Aspectos genéticos

En cuanto a sus antecedentes genéticos se le conoce sólo una variedad ("fragilis" Duhamel), que se caracteriza por una delgada y blanda cubierta de la semilla. Esta variedad es probable que haya sido creada por el hombre (Mirov, 1967), y se ha encontrado en Ávila y Salamanca en España (Montoya, 1990). Crawford (1995) señala que es cultivada por sus características y que se da bien en el Sur y Oeste de Inglaterra, pero que es susceptible a daños causados por heladas cuando joven.

Gil y Abellanas (1989) mencionan que la especie es susceptible de ser mejorada genéticamente debido al enorme potencial futuro que posee el aprovechamiento tradicional del piñón. Opinan que una vez que se seleccionen los individuos sobresalientes en lo que se refiere a producción de conos, y se realicen injertos o hibridaciones junto con las selecciones debidas en huertos semilleros, la mejora genética tiene amplias posibilidades. En Italia ya se están realizando trabajos para propagar plantas superiores en cuanto a producción de frutos, mediante la técnica de injertación (Crawford, 1995).

Requerimientos ecológicos

En general tolera todos los suelos excepto los muy húmedos y alcalinos (Crawford, 1995), siendo poco exigente en nutrientes (Montoya, 1990). Se desarrolla mejor en texