste de la provincia y abarca una superficie original aproximada de 800.000 ha. Esta formación ocupa las tierras más áridas y en consecuencia el porte y productividad de madera de las especies de valor, son en este ambiente los más bajos.

4. Bosque de quebracho blanco y algarrobo: comprende el norte de la provincia con exclusión del área serrana y se extiende sobre una superficie de 1.500.000 ha, aproximadamente; en este ámbito se aprecian las especies arbóreas de mayor tamaño.

5. Bosques serranos: abarcan una superficie aproximada de 1.300.000 ha. Las especies arbóreas se encuentran en altitudes que varían desde los 850 a los 1300 msnm. (*Lithraea molleoides y Fagara coco*).

6. Bosques de quebracho, algarrobo y caldén: Comprende el Valle de Concarán donde la vegetación nativa ha sido muy alterada. En la actualidad solo se observan renovales de algarrobo negro y chañar con predominancia de arbustales constituidos por diversas especies.

Considerando que aproximadamente el 50% de la superficie provincial se ha encontrado cubierta por bosques o montes y dado el elevado número de especies nativas representadas, se mencionan solo aquellas que poseen los mejores atributos forestales.

Especies recomendadas

Caldén: *Prosopis caldenia* B.

Especie de la familia de las leguminosas, presente en la provincia fitogeográfica del espinal y endémica del Distrito del Caldén (Cabrera, 1976). Crece aislado, formando bosques casi puros o asociado a *Geoffrea decorticans*, *Jodina rhombifolia* y *Prosopis flexuosa*. También puede acompañar a los arbustales de *Larrea divaricata*. Es un árbol de 4 a 10 m de altura que se presenta en bosques abiertos, en ocasiones con fisonomía de savana, siendo característico de climas semiáridos. Sus frutos son legumbres que constituyen un importante aporte a la dieta del ganado vacuno. Prefiere terrenos bajos y deprimidos, con suelos arenosos y franco arenosos. Presenta una madera semipesada (0.650 kg/dm^3); el duramen es castaño amarillento, tornándose castaño oscuro con el transcurso del tiempo; a pesar de ser más liviana que la madera de algarrobo es más resistente al deterioro. El rollizo tiene una longitud promedio de 2 metros, con un diámetro de 40 cm. Presenta un secado fácil y se la utiliza para parquet, carpintería de obra, carpintería rural y muebles de calidad.

Bogino, S. (2005), determinó con el empleo de una combinación de técnicas dendrocronológicas el crecimiento radial promedio y el turno biológico de corta de cuatro rodales de caldén, ubicados en la provincia de San Luis. A partir

de estos estudios se pudo establecer, considerando los incrementos en el área basal, que el mismo oscila entre 66 y 100 años dependiendo del sitio. Para un período de 50 años el crecimiento radial acumulado promedio de la especie osciló entre 135 y 185 mm, en tanto que el crecimiento anual radial promedio varió entre 2,7 y 4 mm.año^{-1}.

La densidad de estos bosques es de aproximadamente 200 árboles por hectárea, como sugieren estudios realizados en la laguna El Cuero (Cisneros et al. 2002). Según Gabutti (2000), los bosques presentan distinto grado de madurez, debido a la regeneración de la vegetación luego del abandono de tierras utilizadas con fines agrícolas. El caldén prospera en muchos sectores en los que la mayor parte de las especies evaluadas presenta limitaciones por frío y/o precipitación. Durante las campañas efectuadas para la confección del mapa de aptitud forestal de la provincia de San Luis, se detectaron individuos de la especie a 1400 metros de altitud en la localidad de Cerro Largo, siendo estos individuos posiblemente los que alcancen mayor altitud y prosperen en clima más fríos. A pesar de la importancia forestal de esta especie, se desconoce un manejo silvícola adecuado (no se practican tratamientos culturales de poda, limpieza y/o desarbustado). Al caldén se lo encuentra distribuido en La Pampa y San Luis, pero se extiende también en áreas marginales del suroeste de Córdoba, este de Mendoza y suroeste de Buenos Aires. Recientemente Verdes et al. (2005), han realizado investigaciones sobre la micropropagación de Prosopis caldenia con el propósito de facilitar su reproducción y dispersión.

Algarrobo dulce – Algarrobo negro: *Prosopis flexuosa* D.C.

En Argentina Prosopis flexuosa ocupa la zona centro oeste, en especial en la provincia fitogeográfica del Monte, en el Chaco Árido y con menor densidad se observa en el Distrito del Caldenal o Provincia del Espinal (Burkart, 1952).

Prosopis flexuosa var. depressa, forma arbustiva con troncos enterrados, se distribuye en el Monte Meridional y en la parte sur del Caldenal avanzando hasta los 43° de latitud sur. En la parte norte del Monte convive con Prosopis chilensis, en el Chaco Árido con Prosopis nigra y en el Caldenal con Prosopis caldenia.

Prosopis flexuosa se encuentra en zonas de 50 mm hasta 500 mm de precipitación, concentradas en la época estival; prospera bajo temperaturas que van desde los 48ºC de máxima absoluta hasta los -12ºC de mínima absoluta. Cuando convive con Prosopis chilensis, se encuentra en el llano (distribución zonal), mientras que Prosopis chilensis crece a los pies de las sierras, principalmente a orillas de los cursos de agua secos (conos de deyección) donde existen aportes extra de agua subsuperficiales y esporádicamente por escorrentía. De este modo Prosopis flexuosa forma grandes masas, mientras que Prosopis chilensis se agrupa en pequeñas poblaciones, en muchos casos su distribución asume una estructura lineal (en galería), por lo que ambas especies entran en contacto a la salida de las quebradas y en la base de los conos de deyección. Estas áreas coinciden, normalmente, con zonas sistematizadas para riego (oasis de Villa Dolores, Chancaní, Quines y Candelaria, entre otras localidades).

Estudios como los de Verga, 2002 y Villagra et al., 2005, determinaron que en la provincia de Mendoza, el crecimiento de *Prosopis flexuosa* se ve influenciado por la presencia del nivel freático. La especie ha sido probada en forma experimental para la fijación de médanos con resultados promisorios debido a su bioforma, a su sistema radical, a su capacidad competitiva y a que mejora las condiciones ambientales para el establecimiento de otras especies (Dalmaso et al. 1987).

La madera tiene diversos usos, en carpintería de obra, carpintería rural, carpintería fina, fabricación de muebles de estilo rústico y artesanías, siendo los muebles más claros que los confeccionados con algarrobos blancos. Se utiliza también como combustible o para la elaboración de carbón vegetal y con fines alimenticios similares a Prosopis alba; las flores son abundantes y melíferas, con elevada cantidad de néctar y polen.

El valor promedio de productividad leñosa para un sitio del Chaco árido con una densidad promedio de 120 árboles/ha, fue estimado en 32 t/ha en un bosque de rehache de aproximadamente 40 años (Martijena et al. 1988). Se la encuentra en Tucumán, Catamarca, La Rioja, Córdoba, San Luis, San Juan, Mendoza, La Pampa, Río Negro, sur de Buenos Aires y en todo el territorio de la provincia de San Luis.

Algarrobo blanco: *Prosopis chilensis* (Mol.) Stunz

Esta es una especie cultivada en muchos países del mundo. En Argentina se encuentra en la provincia fitogeográfica del Monte Septentrional y penetra en la porción más seca del Chaco (Burkart, A. 1952). Entre los 26 y 34º de latitud sur, convive con Prosopis flexuosa (quien lo supera en cantidad).

A los algarrobos blancos se los encuentra en zonas de 50 mm hasta 500 mm de precipitaciones. Por debajo de los 300 mm se comporta como freatófita; su rango de distribución abarca temperaturas desde los 48ºC de máxima absoluta, hasta los -5 ºC.

Se lo encuentra en distintos tipos de suelos, especialmente en los franco arenosos; tolera suelos con cierto tenor salino pero no soporta condiciones de anegamiento. También se encuentra en áreas serranas sobre suelos con cierta pedregosidad o aluvionales, hasta los 1.000 msnm., aunque puede llegar hasta los 2.000 msnm en latitudes menores.

La madera de Prosopis chilensis es de fácil secado, permite el trabajo en verde y adquiere un acabado liso y brillo natural. Los principales usos de su madera son: postes y varillas, rodrigones y varillones para las viñas; carpintería de obra, rural y fina; ademá con fines artesanales pueden obtenerse platos, utensilios, cajas y adornos en general. Como todo Prosopis, provee un combustible de alta calidad como leña, con 4.200 kcal/kg o como carbón vegetal con 6.500 kcal/kg.

En la misma zona, el crecimiento de Prosopis chilensis es mayor que el de Prosopis flexuosa. En estudios dendrocronológicos, realizados en el Chaco Árido, se determinó que el ancho de anillos de crecimiento de Prosopis chilensis es

aproximadamente el doble que el de Prosopis flexuosa, obteniéndose en consecuencia individuos del mismo porte en la mitad del tiempo. Es de rápido crecimiento con aportes extra de agua sin perder sus cualidades madereras (Prosopis. 1988). Se la encuentra en Tucumán, Catamarca, La Rioja, Santiago del Estero, San Juan, Mendoza, San Luis y Córdoba; en San Luis se la encuentra en los llanos y serranías del norte, en quebradas húmedas y márgenes de ríos.

Algarrobo blanco: *Prosopis alba* Grisebach

Es una leguminosa que se encuentra en la zona centro y norte del país, en el ámbito de las provincias fitogeográficas de Chaco y Espinal y penetra en la provincia fitogeográfica del Monte en el sector Noroeste (Burkart, 1952). Los algarrobos blancos se encuentra en zonas de 500 - 1.200 mm. de precipitaciones estivales, con temperaturas que oscilan desde los 48ºC de máxima absoluta, hasta los -10ºC de mínima absoluta.

Respecto de los suelos, prefiere los de naturaleza franco-arenosa, tolera bajos niveles de salinidad y soporta anegamientos temporales de 1 a 2 meses. Es menos resistente a la aridez que Prosopis nigra y se lo encuentra en áreas serranas sobre suelos con cierta pedregosidad o aluvionales hasta los 1.000 msnm. Su mejor desarrollo lo alcanza con presencia del nivel freático próximo a los 15 m de profundidad (Prosopis, 1988).

El rollizo tiene una longitud promedio, de 3 metros, con un diámetro de 30 cm y una densidad aproximada de 0.760 kg/dm$^{3.}$ La madera de *Prosopis alba* es de fácil secado, permite el trabajo en verde y a pesar del nombre (alba) es de color más oscuro que otros algarrobos, presentando una buena respuesta al cepillado. Se la usa en carpintería de obra: construcción de marcos, puertas, ventanas, parket y tirantes entre otros usos; en carpintería rural, se destina su madera a la fabricación de mangas, bretes, y en carpintería fina, a la fabricación de muebles de estilo rústico, pesados y con buen acabado de color oscuro. En Argentina más del 60% de los muebles de algarrobo son elaborados con madera de *Prosopis alba,* siendo una madera muy utilizada por los artesanos. Felker et al (2003), realizaron un análisis económico de la producción de madera aserrable (40 cm. de diámetro) de Prosopis en Argentina y Estados Unidos, comparando situaciones de producción con y sin manejo forestal.

Se adapta perfectamente en sistemas de producción silvopastoriles y agroforestales ya que permite que pasturas y cultivos prosperen bajo su dosel debido a que su sistema radical no es competitivo con las gramíneas; los frutos son utilizados tanto en la alimentación humana como animal. Se la encuentra distribuida en las provincias de Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe, Formosa, Chaco, Entre Ríos, Corrientes y San Luis, localizándose en esta última provincia en los llanos y serranías del norte

Quebracho blanco: *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht

Es un árbol característico de la provincia fitogeográfica chaqueña, encontrándose también en el monte y en la mesopotamia.

De tronco recto, puede medir desde 7 a 20 m de altura, según la región en donde se desarrolle, los rollizos presentan una longitud útil de 4 metros con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 40 cm. Es una de las especies forestales maderables más abundante en Argentina, de madera pesada y dura (0.850 kg/dm^3) de color amarillo ocre a rosado, de múltiples aplicaciones (varillas de alambrado, durmientes impregnados, carbón) aunque se la ha utilizado poco en la fabricación de muebles por sus dificultades en el secado. Si se la procesa y estabiliza correctamente, constituye una materia prima importante para la fabricación de parquet (Martínez, 2000).

Visco: *Acacia visco* Lorenzt ex Griseb.

Es un árbol que puede llegar a los 12 metros de altura, representa la especie de mayor porte dentro de las acacias nativas, de tronco erecto o inclinado, con diámetros que superan los 50 cm. Su copa es amplia, globosa, poco densa, caducifolia y no presenta espinas, constituyendo una especie de rápido crecimiento, muy rústica, poco exigente en suelo y resistente a la sequía y salinidad.

La madera es dura, pesada, densa, con un peso específico de 0.800 kg/dm^3, que merecería ensayarse como forestal (Dimitri et al., 1998). Se usa frecuentemente para postes, leña, carbón, carpintería y artesanías debido a su amplia distribución en nuestro país.

Brea: *Cercidium praecox* (Ruiz y Pav.) Burkart y Carter

Árbol forestal de amplia distribución en el NO argentino, en regiones cálidas con régimen hídrico seco del Parque chaqueño y en la región del Monte occidental. Puede alcanzar hasta 5 m de altura, de copa redondeada y rala, con el tronco corto y muy ramificado. La corteza es lisa y de color verde.

A pesar de tener escaso valor maderero, su importancia radica en una sustancia gomosa que exuda por sus heridas y que es semejante a la goma arábiga o goma de acacia, usada como espesante en industrias como la alimenticia. El árbol adulto puede producir hasta 300 gramos de goma al año dependiendo de la época de recolección, del tamaño de las heridas y las pérdidas en la cosecha (Alesso et al. 2003).

Es una especie colonizadora y podría ser utilizada para recuperar ambientes degradados y para proteger cuencas hidrográficas.

Retamo: *Bulnesia retama* (H. et A.) Griseb.

Se encuentra ampliamente difundida en las zonas áridas de Argentina, (regiones fitogeográficas del Monte y del Chaco Árido). Adquiere diversas formas según el lugar donde crece, se presenta en forma de árbol en la zona semi - árida de San Juan, La Rioja y San Luis, como arbusto, en la zona de transición y en forma de mata en las zonas áridas.

Desarrolla en sus ramas jóvenes una cera de color blanquecino que puede extraerse de diversas maneras; las propiedades físico–químicas de este producto permiten suplantar a la cera carnauba (material de importación) y se utiliza en múltiples elementos comerciales: cera para piso, pomada para cueros y diversos cosméticos entre otros. El rendimiento de cera pura oscila según el procedimiento empleado y el diámetro de la rama, entre un 2% a un 5% por tonelada de ramaje seco (Dalmasso y Llera, 1996).

Las ramas del retamo se usan por su dureza y peso (peso específico de 0.800 a 0.900 kg/dm^3) como postes y por su valor estético es muy utilizada en tornería para la confección de diversas piezas, con fines decorativos. Es una especie que está en retroceso debido a la tala indiscriminada, aspecto que debe considerarse ya que para lograr su altura máxima de 3 metros necesita unos 50 años.

La distribución espacial de algunas de las especies citadas precedentemente puede determinarse en base a la Carta de Suelos y Vegetación de la Provincia de San Luis elaborada por Peña Zubiate et al., 1998 (figura V.2).

Consideraciones finales

El progresivo proceso de agriculturización, ha promovido el reemplazo de los pastizales naturales y las áreas de bosques y/o montes, de vital importancia para el normal funcionamiento de los ecosistemas en regiones semiáridas (Bonatti, 2005).

Las especiales condiciones ecológicas que poseen las zonas más áridas de la provincia, determinan que el reemplazo de la vegetación original, el sobrepastoreo, los incendios (accidentales o intencionales), entro otros, problemas ambientales, desencadenen a mediano y/o largo plazo, procesos de desertificación (Collado et al., 2002; Collado et al., 2005 a y b ; Verga, 2000).

La longevidad de las leñosas nativas implica una necesidad de adaptación mayor, ya que los individuos se verán expuestos a importantes variaciones climáticas a través de los años (grandes variaciones térmicas, de humedad y la exposición frecuente a situaciones de extrema sequía) (Verga, 2000). Estas variaciones restringen la introducción de especies exóticas que han evolucionado bajo otras condiciones ambientales.

Al finalizar el Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, se concluyó que los factores que condicionan la desaparición y la degradación del bosque nativo, están representados por el ordenamiento territorial y los cambios de uso y cobertura de la tierra (Actas Congreso Forestal, 2005).

En este contexto, es recomendable, estudiar a las especies del género Prosopis, con amplia distribución en la provincia y que cumplen con los requerimientos para servir de base a sistemas silvopastoriles productivos sustentables.

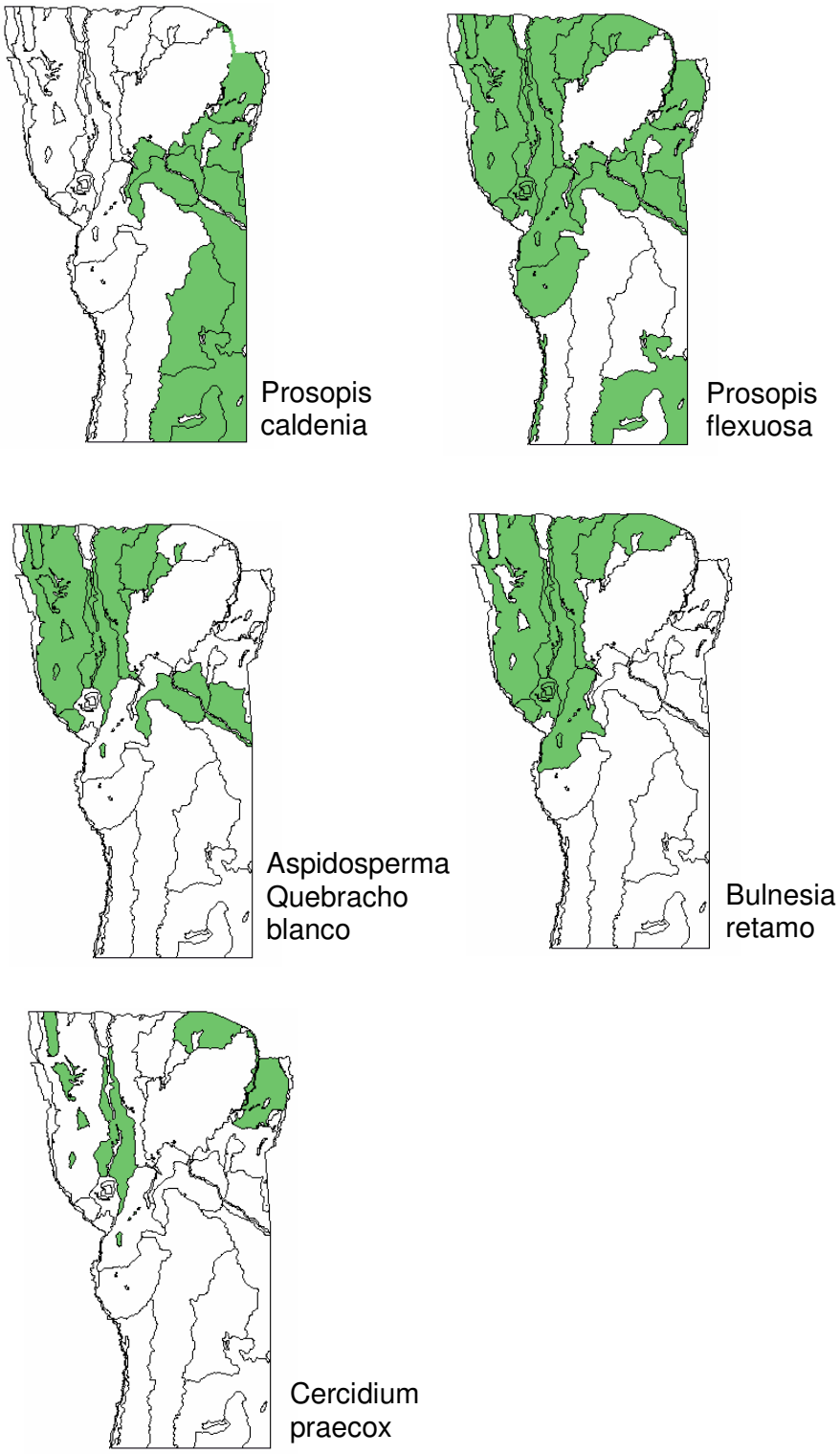


Figura V.2: Distribución de especies nativas de valor forestal (Peña Zubiate et al., 1998).

Referencias

Actas del Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, 2005. Corrientes. Argentina.

Alesso, S.; P. Araujo y R. Tapias, 2003. Aprovechamiento de la goma de Brea (Cercidium praecox) en bosques secundarios de bosque chaqueño seco. Influencia del tamaño de las heridas sobre la producción. Quebracho Nº 10 (60 – 70).

Anderson, D. L., J. L. Del Águila y A. E. Bernardón, 1970. Las formaciones vegetales de la provincia de San Luis. RIA 2 (VII): 3

Bogino, S., 2005. Crecimiento radial, turno biológico de corta y potencial dendroclimático del caldén (Prosopis caldenia Burkart), en la provincia de San Luis, Argentina. Tesis para optar al Grado Académico de Magister en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.

Bonatti, R., 2005. El deterioro de los recursos naturales desde una perspectiva institucional referida a la agricultura. III Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. Entre Ríos. Argentina.

Burkart, A., 1952. Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas, Acme Agency, Buenos Aires, Argentina, 590 p.

Cabrera, L. A.,1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II Fasc. Nº 1. 2º Edición Bs. As.

Cisneros, J; C. Nuñez; J. Cantero; A. Degioanni; O. Plevich; M. Cabido; L. Petryna y Amuchastegui, A., 2002. Caldenia cordobesa: una síntesis florística y ambiental. Primera Reunión Nacional para la conservación de la Caldenia. Córdoba.

Collado, A.D., Chuvieco, E. y Camarasa, A., 2002. Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina. Journal of Arid Environments – JARE 52: 121-133.

Collado, A. D. y M. R. Demaria, $2005_{(a)}$. Retroceso de pastizales naturales y bosques nativos en la provincia de San Luis. III Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. Entre Ríos. Argentina.

Collado, A. D. y J.C. Echeverría, $2005_{(b)}$. Variabilidad espacio-temporal de los incendio rurales en las provincias de San Luis y Mendoza. INTA, San Luis. Información Técnica Nº 167.

Dalmaso, A, M. Horno y Canoza, R., 1987. Utilización de especies nativas en la fijación de médanos. Primeras Jornadas Nacionales de Zonas Áridas y Semiáridas, Santiago del Estero, 139-148 p.

Dalmasso, A y J. Llera, 1996. Contenido de cera en relación al diámetro de rama de Bulnesia retama en Ampacama, Caucete, San Juan. Multequina 5 (43 – 48).

Dimitri, M.; R. Leonardis y S. Biloni, 1998. El nuevo libro del árbol. El Ateneo.

Felker,P y J. Guevara, 2003. Potential fo comercial hardwood forestry plantations in arid lands-an economic analyses of Prosopis lumber production in Argentina and the United States. Forest Ecology and Management . 271-286.

Gabutti E., 2000. Caracterización de la biodiversidad en el caldenal. Provincia Fitogeográfica del Espinal, San Luis. Tesis de Magíster en Investigación Biológica Aplicada. Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos aires, Azul. Argentina. 117 p.

Martijena, N., R. Coirini, L. De Monte y Pietrarelli L., 1988. Estimación de la producción económica de un bosque de algarrobo. VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero. 1: 172-176

Martínez, R., 2000. Mejora de la estabilidad dimensional de la madera de quebracho blanco Aspidosperma quebracho-blanco Schlecht mediante el uso de tanino y polietilenglicol. Quebracho 11.1

Peña Zubiate C., Anderson D., Demmi M., Saenz J. y D´ Hiriart A., 1998. Carta de Suelos y Vegetación de la provincia de San Luis. INTA EEA San Luis. Gobierno de la provincia de San Luis, San Luis, Argentina, 105 p.

Prosopis en Argentina, 1988. Documento preliminar Primer Taller Internacional sobre Recurso Genético y Conservación de Germoplasma en Prosopis. Fac. Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Córdoba. 339 p.

Verdes, P. y D. Celdrán, 2005. Micropropagación de Prosopis caldenia Burk. Congreso Internacional BAIRES BIOTEC 2005, VI Simposio nacional de Biotecnología, Encuentro trinacional REDBIO Argentina-Chile-Uruguay. Buenos Aires.

Verga, A., 2000. Algarrobos: una especie para forestación. SAGPyA Forestal N° 16.

Villagra P., Villalba R. and Boninsegna J., 2005. Structure and growth rate of Prosopis flexuosa woodlands in two contrasting environments of the central Monte desert. Journal of Arid Environment 60 (2) 187-199.

VI. ÁREAS CLIMÁTICAMENTE SIMILARES A SAN LUIS

EG Jobbágy y MD Nosetto

Importancia y criterios

La búsqueda de zonas climáticamente similares a las áreas de mayor interés forestal en San Luis permite identificar fuentes de material forestal nuevo para la provincia. Esto involucra especies nativas de las zonas identificadas así como especies que si bien son exóticas en esas regiones hayan demostrado en su territorio buen resultado forestal (por ejemplo genotipos de eucaliptos exitosos en Sudáfrica).

La definición de criterios climáticos a partir de los cuales buscar áreas similares debe considerar aquellos más relevantes para el tipo de especie o sistema productivo que se evalúa (Paruelo et al. 1995, Jobbágy & Jackson 2001). Así como en el caso de un cultivo anual de verano importarán las condiciones estivales de las áreas evaluadas y serán menos relevantes las invernales, en el caso de cultivos perennes resultará necesario considerar las condiciones de todo el año, caracterizándolas a partir de pocas variables relevantes. En la medida en la que se aumente el número de variables climáticas y se estrechen sus rangos, la posibilidad de encontrar zonas similares se reduce, hasta el punto en que muchas regiones del globo pueden volverse únicas por su particular arreglo de condiciones de temperatura y precipitación anuales y estacionales. En base a este principio y a las variables ambientales consideradas en la definición de los requerimientos de las especies y otras relevantes a nivel global se procedió a identificar áreas climáticamente similares a los dos sectores forestalmente más relevantes de la provincia por aptitud y extensión: las sierras centrales y las llanuras arenosas del sur.

En este análisis las variables climáticas básicas utilizadas fueron la precipitación media anual, la temperatura media del mes más cálido y la temperatura media del mes más frío. A esto se sumó en una segunda iteración la estacionalidad de la precipitación. El criterio aplicado asume que áreas cuyos rangos para estas variables se parezcan a las de San Luis alojarían especies apropiadas para su introducción.

En el caso de la precipitación media anual se buscó identificar zonas con un grado de aridez equivalente al de los territorios puntanos considerados y se fijaron límites máximos y mínimos similares teniendo en cuenta que especies de zonas que los excedan podrían sufrir daños por sequía (evitar climas más húmedos que los de San Luis) o mostrar crecimientos muy bajos condicionados por su adaptación a la aridez (evitar climas más áridos que los de San Luis). En el caso de las temperaturas medias del mes más frío se asignó más importancia a que en la zona explorada sus valores no fuesen superiores a las de San Luis (evitar inviernos más cálidos que los de SL), de modo que las especies que

provengan de ella no sufran daños por frío al ser introducidas. Por otra parte, tampoco se consideró aconsejable tratar con límites muy extremos en los valores mínimos del rango de esta variable (evitar climas con inviernos mucho más fríos que los de SL) ya que asociado a estas diferencias climáticas y a la adaptación a fríos extremos, muchos aspectos de la ecología de las especies pueden generar desajustes al ser introducidas. Por esta razón se fijó un límite estricto para la máxima temperatura media del mes más frío aceptada y uno más laxo para la mínima temperatura media del mes más frío aceptada. En el caso de la temperatura del mes más cálido se consideró más importante acotar sus valores mínimos para evitar zonas en dónde el stress por altas temperaturas sea menor que en San Luis y que ofrezcan especies que puedan sufrir este stress al ser introducidas (evitar veranos más frescos que los de San Luis). También se consideró necesario acotar los máximos valores de esta variable evitando zonas que tengan una acumulación de tiempo térmico muy superior a la de San Luis (evitar veranos mucho más calurosos que los de San Luis), si bien aquí se aplicó un criterio más flexible. Por lo anterior se fijó un límite estricto para la mínima temperatura media del mes más cálido aceptada y uno más laxo para la máxima temperatura media del mes más calido aceptada.

Finalmente se considera muy importante reconocer la estacionalidad del régimen pluviométrico de las zonas de origen de material forestal. En San Luis aproximadamente el 80% de la precipitación ocurre durante los meses de primavera y verano, definiendo un régimen monzónico. Curiosamente, muchas de las introducciones de especies forestales a San Luis vienen de regiones de régimen pluviométrico mediterráneo en las que la mayor parte de la precipitación tiene lugar en otoño e invierno. En la búsqueda de climas similares a los San Luis se incorporó como criterio el porcentaje de precipitación ocurrida en primavera – verano (1/10 al 31/3 en el hemisferio sur, 1/4 a 30/9 en el hemisferio norte), fijándose tres categorías: monzónico (>65%), isohigro (35-65 %), mediterráneo (<35%).

La búsqueda de zonas climáticamente similares se llevó a cabo utilizando una base de datos climática global (Leemans & Cramer 1990) que describe el clima de toda la superficie continental del planeta a partir de una grilla de 0.5 x 0.5 grados de latitud/longitud. Esta base de datos presenta los valores medios de temperatura y precipitación de cada mes del año y se han generado a partir de todas las estaciones meteorológicas disponibles dentro de la celda (Leemans & Cramer 1990). Se tomaron valores medios de las variables de interés para la zona serrana (régimen térmico correspondiente a 1500 metros de altitud) y la llanura sur y a partir de ellos se fijaron los rangos para la búsqueda de zonas similares (Tabla 1).

Una vez identificadas las áreas similares a la zona serrana y a la llanura arenosa sur, se describió su localización, su clima, y su fisiografía, identificándose el tipo de vegetación nativa con particular énfasis en la posible presencia de especies nativas de interés forestal.

Tabla 1. Valores de las variables climáticas usadas en la búsqueda de zonas similares a San Luis. Los valores locales ilustran las condiciones de San Luis y los rangos de búsqueda son los aplicados para identificar áreas similares.

Valores locales	**Zona Serrana**	**Llanura Sur**
T media del mes mas cálido	18 ºC	23 ºC
T media del mes mas frío	3 ºC	8 ºC
Precipitación media annual	700 mm/año	550 mm/año
% precipitación primavera-otoño	82%	79%
Rangos de busqueda		
T media del mes mas cálido	18 a 24 ºC	23 a 29 ºC
T media del mes mas frío	-10 a 3 ºC	-10 a 8 ºC
Precipitación media annual	500-750 mm/año	400-600 mm/año
% precipitación primavera-otoño	óptimo > 65 % aceptable 35 a 65 % no recomendable < 35 %	

Resultados

Se identificaron varias áreas climáticamente similares a la llanura arenosa del sur de San Luis en el hemisferio norte (figura VI.1). Es interesante notar que en cambio, no aparecerían prácticamente climas similares en el hemisferio sur fuera de Sudamérica.

Las mayores zonas similares con precipitación monzónica identificadas son el centro de las grandes planicies de Norteamérica entre los 30 y los 45 grados de latitud y las planicies semiáridas del este de Mongolia Interior y del oeste de Manchuria en China. Con las mismas condiciones, aparece una zona menor en las laderas septentrionales del Cáucaso, alrededor de la ciudad rusa de Grozny y cercana a la frontera con la República de Georgia. Las áreas con clima isohigro añaden regiones de interés principalmente en el sur de Ucrania ocupando las llanuras contiguas al Mar Negro. Surgen también en esta categoría sectores más reducidos en la península ibérica y en Rumania. También se destaca un sector ubicado en la frontera Afgano-Pakistani en las montañas del Indu-Kush.

Finalmente es importante destacar que las únicas celdas reconocidas en este categoría en el hemisferio sur fuera de Sudamérica corresponden a un muy pequeño sector localizado al pie de las laderas Occidentales de las Snowy mountains de Australia en el centro de Nueva Gales del Sur a la latitud de Canberra.

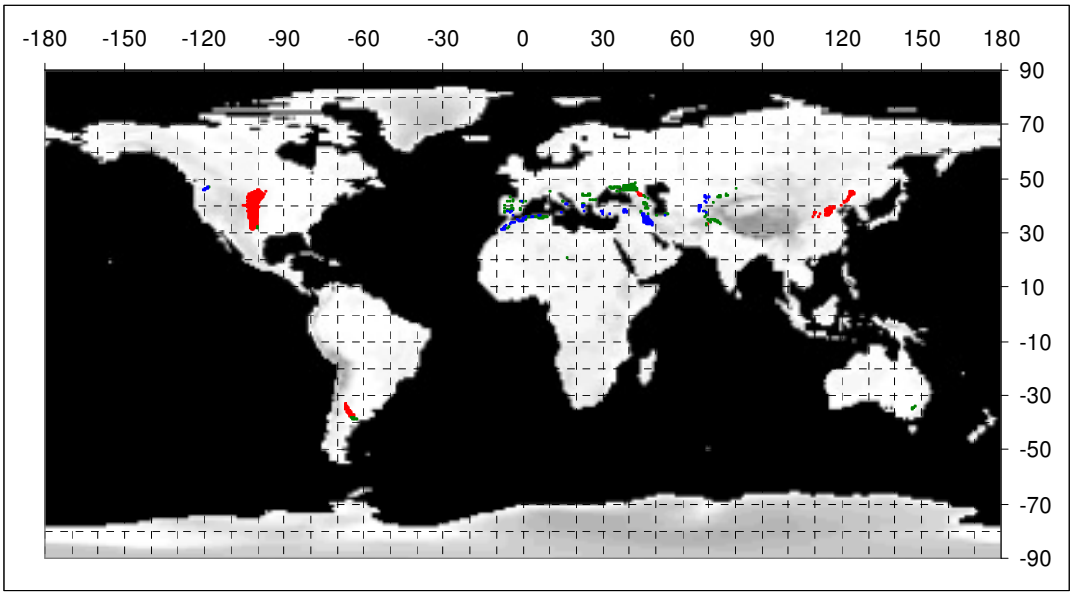


Figura VI.1: Regiones climáticamente similares a la llanura arenosa del sur de San Luis. Se representan los regímenes pluviométricos óptimos o monzónicos (rojo), aceptables o isohigros (verde) y no recomendables o mediterráneos (azul).

El área de las grandes planicies de Norteamérica que se ha identificado como óptima va desde la mitad oeste de los estados de Dakota del Sur, Nebraska, Kansas y Oklahoma y norte de Texas hasta la falda oriental de las montañas rocallosas. La misma corresponde a llanuras sedimentarias ocupadas en su mayor parte por estepas graminosas (mixed grass steppe y short grass steppe), al igual que lo observado en varios sectores del sur de San Luis. Es importante destacar que en esta zona la continentalidad y amplitud térmica estacional es mayor que en el hemisferio sur y las especies están por lo tanto adaptadas a tolerar inviernos más fríos y/o veranos más calidos que los de San Luis. Las especies de potencial interés forestal en esta zona carente de grandes masas boscosas son aquellas que desde el este logran prosperar con mayor éxito dentro de las regiones de estepa, tales como el olmo americano (*Ulmus americana*) y el enebro del este (*Juniperus virginiana*).

El amplio sector del noroeste de China identificado como óptimo corresponde a una zona de geografía diversa (corredor entre las ciudades de Xian y Harbin) dentro de la cual lo más destacable en relación a San Luis son las llanuras medanosas de la región de Korqin (alrededores de la ciudad de Tongliao). En esta región la vegetación corresponde a una estepa ocupada por manchones de bosque o formaciones de tipo sabana en las que *Pinus sylvestris* var. *mongolica* es el árbol más común y posiblemente de mayor interés para la llanura arenosa del sur de San Luis (Hou 1983). Se destaca también la nativa *Populus simonnii*, más resistente a la sequía que *P. deltoides*. Es importante destacar que aún más en China que en Norteamérica, la continentalidad del clima

implica veranos e inviernos mucho más cálidos y fríos, respectivamente, que los de San Luis.

Los sectores de Europa mencionados (Cáucaso, Ucrania, Peninsula Ibérica) ofrecen poblaciones de especies forestalmente importantes como *Pinus nigra*, *P. brutia* y poblaciones aisladas de *P. sylvestris* que podrían ser de interés. En el sector Afgano-Pakistani indicado las especies de interés son *Cedrus deodara*, *Pinus wallichiana*, *Alnus nitida*.

La exclusión de la mayor parte de Australia, único territorio que aloja especies de eucaliptos como nativas, responde a la mayor oceanidad del clima de este continente en comparación con San Luis. Esta diferencia lleva a que la amplitud entre la temperatura media del mes más calido y el más frío del año sea menor que la de San Luis y sugiere que la mayoría de las introducciones de eucaliptos en la provincia podría fracasar por exceso de frío invernal o por exceso de calor estival, algo coincidente con las observaciones planteadas en el capítulo 3. El área incluida como aceptable en Australia corresponde a un paisaje de mesetas semiáridas con suelos relativamente fértiles (en comparación con la mayoría de suelos pobres de ese continente) ocupadas por bosques abiertos y coincide con la zona de origen del conjunto de especies que antiguamente se consideraban *Eucalyptus viminalis*, pero corresponde más específicamente con una variedad de corimbos de siete flores categorizada en la actualidad como *E. nobilis* (Broker & Kleinig 1996). Esta especie relacionada a *E. viminalis* merecería ensayarse en San Luis.

Las áreas climáticamente similares a la sierra de San Luis se restringieron completamente al hemisferio norte y sobre todo al sudeste de Europa (figura VI. 2). Las zonas con lluvia levemente estival en Europa incluyen principalmente a las montañas Tatra (ex Checoslovaquia) y los Cárpatos (Hungría- Rumania). Aquí las especies de posible interés son *Pinus mugo* var. *mugo* y *Pinus nigra* var. *nigra* junto a *Quercus robur* y *Ulmus pyramidalis*. Aparece un área extensa con clima isohigro que ocupa el oriente de la península de los Balcanes incluyendo Serbia, Macedonia y el noreste de Grecia, cuyas principales especies de potencial interés forestal son *Pinus peuce*, *Pinus nigra* var. *pallasiana*, *Pinus mugo* var. *mugo* (no *uncinata*), *Pinus sylvestris* var. *hamata* y *Juniperus excelsa*.

En China aparecen sectores similares al sur y oeste de la zona destacada anteriormente. La misma corresponde a áreas montañosas (montañas de Chin Ling) en la provincia de Shanxi. Este paisaje montañoso corresponde al extremo más seco de la distribución de los bosques templados deciduos de China (Hou 1983), cuyas especies de interés forestal incluyen a *Quercus mongolica*, *Pinus koraiensis*, *Abies nephrolepis.*

En Norteamérica surge una zona pequeña entre los estados de Dakota del Sur y Minesota que corresponde a pastizales pero tiene presencia aislada de árboles entre los que pueden destacarse además del enebro del este y el olmo americano, al nogal negro (*Juglans nigra*) y el arce plateado (*Acer saccharinum*). Una especie que adquiere incipiente importancia en las forestaciones actuales de San Luis es Pinus ponderosa. Si bien el área de distribución de esta especie no

fue incluida en nuestro análisis, es importante destacar que en el gran rango de ambientes montañosos que ocupa la especie (tercio oeste de Estados Unidos y áreas de Canadá y México), las zonas más apropiadas para buscar orígenes que se ajusten a las condiciones de San Luis son aquellas que cuentan con lluvias estivales y ocupan regiones de latitudes intermedias. Se indican las zonas de orígen ideales para San Luis en la figura VI. 3. Dentro del área marcada P. ponderosa ocupa sectores aislados en las montañas.

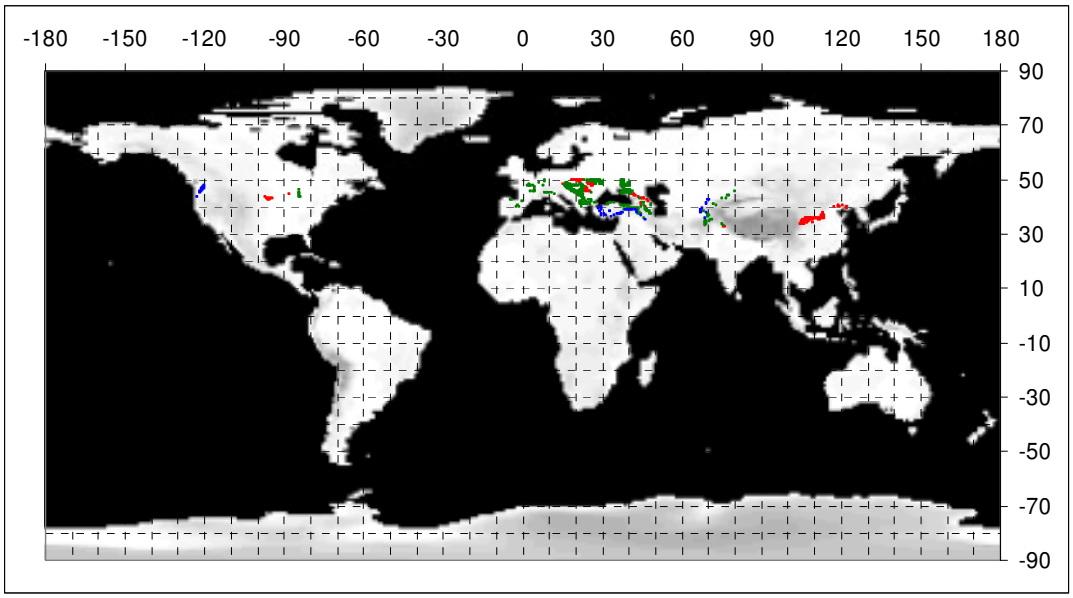


Figura VI. 2. Mapa de regiones climáticamente similares a la zona serrana de San Luis. Se representan los regímenes pluviométricos óptimos o monzónicos (rojo), aceptables o isohigros (verde) y no recomendables o mediterráneos (azul).

El análisis de áreas climáticas similares a San Luis presentado aquí busca orientar la evaluación de material genético forestal a introducir a la provincia. Las especies mencionadas por su interés forestal deberían provenir de las zonas específicamente indicadas en los mapas. Algunas de ellas como *Pinus sylvestris* o *P. brutia* tienen áreas de distribución mucho más amplias, pero los genotipos de las zonas marcadas serían los óptimos. Por otra parte la fuente de genotipos de las áreas indicadas no se agota en las especies mencionadas y puede incluir otras especies nativa y especies que se han introducido con éxito en esas zonas, un ejemplo de esto último son las plantaciones de *Pinus ponderosa* establecidas en los “Sand Hills” de Nebraska en Norteamérica (dentro de la zona óptima de la figura VI. 1), fuera de su zona natural de distribución pero con buen establecimiento y crecimiento en las plantaciones.

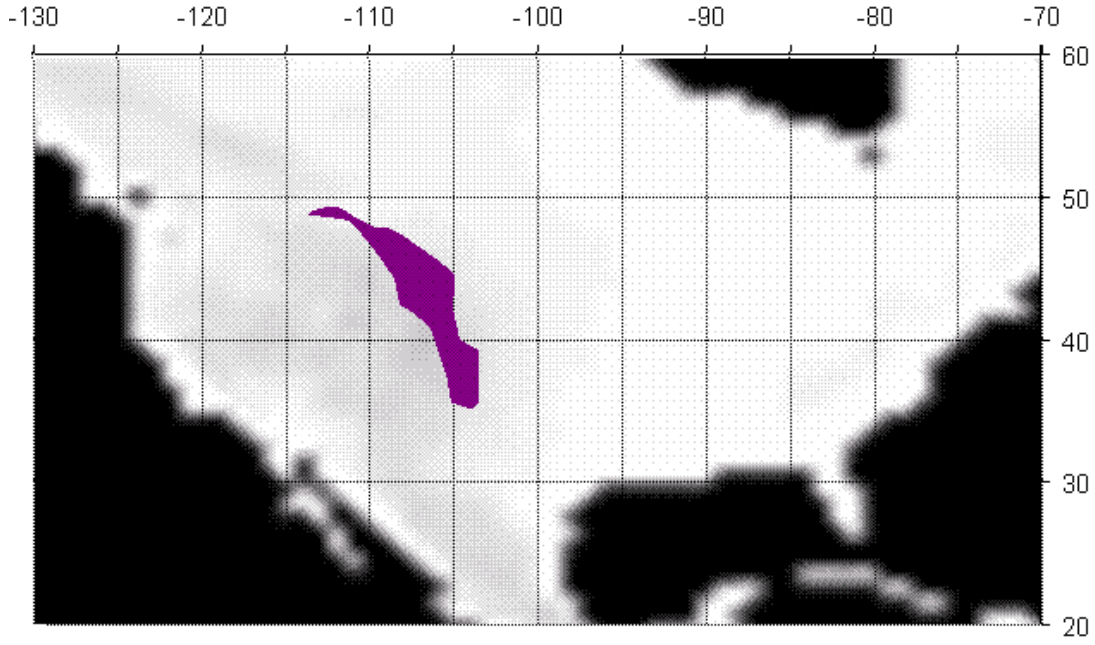


Figura 3. Porción del área de distribución de *P. ponderosa* con climas de mayor similitud a los de San Luis.

Al introducir especies exóticas no debe dejar de considerarse el posible riesgo de generar invasiones. Especies como el olmo y muchos pinos han demostrado regenerarse espontáneamente en el territorio de San Luis y en las Sierras de Córdoba. Un análisis cuidadoso del potencial reproductivo de las especies consideradas y la revisión de casos de invasión en otras zonas del mundo en las que la hayan sido introducidas debería anticiparse a cualquier emprendimiento.

Referencias

Brooker MIH & Kleinig DA (1996). Eucalyptus. 230 pp., Reed New Holland, Sydney, Australia.

Hou HY (1983). Vegetation of China with references to its geographic distribution. Annals of the Missouri Botanical Garden 3:509-549.

Jobbágy EG, RB Jackson (2000). Global controls of forest line elevation in the northern and southern hemispheres. Global Ecology and Biogeography 9:253-268.

Leemans, R. & WP Cramer (1990). The IIASA Database for Mean Monthly values of Temperature, Precipitation and Cloudiness of a Global Terrestrial Grid, WP-90-41, 64 pp. IIASA, Laxenburg-Austria.

Paruelo JM, WK Lauenroth, HE Epstein, IC Burke, MR Aguiar, OE Sala (1995). Regional Climatic Similarities in the Temperate Zones of North and South America. Journal of Biogeography, 22:915-925

VII. IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FORESTACIÓN

A.D. Collado y J. A. Bertón

Introducción

El crecimiento de la forestación ha sido permanente desde la segunda mitad del siglo XX, debido a la necesidad de reemplazar recursos forestales naturales ante su afección por lluvia ácida, tala comercial indiscriminada, urbanización, deforestación acelerada de los bosques tropicales y el continuo incremento del consumo mundial de maderas, papeles, y productos derivados de la celulosa.

Esta actividad, produce sobre el medio físico impactos ambientales que pueden ser locales, regionales, globales, temporarios, permanentes, directos, indirectos, reversibles o irreversibles. Por su naturaleza además, un impacto puede ser positivo o negativo, según produzca un mejoramiento o una decadencia de las condiciones existentes, o neutro, si no altera tales condiciones.

La revisión bibliográfica sobre investigaciones realizadas en diversos lugares del mundo, establece que los impactos derivados de la forestación pueden ser positivos o negativos.

Impactos positivos

- Posibilita la fijación de dióxido de carbono atmosférico, principal gas de efecto invernadero (GEI), contribuyendo a prorrogar los daños que causa el calentamiento global.

- El uso de la biomasa producida en proyectos de forestación y reforestación permite reducir emisiones de GEI cuando se sustituyen combustibles fósiles por biomasa (Norverto, 2002).

- El establecimiento de masas forestales puede favorece la protección efectiva del suelo a través de la intercepción de las lluvias, la reducción de la escorrentía superficial, y la disminución de la velocidad del viento en suelos propensos a la erosión hídrica o eólica.

- Al aumentar la evapotranspiración y en algunos casos consumir agua subterránea, las plantaciones forestales pueden deprimir napas freáticas y evitar posibles problemas de salinidad. Esto es especialmente relevante en zonas en las que el incremento de la precipitación y/o el desmonte de bosques nativos ha producido incrementos en la recarga hidrológica y ascenso generalizado de las napas (Schofield 1992, George et al. 1999).

Algunas especies pueden utilizarse como ignífugas o para establecer una barrera contra la dispersión de plagas, según el Manual de Impacto Ambiental -

Coordinación de Forestación, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, (SAGPyA, 2000).

- La forestación representa un beneficio para la industria maderera y origina puestos de trabajo al solicitar mayor mano de obra que las actividades ganaderas extensivas. Aunque en general las plantaciones no demandan tanto empleo como la agricultura convencional, los niveles de ocupación se incrementa considerablemente en el proceso de industrialización: aserraderos, fábricas de muebles, de pallet y sector transportista entre otros.

- La actividad forestal puede promover en ocasiones la recuperación de suelos improductivos, la fijación de médanos y la protección y estabilización de cárcavas derivadas de procesos erosivos hídricos intensos.

- Posibilita un planteo silvopastoril en las explotaciones (La Nación, 2005).

- Constituye un buen recurso paisajístico y escénico.

En este contexto de impactos positivos, quienes asumen posturas opuestas afirman que el problema de la emisión se debe solucionar concentrando todos los esfuerzos en la no emisión de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y no intentando secuestrarlos y que la mayor parte de beneficios ambientales serían reales si el plan se estuviese refiriendo al bosque indígena y que el problema surge de confundir un ecosistema natural (el bosque) con un agroecosistema (el cultivo forestal) y resaltan los aspectos negativos de la forestación.

Impactos negativos

Los impactos negativos pueden actuar:

A. Sobre el ciclo hidrológico

En general mayores tasas de fijación de carbono que las forestaciones muestran respecto a otras coberturas de la tierra se asocian a mayores pérdidas evaporativas de agua (principalmente transpiración e intercepción) que restringen el agua disponible para otros flujos (Calder 1998). Esto ocurre principalmente sobre los flujos de salida de agua líquidos (escorrentía superficial o drenaje profundo), los cuales son responsables de la recarga de acuíferos y la alimentación de arroyos (rendimiento hidrológico).

- La alta intercepción de agua por las forestaciones (agua que se evapora desde la superficie de las hojas) disminuye la proporción de lluvia que efectivamente llega al suelo. Existen varios estudios que indican que la intercepción de coníferas generalmente es mayor que la de latifoliadas, por la forma de las agujas y el alto índice del área foliar (Tobón González, 1989).

- El mayor consumo de agua por las forestaciones se traduce en disminuciones en el caudal de cursos de agua de las cuencas que ocupan. En

general se observa que cuando se forestan pastizales y arbustales se reducen los caudales de arroyos en un 40 % en promedio con mermas totales de caudal en un 13 % de los casos (Farley et al. 2005). Los impactos de la forestación sobre el caudal son más severos en términos de merma relativa, bajo climas más secos. Estos impactos pueden traducirse en falta de agua potable para poblaciones locales o de caudal para la generación de energía o provisión de riego a nivel regional (Rosoman, 1994).

- En situaciones en las que el agua freática se encuentra cercana a la superficie, las forestaciones pueden aprovecharla y al hacerlo salinizar suelos y napas (Heuperman 1999, Jobbágy & Jackson 2004).

- Alteración de otros ecosistemas naturales ubicados aguas debajo de la zona forestada, como humedales o sistemas ribereños (Herron et al. 2000)

- Riesgo de contaminación de aguas superficiales y/o subterráneas con biocidas. Promoción de monocultivos y pérdida de biodiversidad (Cariboni, 2004). No obstante, este aspecto dependerá del contexto ya que si se efectúa una forestación en un área agrícola el uso de agroquímicos será menor que el tradicional y si se desarrolla en un pastizal será mayor.

La profundidad y acuerdo en el conocimiento que países como Nueva Zelandia y Sudáfrica tienen sobre el impacto hidrológico de plantaciones forestales industriales ha llevado al tema del plano especulativo y científico al del manejo y formulación de políticas de planificación forestal y de cuencas (Clearwater, 1999). Los impactos precedentes pueden reducirse a partir de la regulación de la densidad, proporción de las cuencas y posición del paisaje que se foresta y especie a cultivar.

B. Sobre la dinámica de la materia orgánica

- En Pinus, la lenta descomposición de la materia orgánica debido a la relación C/N alta y elevado contenido de polifenoles. Se ha constatado que mientras las hojas de los bosques nativos se descomponen en 2-7 meses, las hojas de pinos demoran entre 3 y 6 años.

- En las revisiones de la literatura no hay una tendencia clara de los efectos de silvicultura (incluyendo preparación del sitio y manejo por fuegos) sobre la reserva de carbono en el suelo; existen tantos estudios que indican una disminución como los que reportan un aumento (Cannell, 1996).

C**.** Sobre aspectos físico-químicos de los suelos

- Suelos con Pinus patula y Cupressus lusitánica presentan un contenido menor de C y una densidad aparente más alta que los del bosque natural (Lundgren, 1978)

- Variación y disminución apreciable de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo (Cortés et al., 1990; Hofstede y Aguirre, 1999).

- Las plantaciones pueden conducir a una mayor acidificación de los suelos debido a la liberación de ácidos orgánicos y/o a la exportación de cationes y su reemplazo en el suelo por protones y aluminio (Rosoman,1994, Jobbágy & Jackson 2003, Jackson et al. 2005).

- Compactación de los suelos (Evans, 1992)

- Repelencia al agua en plantaciones de Pinos y Eucaliptos debido a compuestos secundarios (Jaramillo y Herrón, 1991; Cortés et al.,1990).

- Pérdida de nutrientes. En el caso de extracción de Eucalipto a tala rasa y posterior quema de los desechos (Lima, 1996). Resultados similares fueron obtenidos en Pinus caribea (Van Waterloo,1994).

Gayoso (1996) demostró que en Chile, para mitigar los efectos ambientales y para mantener la fertilidad del suelo se debe invertir entre 1200 y 2500 dólares por ha por rotación extra.

Según Hofstede (1997), un fenómeno general es que el pH del suelo disminuye bajo plantación de pinos, aunque destaca que debido a las grandes diferencias entre regiones, no se pude probar estadísticamente en muchos casos este efecto negativo de las plantaciones.

D. sobre el uso del suelo

- Fragmentación y cambios en la conectividad

- Irreversibilidad respecto a usos alternativos del suelo

E. Sobre la vegetación nativa

- Desaparición del sotobosque por efectos de la sombra (Ohep y Herrera, 1985) y por acumulación de hojarasca (Cortés et al, 1990; Van der Hammen, 1997).

-Alelopatía por fenoles en Eucalyptus que inhiben el crecimiento de otras especies (Lima, 1996).

F. Sobre la biodiversidad

- Sustitución de bosques nativos por plantaciones.

En algunos casos, la reducción de la biodiversidad es enorme. En la Mata Atlántica en Brasil, fueron sustituídas grandes superficies de bosque nativo por plantaciones de Eucaliptus. La Mata Atlántica presenta el récord en materia de

biodiversidad y en una reciente investigación se identificaron 450 especies de árboles en sólo una hectárea de bosque (Faillace y Miranda 1993).

Por otro lado, los impactos de las plantaciones sobre los suelos y sobre el ciclo hidrológico también tendrán consecuencias sobre la flora y la fauna.
En la zona altoandina, las experiencias y conocimientos adquiridos indican que en presencia de vegetación nativa hay menos riesgo de pérdida de humedad, de diversidad y que, por ser un elemento natural de la región contribuyen a la regeneración natural (Cavelier, 1994).

G. Sobre la flora

- La mayor parte de las especies locales desaparecen del área de plantación por competencia, cambios en el suelo y alelopatía que impide el desarrollo de otras especies (Lima, 1996).

- Algunas especies implantadas pueden convertirse en plaga para la vegetación nativa. Tal contaminación biológica en algunos casos asume grandes proporciones, como en los casos del Pinus patula y Acacia melanoxylon en Sudáfrica (Bainbridge 1990) y el Pinus pinaster en Uruguay (Carrere 1994).

- Aparición de plagas que afectan a la propia plantación (Evans 1986).

-Los incendios originados o vinculados a las plantaciones pueden afectar seriamente a la flora nativa de amplias regiones (Cavieres y Lara, 1983).

- Los fertilizantes, herbicidas y plaguicidas pueden ocasionar impactos lejos del área de la plantación (Rosoman 1994).

H. Sobre la fauna

- El uso de agroquímicos produce alteración del equilibrio en las poblaciones animales ligadas a la alimentación, refugio u oportunidades de reproducción (Rosoman 1994).

I. Sobre la sociedad

- Impactos del transporte carretero de rollizos

- Contaminación industrial e Impactos de las plantas de celulosa

- Presencia de partículas o aerosoles y disminución de la calidad del aire por diferentes operaciones y/o posibles incendios.

- Incremento del proceso de migración poblacional

J. Sobre la economía

- Deterioro de caminos

Quienes no aceptan ni el número ni la magnitud de tantos impactos ambientales negativos de la forestación, afirman que todos o la mayoría de dichos efectos negativos pueden minimizarse si se realizan los estudios indispensables para una correcta planificación.

Riesgo de impactos por forestación en San Luis

La implantación de especies forestales en áreas con aptitud de la provincia de San Luis, debe ser objeto de un minucioso análisis ambiental, debido a las consideraciones generales mencionadas precedentemente.

Desde la perspectiva de los factores ambientales, la provincia de San Luis, posee características de semiaridez, con suelos poco profundos y susceptibles a los procesos erosivos tanto en la planicie eólica del sur como en las áreas serranas del norte, lo que denota la fragilidad ante las prácticas agrícolas y silvícolas.

Otro aspecto a considerar, es la implementación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en función de ciertos requerimientos mínimos de diseño, localización y condiciones de implantación de modo que se potencien los impactos socioeconómicos positivos y se minimicen los problemas ambientales planteados por la actividad, para evitar potenciales problemas en la disponibilidad y balance hídrico, en el paisaje y en la biodiversidad entre otros aspectos.

Los factores y tipos de impacto ambiental fueron descriptos en las consideraciones generales, aunque los mismos deben ser analizados específicamente para la provincia de San Luis, para prevenir o atenuar problemas ambientales derivados de esta nueva actividad.

Como ejemplo, puede aludirse a las eventuales forestaciones en la zona centro sur de la provincia, donde existe una gran cantidad de lagunas de deflación originadas por el ascenso del nivel freático. En estos sitios, la implantación de especies forestales, podría hacer disminuir la superficie de estas lagunas y en algunos casos hacerlas desaparecer.

Un caso similar de disminución o merma de la disponibilidad hídrica, podría producirse con la implantación de forestales en las regiones serranas, con el agravante que en estas regiones, tiene su origen todo el sistema hídrico de la provincia, con la importancia que esto implica.

Por lo expuesto, se puede concluir que, una vez determinadas las áreas potenciales de aptitud forestal, se deberá analizar la situación ecológica global de cada área para mensurar los beneficios probables y contrastarlos con las amenazas que dicha actividad podría provocar.

No obstante, dado que San Luis presenta una condición de marginal en términos biofísicos, no se podrán cultivar grandes extensiones con fines

industriales, motivo por el cual se debe suponer una reducción del número y magnitud de los impactos negativos citados precedentemente.

Conclusiones

La investigación científica sobre el tema de las plantaciones de árboles ha generado dos bibliotecas. Por un lado, se ha llevado a cabo una diversidad de trabajos científicos para probar que los monocultivos de eucaliptos, pinos u otras especies no generan grandes impactos negativos e incluso hay trabajos donde se sostiene que tienen consecuencias sociales y ambientales positivas. Un gran número de trabajos científicos igualmente importantes han concluido por otro lado, que tales plantaciones generan impactos negativos sustanciales en lo social y en lo ambiental.

En tercer lugar, como las presiones para el establecimiento de plantaciones se dan a escala mundial, los monocultivos de árboles se implantan en ambientes muy diversos en lo social, político, económico y ecológico y bajo distintos regímenes de manejo. Los resultados de impactos de las plantaciones sobre la biodiversidad o los suelos en un sitio en particular, no pueden por lo tanto ser generalizados mecánicamente a otras realidades. Lo mismo es aplicable al caso de los impactos sociales.

Este panorama, no brinda absoluta claridad sobre el impacto de las plantaciones forestales (en especial si constituyen monocultivos), sobre los ecosistemas naturales, aunque una revisión bibliográfica sobre el tema, permite advertir más indicadores de deterioro que de recuperación.

El impacto negativo sobre la hidrología, verificado en un sinnúmero de estudios, es lo más preocupante, pero también debe considerarse el efecto sobre la fertilidad del suelo y sobre la diversidad de una región.

Basándose en un mayor esfuerzo en la experimentación con especies nativas es muy probable que se encuentren alternativas más adecuadas en términos económicos y ecológicos.

Referencias

Bacchetta, V. L., 2004. La Forestación Artificial en los Campos Sanduceros. http:// www.chasque.net/guayubira

Bainbridge, 1990. www.guayubira.org.uy/plantaciones/papel/papel4.html

Calder, I.R. (1996). Water use by forests at the plot and cachment scale. Commonwealth Forestry Review 75(1):19-30

Cannell, M.G.R. (1996). Forests as carbon sinks migitating the greenhouse effect. Commonwealth Forestry Review 75(1):92-99

Cariboni, D.; 2004. http://www.tierramerica.net/2004/0522/articulo.shtml

Carrere, 1994. http://www.guayubira.org.uy/plantaciones/papel/papel4.html

Cavelier, J. (1994). Reforestation with the native tree Alnus Acuminata; Effects on phytodiversity and species richness in an upper montane rain forest area of Colombia. En: Tropical Montane Cloud Forests. Proccedings of an International Symposium

Cavieres y Lara, 1983. http://www.guayubira.org.uy/plantaciones/papel/ papel8.html

Hamilton; J.O. Juvik y F.N. Scatena, eds.),1991. San Juan, Puerto Rico: East-West Centre; International Hydrological Programme, Unesco: International Institue of Tropical Forestry, US forest Service. p. 78-85

Clearwater, S., 1999. Upland land use and water yield. Issues in Ecology 1. university of Otago, Dunedin, Nueva Zelanda. 9 p.

Cortés, A.; Chamorro B., C. y Vega, A.,1990. Cambios en el suelo por la implantación de praderas, coniferas y eucaliptos en un área aledaña al Embalse del Neusa (Paramo de Guerrero). Investigaciones Subdirección Agrológica IGAC :101-114

Evans, J.,1992. Plantation forestry in the tropics. Oxford. 403 pp.

Fahey, B.D. y Jackson, R.J.,1997. Hydrological impacts of converting native forests and grasslands to pine plantations, South island, New Zealand. Agriculture and Forest Meteorology 84: 69-82

Faillace y Miranda, 1993. http://www.guayubira.org.uy/plantaciones/ papel/papel4.html

Farley K.A., Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B., 2005. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. Global Change Biology doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01011

Garbulsky, M.F., Jobbágy, E.G., Paruelo, J.M., Sarli, V. and Jackson, R.B., 2002. The impact of afforestation on ecosystem functioning on grassland areas of temperate South America. 29th. International Symposium in Remote Sensing of Environment. Buenos Aires, Argentina.

Gayoso, J.,1996. Costos ambientales en plantaciones de Pinus radiata. Bosque (Universidad Austral de Chile) 17:15-26

Hofstede, R.G.M.,1997. El impacto ambiental de plantaciones de Pinus en la Sierra del Ecuador. Resultados de una investigación comparativa. Amsterdam: Proyecto EcoPar - Universidad de Amsterdam. 54 pp.

Hofstede, R. y Aguirre, N.,1999. Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la Sierra del Ecuador. En: G. Medina y P. mena (Eds) El páramo como espacio de mitigacion de carbono atmosférico. Serie Páramo 1. GTP/Abya Yala, Quito. pp 29-52.

Hofstede, R., J. Lips, W. Jongsma and J. Sevink, 1998. Geografía, Ecología y Forestación de la Sierra Alta del Ecuador. Revisión de Literatura. Editorial Abya Yala, Ecuador. 242 p.

Jackson, R.B., Jobbágy, E.G., Avissar, R., Roy, S.B., Barrett, D., Cook, C.W., Farley, K.A., Le Maitre, D.C., McCarl, B.A., and Murray, B.C., 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. Science, 310:1944-1947

Jaramillo J., D.F. y Herrón O., F.E., 1991. Evaluación de la repelencia al agua de algunos andisols de Antioquia bajo cobertura de Pinus patula. Acta Agronomica 41(4):79-85

Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B., 2004. Groundwater use and salinization with grassland afforestation. Global Change Biology, 10:1299-1312

Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B., 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. Biogeochemistry, 54:205-229.

Jobbágy, E.G., Vasallo, M., Farley, K., Piñeiro, G., Garbulsky, M., Nosetto, M., Jackson, R. and Paruelo, J.M. Forestación en pastizales: Hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. A envíar a Agrociencias (Uruguay)

La Nación, 03.12.2005, Pág. 8, Sección Campo http://www.lanacion.com.ar/ edicionimpresa/ suplementos/ elcampo/nota.asp?nota_id=761404

Lima, W.D.P.,1996. Impacto ambiental del Eucalipto. Sao Paulo: Editora da Universidade de Sao Paulo. 302 pp.

Lundgren, B.,1978. Condiciones de suelo y ciclaje de nutrientes bajo bosque natural y plantaciones forestales en las tierras altas de Tanzania. Uppsala: Departament of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences; Informe en ecologia y suelos forestales: 31. 373 pp.

Manual de Impacto Ambiental, 2000 - Coordinación de Forestación, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, (SAGPyA)

http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/regimen/impacto.pdf

Norverto, C.A., 2002. Metodologías para el Análisis Costo-Beneficio de usos del Suelo y Fijación de Carbono en Sistemas Forestales para el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Separata SAGPyA Forestal Nº 25, diciembre 2002, 20 p.

Ohep C., N.F. y Herrera S., L.d.V.,1985. Impacto de las plantaciones de coníferas sobre la vegetación originaria del páramo de Mucubají. Mérida: Universidad de los Andes, Facultad de ciencias forestales . 60pp

Rosoman, 1994. http://www.guayubira.org.uy/plantaciones/papel/papel8.html

SAGPyA Manual de Impacto Ambiental - Coordinación de Forestación, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación.

Tobón González, D.D.J.,1989. Evaluación de perdidas por intercepción de la precipitación en tres coberturas vegetales, Cupressus lusitanica Mill, Pinus patula y bosque natural secundario. Medellín: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Grado. 125 p

Van der Hammen, T.,1997. Plan ambiental de la Sabana de Bogotá. Bogotá: CAR.

Van Waterloo, M.J., 1994. Water and nutrient dynamics of Pinus caribea plantation forests of former grassland soils in Southwest Viti Levu, Fiji. Amsterdam: Free University, Tesis de Disertación de Ph.D. 478pp

VIII. CAMBIO CLIMATICO

J.A. Bertón, J.C. Echeverría, E.G. Jobbagy

Introducción

La intensificación del efecto invernadero derivada de incrementos en la concentración de CO_2 y otros gases en la atmósfera, conduciría a incrementos en la temperatura de la superficie del planeta y a cambios en los ciclos hidrológicos (IPCC, 1990). La mayor parte de los escenarios proyectan para el próximo siglo incrementos en la concentración de CO_2, elevación de las temperaturas y cambios en los registros de precipitación (incrementos en algunos sitios y reducciones en otros) (Barros y otros, 1997).

Desde el inicio de la revolución industrial las concentraciones atmosféricas de CO_2 y de óxido nitroso se incrementaron en un 26% y 8% respectivamente. El incremento de CO_2 se debió, fundamentalmente, al uso de combustibles fósiles y a la deforestación, mientras que el incremento de NO_2 se atribuye principalmente a la agricultura (aunque las causas no han sido exactamente especificadas).

Se estima que si las emisiones de gases continuaran al nivel de 1990, el ritmo de aumento de la temperatura media mundial en el próximo siglo será de 0.3°C (rango de incertidumbre: 0.2°C a 0.5°C) por década, lo cual produciría incrementos de la temperatura media mundial de 2°C (por encima del valor registrado antes de la revolución industrial) en el año 2025 y de 4°C antes del fin del próximo siglo (IPCC, 1990). Según James Hansen, director del Instituto Goddard de la Nasa, "Se sabe que los cinco años más cálidos del último siglo han tenido lugar en los últimos ocho años" (NASA, 2006).

Estos incrementos han causado tal preocupación en el mundo, que gran cantidad de países han adherido a la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCCNU). El objetivo principal de la CMCCNU, en su artículo dos es textualmente*:*

"…lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas con el sistema climático…"

Esto significa que las actividades humanas, al afectar las condiciones ambientales vinculadas con el equilibrio del sistema climático, compuesto por el sol, la atmósfera y la superficie terrestre (con sus diversas particularidades: continentes, océanos, hielos, etc), están originando una modificación del clima terrestre que, de manera general, se asimila a un aumento de la temperatura sobre la superficie del planeta, pero que, por la naturaleza intima de los procesos atmosféricos, involucra también una serie de cambios en las variables que definen el clima terrestre en general y a los climas regionales en particular (Barros et al. 1997).

Los cambios en el sistema climático podrían modificar las condiciones de cultivo en diversas regiones del país, reduciendo o incrementando las producciones, y además volviendo aptas para el cultivo de algunas especies, regiones hoy consideradas marginales o inaptas.

La situación de Argentina no es diferente de la del contexto global. Si bien no presenta altos índices de emisión de dióxido de carbono, nuestro país tiene en gran desafío del mejor control de los procesos agrícolas, particularmente teniendo en cuenta el alto grado de deforestación de los bosques nativos (Barros (2005).

Según Barros (2005) en la Argentina no hubo grandes cambios en la temperatura máxima, aunque si en la mínima, que se ha incrementado como resultado del aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por lo contrario las temperaturas máximas han bajado como consecuencia del notable incremento de las precipitaciones con lo cual aumenta la evaporación y la nubosidad.

Este cambio relativamente grande que hubo en las precipitaciones medias anuales en todo el país data de la década del 70', aunque en el sur de Buenos Aires y La Pampa empezó antes en la década del 60 (Barros, 2005).

Es importante que las autoridades, las empresas privadas, las instituciones agrarias, tengan en cuenta que sin información sobre la realidad ambiental argentina no habrá manera de encarar formas sustentables de desarrollo para la comunidad nacional. Esto adquiere una particular relevancia si se tiene en cuenta que aunque se lograra estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero, para el año 2100 el incremento promedio para América del sur sería de 2º C. (Jenkins y otros, 2005)

La provincia de San Luís durante años ha sido considerada como una zona con agricultura marginal, con un fuerte desarrollo de la actividad pecuaria, y una escasa producción agrícola, debido sobre todo a un balance hidrológico deficitario, a precipitaciones erráticas con una fuerte variabilidad interanual, y a la intensidad de las heladas en casi todo su territorio.

En el caso particular de las especies forestales, se debe tener especialmente en cuenta que estos cultivos son de larga duración y, a diferencia de los cultivos anuales tradicionales, no permiten respuestas rápidas en la elección de genotipos o en el diseño de plantación para adaptarse a los cambios climáticos.

Temperatura

La temperatura anual media en Argentina ha aumentado cerca de 1ºC en el último siglo (Hulme y Serrad, 1999). La década de 1990 ha sido la más calurosa en este siglo (figura VIII.1) y el año 1995 el más caliente del siglo. Este calentamiento ha ocurrido en todas las estaciones casi por igual, siendo algo mayor en la estación invernal.

Paralelamente con el calentamiento del clima, la frecuencia de heladas ha ido disminuyendo. Aunque la mayor parte del noreste de Argentina está virtualmente libre de heladas, la cordillera Andina y las planicies y penínsulas del sureste experimentan muchas heladas cada año. Los promedios a lo largo del país indican que durante este siglo ha existido una disminución de aproximadamente 10 %, en el número de días con heladas por año (Hulme y Serrad. 1999).

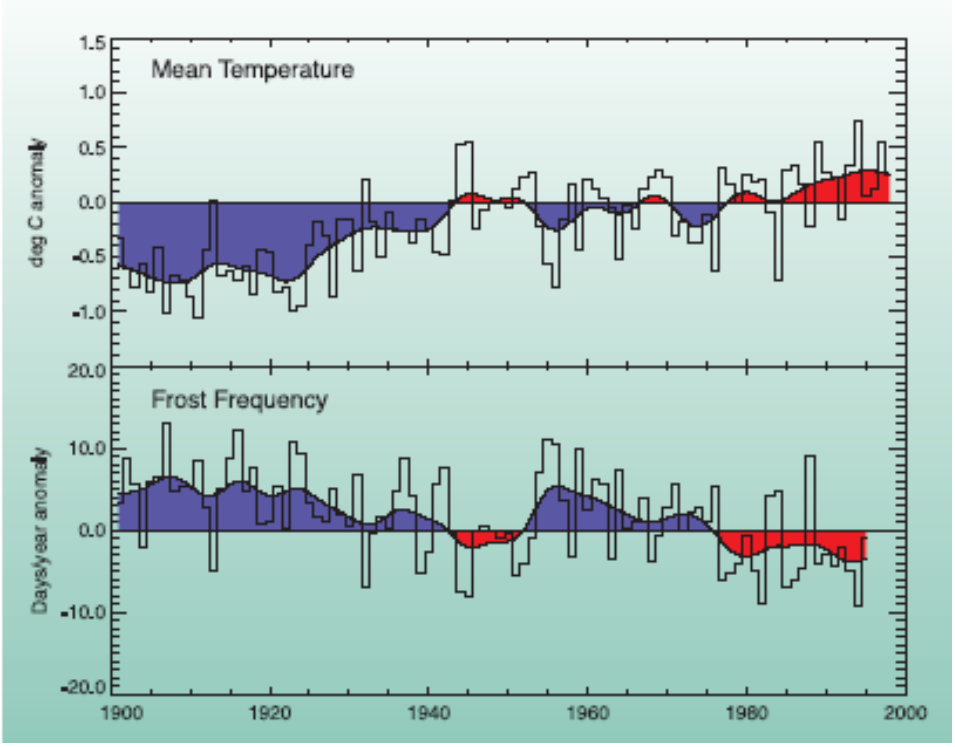


Figura VIII.1: Desvíos de la temperatura anual media (arriba) y de la frecuencia anual de heladas (abajo), para el período 1901-1998 en Argentina. Desvíos respecto al promedio 1961-90: 14.5 ºC y 69 días, respectivamente.

Precipitación

Argentina recibe más del 60 por ciento de su precipitación durante el período de diciembre a mayo. La Figura VIII. 2 muestra las precipitaciones para las estaciones de verano y otoño, habiéndo un incremento durante el siglo entre el 10 y 5 %, respectivamente. Estos efectos pueden tener incidencias significativas sobre los caudales de los ríos Argentinos.

Varios ríos importantes drenan hacia el este de los Andes y algunos registros del flujo fluvial muestran interrelaciones con la Oscilación Sureña/El Niño (OSEN). Los ríos de la provincia de Mendoza, por ejemplo, son más propensos a experimentar altos flujos durante los estados tempranos de los eventos cálidos de

El Niño (OSEN) debido el aumento de las nevadas sobre los Andes. (Hulme y Serrad. 1999).

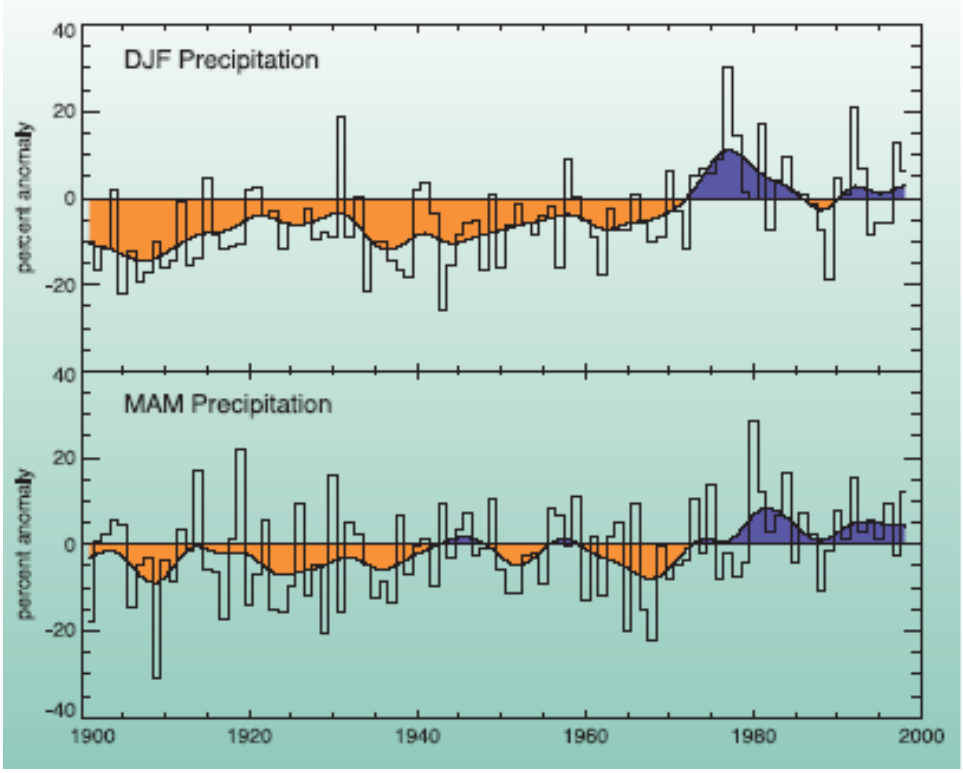


Figura VIII.2: Desvíos de la precipitación estacional 1901-1998 en Argentina. Arriba: Verano (diciembre - febrero). Abajo: Otoño (marzo - mayo). Desvíos respecto al promedio 1961-90 : 211 mm y 168 mm respectivamente.

Escenarios de cambio climático global

Debido a que los seres humanos contribuyen al calentamiento global, y reconociendo que las consecuencias para los sistemas naturales y humanos son considerables, es de gran importancia estimar los futuros cambios climáticos que podríamos experimentar en los próximos cien años.

Para la determinación de futuros escenarios de calentamiento global para San Luis, se aplicaron los estudios de la Unidad de Investigación climática de la Universidad de East Anglia en el Reino Unido (Hulme y Serrad, 1999). Este esfuerzo ha combinado observaciones climáticas con un juego de escenarios para gases invernadero preparados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change o IPCC), y una serie reciente de experimentos en cambio climático que utilizan siete modelos climáticos globales.

El motivo de la elección de este trabajo como modelo para Argentina en general, y para la provincia de San Luis en particular, fue el uso de siete modelos climáticos globales, lo que "promedia" o amortigua las diferencias en las estimaciones de calentamientos futuros que existen en los distintos modelos de predicción.

En este trabajo se escogieron tres diferentes escenarios para la sensibilidad térmica, esto es baja (1.5℃), mediana (2.5℃) y alta (4.5℃). Mediante la combinación de estos tres niveles térmicos con los cuatro escenarios de emisiones del IEEE, calcularon las variaciones en las curvas de cambio climático global.

Estos escenarios futuros se denominan B1, B2, A1 y A2. El escenario B1-bajo es el de menores emisiones combinado con el de menor sensibilidad térmica y el A2-alto es aquel escenario con las mayores emisiones combinado con el de mayor sensibilidad térmica. Los escenarios B2 y A1 son intermedios.

La concentración de dióxido de carbono atmosférico aumenta de la concentración de 370 ppmv en 1999 a una concentración cercana a 550 ppmv en el escenario B1 para el año 2100, y por encima de 830 ppmv en el escenario A2, para el mismo año. De igual forma también aumentarían las concentraciones de otros gases invernadero. ¿Qué efecto tendrá este aumento de gases invernadero sobre el cambio climático global?. La respuesta depende en gran medida de que tan sensible es el clima de la Tierra, a este aumento de concentraciones.

Es probable que Argentina se caliente más lentamente en el futuro, que el promedio global de temperatura (Figura VIII.3). Sin embargo el norte del país lo hará considerablemente más rápido que el sur. Por ejemplo, en el escenario A2-alto la península sureña del continente se calentará a una velocidad de 0.25 ºC/década, mientras que el norte de Argentina se producirá a una velocidad de 0.4 ºC/década. Para el escenario B1-bajo, estas velocidades de calentamiento están reducidas por un factor de alrededor de tres.

La tabla 1 ilustra los escenarios previstos y sus probables cambios en las concentraciones de CO2 y temperatura para los años 2020,2050 y 2080.

Tabla: 1:Resumen de cambios (respecto al promedio 1961-90) en el medio ambiente global para las décadas 2020, 2050 y 2080 para los cuatro escenarios.

Escenarios	2020		2050		2080	
	CO_2 en ppmv(*)	Temp. en Cº	CO_2 en ppmv(*)	Temp. en Cº	CO_2 en ppmv(*)	Temp. en Cº
B1 – bajo	421	0.6	479	0.9	532	1.2
B2 – medio	429	0.9	492	1.5	561	2.0
A1 – medio	448	1.0	555	1.8	646	2.3
A2 – alto	450	1.4	559	2.6	721	3.9

(*) partes por millón por volumen

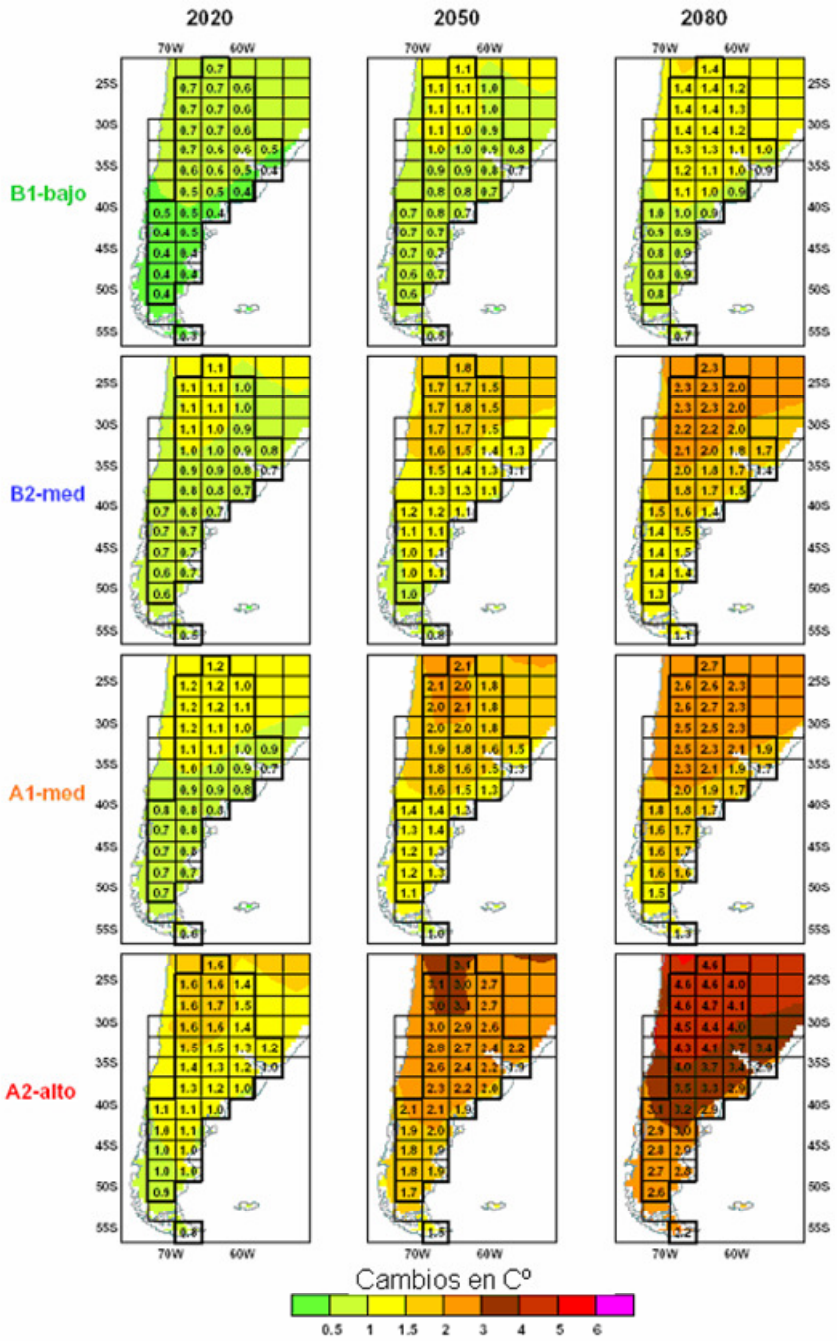


Figura: VIII. 3: Cambios en la temperatura anual media del clima promedio 1961-90 para las décadas de 2020, 2050 y2080, para los cuatro escenarios. Los números impresos indican el cambio estimado para cada cuadrícula territorial en Argentina.

En relación con los futuros cambios en la precipitación estas difieren tanto para el este como el oeste de Argentina. La precipitación anual declina sobre los Andes, pudiendo disminuir en algunos lugares en alrededor del 15 % para la década 2080, bajo el escenario A2-alto. El oriente del país - la región baja de la Cuenca del Río de la Plata - experimenta un incremento en la precipitación anual

para el escenario B1-bajo, y aún para la década 2080, todos los cambios en precipitación son pequeños - menos del 5 %.

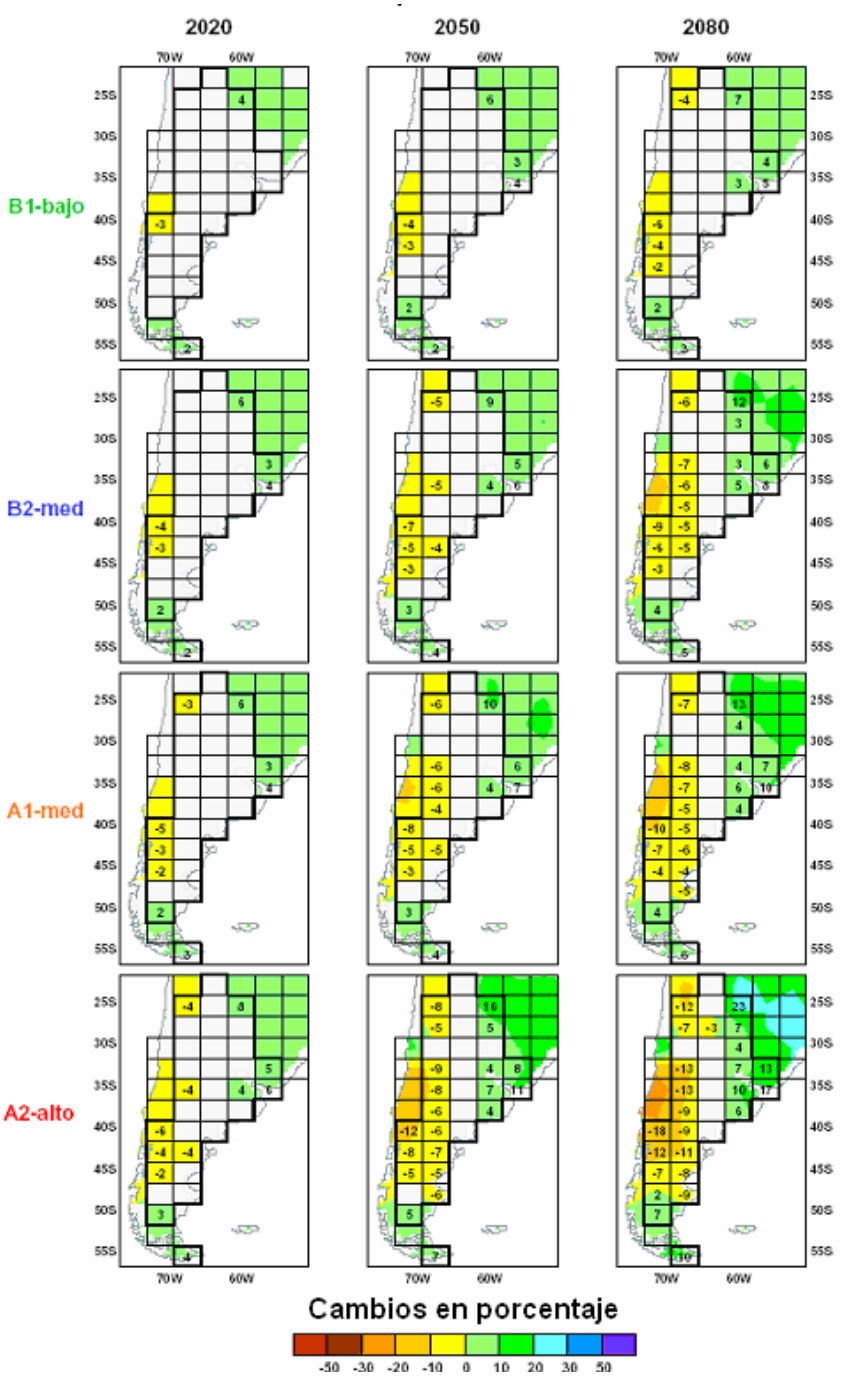


Figura VIII. 4: Cambios (%) de la precipitación media anual (respecto al promedio 1961 - 90) para las décadas de 2020, 2050 y 2080 para los cuatro escenarios. Los números impresos muestran el cambio estimado para cada cuadricula territorial de Argentina.

Cambio climático local

Precipitaciones

Diversos autores han analizado el corrimiento de las isohietas en el ámbito regional o provincial (Bertón y Corral, 1989); (Bertón y Echeverría, 1999) observando que a partir de 1950 se inicia un período de mayores precipitaciones que se mantiene hasta el presente.

El corrimiento de las isohietas ha permitido que casi 4 millones de hectáreas pasen a integrar las áreas con lluvias anuales mayores a los 500 mm en los ultimos 50 años (Bertón y Echeverría, 1999). En otro trabajo los mismos autores (2002) determinaron el corrimiento hacia el oeste de los índices de aridez de la provincia.

La tendencia de las precipitaciones para el período 1960-1999 para un total de 114 sitios, (utilizados para la elaboración de las isohietas utilizadas en estre trabajo - sección II-), en su gran mayoría localizados en la provincia de San Luis y en las provincias vecinas, presenta una variación positiva equivalente al 91 % del promedio en un siglo (Figura VIII.5).

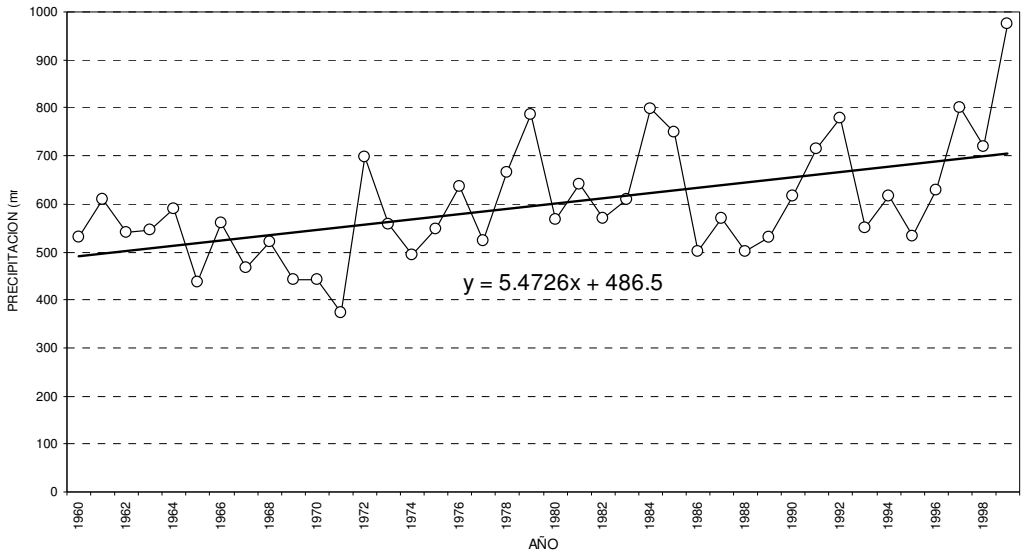


Figura: VIII.5: Promedio anual de precipitaciones (puntos) y tendencia (línea) para 114 lugares del centro de Argentina durante el período 1960-1999.

Pese a que algunos científicos expresaron que este aumento era producto de un ciclo húmedo temporario (Barros, 2005) ya lleva media siglo debería atribuirse a un cambio climático que abarca a Paraguay, el sur de Brasil y casi toda la Argentina.

Temperatura

La variación temporal de la temperatura media anual de un grupo de localidades del centro del pais, al igual que las precipitaciones, tienen tendencia creciente con el tiempo (Tabla II), mientras que la frecuencia de heladas disminuye (Tabla III).

Tabla II: Temperatura mínima media anual en localidades de San Luis y Córdoba

Localidad	1951-60	1961-70	1971-80	1981-90
Río Cuarto	10.2	10.9	10.9	11.2
Laboulaye	9.8	10.1	9.7	9.9
Villa Dolores	11.4	12.1	11.8	12.0
Córdoba	10.6	11.1	10.8	11.2
San Luís	10.2	10.7	11.0	11.1
Villa Mercedes	7.9	7.9	8.2	8.1

Tabla III: Cantidad de heladas anuales en localidades de San Luís y Córdoba.

Localidad	1951-60	1961-70	1971-80	1981-90
Río Cuarto	13.4	12.1	10.7	10
Laboulaye	26.7	27.5	31.5	28.4
Villa Dolores	10.4	8.9	10.2	11
Córdoba	21.2	15	17	14.1
San Luís	23.4	15.4	13.9	16.1
Villa Mercedes	54.4	55.2	53.4	53.2

Escenarios forestales para la provincia de San Luis

Para la visualización de posibles panoramas forestales en San Luís, y teniendo en cuenta, como se dijo antes, la diversidad de pronósticos de cambio climático que existen para la provincia se analizaron eventuales escenarios para dos especies tomadas como ejemplo *Pinus elliottii* y *Eucaliptus camaldulensis*.

Para cada especie se analizan tres modelos con base en iguales niveles de precipitaciones considerando, en todos los casos, un incremento de temperatura de 1°C. Se utilizaron las isohietas e isotermas presentadas en la sección II de este trabajo.

Los escenarios evaluados fueron:

- Neutro: En el futuro no se considera variación alguna respecto de las precipitaciones actuales.
- Optimista; Se evalúa un incremento igual al 15 % respecto del actual nivel de precipitaciones.

- Pesimista: Se considera un decremento del 15% respecto de las precipitaciones medias actuales.

En el caso de *Pinus elliottii* la respuesta, ante los eventuales cambios climáticos supuestos, sería considerable, multipilicando prácticamente por diez (3360000 ha) la actual superficie de tierras aptas bajo el escenario mas favorable. Por lo contrario si las condiciones hídricas se redujeran (escenario pesimista), su superficie se reduciría drásticamente llegando apenas al 1 % de la potencialmente apta en el presente (4380 ha). El escenario que considera un incremento en la temperatura media invernal y mantiene las actuales precipitaciones muestra casi un millón de hectáreas aptas con un crecimiento importante (260%) de la superficie con aptitud actual. Las áreas de distribución de *P. elliotti* bajo estos tres escenarios se presentan en la figura VIII.6.

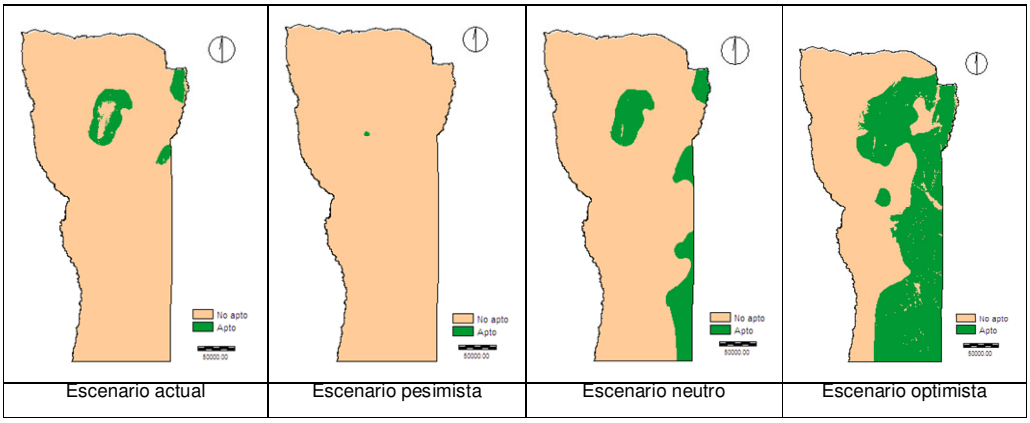
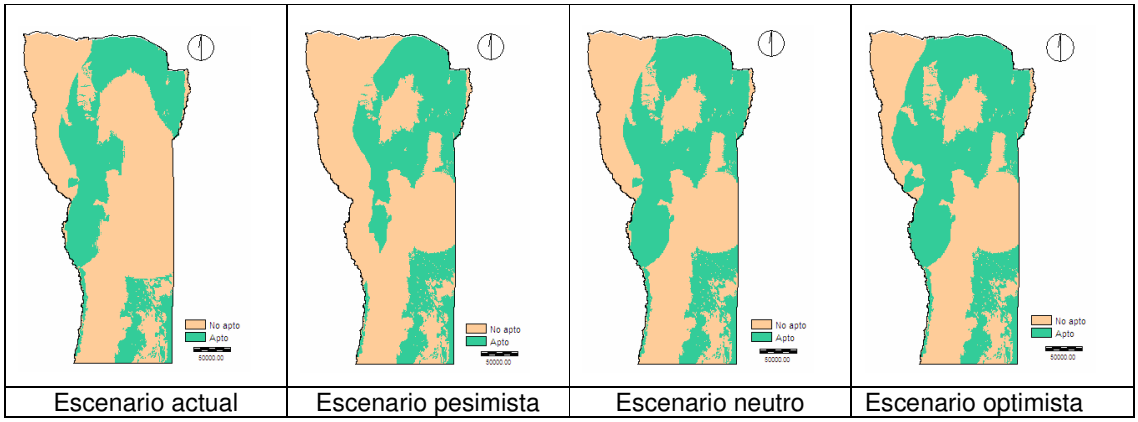


Figura VIII.6: Áreas con aptitud para *P. elliotti* en el presente y bajo diferentes escenarios de cambio climático.

Para el caso de la segunda especie del ejercicio (*Eucaliptus camaldulensis)* la respuesta a posibles cambios climáticos fue, desde el punto de vista de las áreas, significativamente menor. Bajo el mejor de los escenarios (optimista) la relación de superficies alcanzó apenas el 145% de la actual (100%) con 3908000 ha. En el caso del escenario neutro la superficie alcanzaría el 133 % de la actual (3585000 ha). El escenario pesimista, contrariamente a lo que podría esperarse, no mostró reducciones de las superficies respecto de las actuales, sino que por el contrario estas se incrementaron un 7%. Un hecho interesante es que este escenario produjo un cambio en la distribución espacial de la especie, donde áreas actualmente no aptas pasarían a serlo mientras que otras con aptitud serían inadecuadas para la especie en el futuro. La distribución potencial de *E.camaldulensisi* bajo estos estos escenarios se presentan en la figura VIII.7.

Desde el punto de vista práctico se rescata que independientemente de la especie (de las tomadas como ejemplo) los cambios en las aptitudes de las tierras podrían ser considerables. Otro aspecto a destacar es que, como podía esperarse) la respuesta entre especies es muy diferente y realizar estudios más profundos sobre estos aspectos sería muy aconsejable.



Escenario actual	Escenario pesimista	Escenario neutro	Escenario optimista

Figura VIII.7: Áreas con aptitud para *Eucaliptus camaldulensis* en el presente y bajo diferentes escenarios de cambio climático.

Referencias

Barros, Vicente y otros. 1997. Vulnerabilidad de los oasis comprendidos entre 29°S y 36°S ante condiciones más secas en los Andes altos. Proyecto ARG/95/G/31 - PNUD - SECYT.

Barros, Vicente. Agosto de 2005. Entrevista revista DERF. Facultad Regional de Santa Fe. Universidad Tecnológica Nacional.

Barros, Vicente y otros: 1997. Vulnerabilidad y mitigación relacionada con el impacto del cambio global sobre la producción agrícola. Proyecto ARG/95/G/31 - PNUD - SECYT..

Bertón, J. A y Corral, A. 1989. Análisis de la precipitación en Villa Mercedes Período 1899/00 - 1984/85 Revista de la Fac. de Agronomía de la Universidad Nac. de La Pampa Volumen 4 Nº 1

Bertón, J. A y Echeverría J. C. 1999. Cambio Climático Global en San Luís. Régimen Pluviométrico. VII Jornadas Cuidemos Nuestro Mundo. San Luís : 48-50.

Bertón J. A y Echeverría J. C. 2002. Zonas Aridas de la provincia de San Luís: Dos clasificaciones climáticas. X Jornadas Cuidemos Nuestro Mundo San Luís :110-112.

Hulme M. y Serrad N. 1999. Escenarios de Cambio Climático para Argentina. de la Unidad de Investigación de la Universidad de East Anglia, Norwich, Reino Unido.

IPCC: "Climate Change". 1990 The IPCC Scientific Assessment. WMO/UNEP. Edited by J.T. Houghton, G.J.Jenkins and J.J. Ephraums. Cambridge University Press. 365 pp.

Jenkins, G.; Betts, R. y otros. 2005. Stabilising climate to avoid dangerous climate change - a summary of relevant research at the Hadley Centre. Met Office, Hadley Centre, U. K..

Nasa, 2006. Ambiente y Sociedad Nº 234. Publicación Electrónica de www.ecoportal.net/content/ view/full/56065

Servicio Meteorológico Nacional. 1972. Estadísticas Climatológicas 1951-1960.

Servicio Meteorológico Nacional. 1981. Estadísticas Climatológicas 1961-1970.

Servicio Meteorológico Nacional. 1986. Estadísticas Climatológicas 1971-1980.

Servicio Meteorológico Nacional. 1992. Estadísticas Climatológicas 1981-1990.

IX. SECUESTRO DE CARBONO

E.G. Jobbagy; M.D Nosetto

Introducción

El establecimiento de masas boscosas se plantea en la actualidad como un mecanismo para compensar las emisiones de CO_2 a la atmósfera y las consiguientes alteraciones climáticas asociadas al uso de combustibles fósiles. El advenimiento de un mercado del secuestro de carbono, que busca compensar las emisiones de estados o empresas, puede comenzar a promover usos de la tierra que, más que perseguir fines productivos tradicionales, busquen maximizar la fijación y retención de carbono in-situ. De acuerdo al protocolo internacional de Kyoto, estas transacciones pueden trascender las fronteras nacionales llevando a agentes de países desarrollados, con altas emisiones, a comerciar cuotas de secuestro de carbono con agentes de otros países, en los que, por ejemplo, el precio de la tierra y la mano de obra vuelvan menos costosa la operación. En este intercambio los estados juegan un papel clave regulando legalmente la validez de las transacciones y garantizando su proceso de certificación. Si bien la forestación es una de las actividades de secuestro de carbono biológico que más interés recibe, su potencial es motivo de discusión (Jackson et al. 2002). En esta sección se efectúa una estimación tentativa del potencial de secuestro de carbono bajo plantaciones forestales en el territorio de la provincia de San Luis.

La elección de un uso particular de la tierra para el secuestro de carbono, como es la decisión de forestar, es solo un aspecto del proceso. No menos importante es la elección de las tierras que se destinarán a tal fin. La necesidad de alcanzar altas producciones forestales dificulta su aplicación en tierras donde la aridez o problemas severos de fertilidad reducen la producción primaria. Dentro de las tierras más productivas, los pastizales suelen ser atractivos porque el establecimiento de plantaciones forestales en ellos no implica la remoción de grandes cantidades de biomasa nativa, cosa que ocurriría en sabanas cerradas, bosques, o fachinales, generando emisiones al inicio del ciclo si la remoción es por quema. Los pastizales suelen ser atractivos también por el menor costo de oportunidad de la tierra para la forestación, ya que suelen conservarse en áreas que por distintas razones no han permitido hasta el momento un uso agrícola exitoso y mantienen precios relativamente bajos, acordes a su uso exclusivamente ganadero.

En términos generales, para que el secuestro de carbono resulte exitoso debe lograrse que el ecosistema forestado experimente ganancias netas de carbono cuando se consideran todos los compartimientos activos, que incluyen a la biomasa vegetal aérea y subterránea y la materia orgánica del suelo. Estas ganancias netas pueden medirse en base a la comparación con el sistema original que hospedó a la forestación ya sea por mediciones repetidas en el tiempo o por comparación con situaciones control que se consideren representativas. Sin embargo es importante considerar que un análisis más realista debería considerar el secuestro de carbono en relación a otros usos

probables de la tierra en el caso de que no se encarara la forestación. Por ejemplo, para tierras degradadas que han perdido grandes cantidades de materia orgánica del suelo como resultado de malas prácticas agrícolas, la forestación muy posiblemente no solo gane carbono en la biomasa arbórea sino también en la materia orgánica del suelo (Jobbágy y Jackson 2000). Un análisis adecuado de esta opción debería considerar otros usos probables de la tierra degradada tales como la producción de pasturas, o el abandono y establecimiento de comunidades silvestres. En ambos casos alternativos la biomasa y el carbono orgánico del suelo pueden aumentar considerablemente. Si se compara el estatus de carbono de la forestación con la tierra degradada, el secuestro será mayor que si se comparara con los usos alternativos mencionados. Ambas comparaciones son importantes y deben considerarse a la hora de tomar decisiones regionales. Un ejemplo opuesto al anterior puede ser el de tierras de pastizal que por las condiciones socioeconómicas actuales tengan alta probabilidad de ser convertidas a cultivos anuales de secano con muy probables perdidas de carbono orgánico del suelo (caso de la expansión del cultivo de soja en pastizales considerados marginales para la agricultura en el pasado). En este caso el secuestro de carbono que puedan promover plantaciones forestales en la región debería evaluarse en comparación con dos escenarios: el del sistema original, que podría mantenerse sólo con estrategias regionales de conservación de pastizales, o el del establecimiento de cultivos anuales, que posiblemente tenga un balance negativo sobre los niveles de carbono, generando más emisiones por descomposición de materia orgánica, que fijación por producción primaria convirtiendo a la forestación en un agente de retención de carbono más efectivo en términos comparativos.

Aquí se estiman los cambios en el almacenamiento de carbono orgánico total asociados al establecimiento de montes de Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa*) en las dos áreas de aptitud forestal más importantes de la provincia ocupadas actualmente por pastizales: El sur arenoso y las sierras de San Luis. A partir de cuantificaciones existentes del carbono almacenado en plantaciones de la especie en condiciones de aridez parecidas (estepas patagónicas con similar precipitación, Laclau 2003, Nosetto et al. 2006) se calcula el potencial almacenamiento de carbono por hectárea forestada y en base a las superficies de tierras aptas calculadas en secciones anteriores de este estudio se arriba a una estimación de la tasa anual de secuestro que podría alcanzarse suponiendo que se implanta un 20% de las mismas.

Secuestro de carbono en plantaciones de pino ponderosa

Dado que no existen estimaciones de secuestro de C en plantaciones locales se utilizan los datos obtenidos por Laclau (2003) y Nosetto et al. (2006) para plantaciones de la especie en el noroeste de la Patagonia. Se eligen los datos correspondientes a plantaciones con niveles de precipitación similares a los de San Luis. Laclau (2003) y Nosetto et al. (2006) presentan información para 40 parcelas forestadas en un rango de 450 a 1500 mm de precipitación al año. Aquí se toman solamente los datos para situaciones de 450 a 900 mm/año que sugieren tasas de acumulación de carbono en biomasa de 2.2 Ton C/ha/año y de

secuestro (descontando la biomasa del pastizal que remplazan) de aproximadamente 1.8 Ton C/ha/año. En todos los casos los valores representan la ganancia de carbono promedio anual que se obtendría en plantaciones de 15-20 años. Estas ganancias efectivas son menores al comienzo de la plantación cuando el crecimiento es menor al promedio. Para el cálculo de secuestro de carbono que se alcanzaría al remplazar los pastizales puntanos se utilizaron los datos proporcionados por Echeverría (comunicación personal), que sugieren una biomasa aérea en pie promedio en los pastizales aptos para *P. ponderosa* de aproximadamente 1.8 Ton/ha, es decir 0.9 Ton C/ha. Respecto al carbono orgánico de los suelos se asume su contenido constante e inalterado por las forestaciones de acuerdo a lo observado por Nosetto et al. (2006) y Laclau (2003) en la estepa patagónica. Este supuesto se apoya en numerosas evidencias de otros lugares del mundo que muestra que la forestación de pastizales muy raramente se asocia a incrementos de la materia orgánica edáfica, que de por sí es alta en estos últimos, siendo más común una leve disminución de este pool de almacenamiento de carbono tras varias décadas de reemplazo de pastizales por montes (Paul et al. 2002, Jackson et al. 2002).

Secuestro de carbono en San Luis

La superficie apta para implantar pino ponderosa en la provincia de San Luis es una de las más amplias para todas las especies consideradas. En la zona serrana y sur de la provincia abarca 3.834.520 ha. Asumiendo que estas tierras se forestan exitosamente en un 20 % de su superficie y adjudicando a estas áreas los niveles de acumulación de C mencionados antes (2.2 Ton C/ha/año) y descontando la pérdida de biomasa del pastizal (0.9 Ton C/ha) prorrateada en un horizonte de 20 años, en toda la provincia se podría obtener un secuestro de 1.59 millones de Tn C/año (1.59 Gigagramos C/año), lo que representa aproximadamente un 2.4 % de las emisiones de Argentina y potencialmente, a un hipotético valor de 10 U$ por tonelada de carbono, un ingreso bruto de 15.9 millones de dólares. Cabe destacar que esta estimación supone que las plantaciones han sido logradas exitosamente y mantienen buenos niveles de crecimiento sin ser afectadas por fuego, plagas o cosechas. Particularmente importante es el caso del fuego, disturbio muy frecuente en todo el territorio provincial, que podría cancelar e incluso revertir las ganancias de las forestaciones llevando a los ecosistemas afectados a perder más carbono del que han ganado, ya que los fuegos forestales, que a menudo alcanzan temperaturas más altas que los de pastizales, pueden propiciar la combustión de materia orgánica del suelo.

Referencias

Jackson RB, Banner JL, Jobbagy EG, Pockman WT and Wall DH (2002) Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. Nature, 418, 623-626.

Jobbágy EG and Jackson RB (2000) The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications, 10, 397-398.

Laclau P (2003) Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. Forest Ecology and Management, 180, 317-333.

Nosetto MD, Jobbágy EG, Paruelo JM (2006) Carbon sequestration in semiarid rangelands: Comparison of Pinus ponderosa plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. Journal of Arid Environments *en prensa*

Paul KI, Polglase PJ, Nyakuengama JG, Khanna PK (2002) Change in soil carbon following afforestation. Forest Ecology and Management, 168, 241-257

X. PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

E.G. Jobbagy

La investigación debería apuntalar el desarrollo forestal de la provincial de San Luis buscando generar pautas para el diseño de sistemas sustentables y adaptados a las condiciones económicas y ecológicas actuales de la región pero flexibles ante su rápido cambio.

Se plantean aquí un conjunto de acciones de investigación que podrían tener un impacto alto y relativamente rápido en los sistemas productivos locales. En estas líneas propuestas podrían converger los esfuerzos del sector privado (asociaciones de productores) y público tanto a nivel provincial (gobierno provincial) como nacional (INTA, CONICET, UNSL).

1. Redes de ensayos y observaciones

En la Sierra de San Luis existen parcelas de ensayo de especies forestales instaladas por la provincia. Si bien estas parcelas se encuentran en estado de abandono y han sido pocos los registros mantenidos, las mismas han sido de gran valor en el desarrollo de este mapa forestal.

Al mantenimiento de las parcelas existentes debería sumarse el establecimiento de nuevas parcelas con el criterio de representar los distintos ambientes forestales de la provincia y las especies de actual o potencial interés forestal. Estas parcelas podrían incluir macizos forestales que aseguren la evaluación de las especies de mayor interés en condiciones de competencia (parcelas de aproximadamente un cuarto de hectárea por especie) y agregar líneas aisladas de una mayor variedad de especies de potencial interés cuya aptitud es aún desconocida. El registro exacto del material genético utilizado así como de la densidad de plantación y localización exacta de los materiales es clave y se debería asegurar el monitoreo anual del crecimiento y estado de las plantas.

Dentro de los ambientes que se deberían caracterizar se destacan:

- Sierra de San Luis – altitud intermedia (1200-1400 metros). Pampas y zonas de rocosidad media
- Sierra de San Luis – altitud mayor (1400-1700 metros). Pampas y zonas de rocosidad media
- Sur arenoso – sector oriental (precipitación 600 mm/año). Medanos vivos, medanos vegetados y cubetas de deflacion/bordes de lagunas
- Sur arenoso – sector occidental (precipitación 500 mm/año). Crestas de medanos y depresiones entre medanos.

Un sistema como el anterior podría ser complementado con parcelas de monitoreo establecidas dentro de explotaciones forestales comerciales. Al

presentarse nuevos proyectos en zonas de interés, los organismo públicos podrían aprovechar sectores de las nuevas plantaciones y, aplicando un protocolo de mediciones repetible y acordado, monitorear estado de plantas, crecimiento y producción. En estas parcelas se podría añadir ensayos de evaluación de prácticas de manejo tales como podas y riegos estratégicos.

2. Producción local de plantas

Como se indica en la presentación de las zonas aptas para muchas especies y en la sección que explora áreas climáticamente similares a San Luis, las especies y las zonas de origen óptimas para San Luis pueden, en muchos casos, ser distintas a las de otras zonas forestales cuyos viveros actualmente proveen plantas a los forestadores locales (e.g. Neuquén, Córdoba). El establecimiento de viveros locales permitiría producir las especies y orígenes más apropiados localmente. Una capacidad de producción de plantines local robusta permitiría plantar lo más conveniente y no, como suele suceder en sistemas forestales de rápida expansión, lo que está disponible en zonas vecinas.

3. Forestación integrada a otras producciones

En las zonas de máxima expansión forestal del país (e.g. Corrientes, Neuquén) y vecinos como Uruguay, suele producirse un reemplazo de las actividades productivas originales, generalmente ganadería, por la producción forestal. En estos esquemas se producen bruscos cambios ecológicos y sociales y el sector forestal se integra pobremente a la economía local. En la medida en que la forestación no actúe como reemplazante de las opciones de uso preexistentes y sea en cambio un complemento, las posibilidades de que los mismos productores de la región la incorporen será mayor.

Especialmente atractivos en este sentido son los planteos silvopasturiles que buscan aprovechar el potencial forestal de la tierra sin desplazar la producción animal y en muchos casos favoreciendola a partir de la mejora del suelo, de las condiciones microambientales para los animales y a veces a partir de la privisión complementaria de forraje en frutos y hojas de los árboles. Del mismo modo las plantaciones forestales que buscan contener la erosión y mejorar las condiciones de crecimiento de los cultivos anuales tienen mejores posibilidades de ser acogidas por productores tradicionalmente no forestales.

4. Evaluación más profunda de la aptitud forestal en ambientes clave

Dos ambientes con gran potencial forestal pero poco conocidos son las zonas con agua freática cercana a la superficie y los ambientes serranos altos y húmedos. En ambos casos el escaso conocimiento de la interacción entre árboles y ambiente limita la posibilidad de ofrecer recomendaciones. En el caso de los ambientes con agua freática cercana a la superficie, como es el caso de la región de cubetas de deflación en el sureste de la provincia, las preguntas son: ¿Hasta que profundidad pueden las distintas especies de árboles alcanzar y usar en forma sostenida el agua freática? ¿Este uso es sustentable? ¿Se provocan caidas

de nivel o aumentos de salinidad? Si esto ocurre, ¿cuales son las densidades máximas o zonas de plantación ideales para minimizar el problema?

En el caso de los ambientes serranos de altura un aspecto central es lograr una mejor clasificación climática detallada capaz de distinguir ambientes con temperaturas favorables para las distintas especies de interés. Se ha avanzado preliminarmente sobre este aspecto en este informe, utilizando imágenes satelitales, pero esto podría complementarse con redes de sensores automáticos que hoy en día tienen costos relativamente bajos.

5. Impactos

Las forestaciones pueden impactar fuertemente el ciclo del agua en San Luis, especialmente en la zona serrana. Esta zona es la principal fuente de agua para las principales ciudades de la provincia y la posible merma de caudales en respuesta a la forestación debería monitorearse a medida que las pequeñas cuencas primarias se vayan forestando. Idealmente, debería llegarse a reconocer una proporción máxima de las cuencas a forestar para asegurar una provisión de agua estable. La sección de impactos de las forestaciones ilustra otros aspectos que puede ser relevante monitorear.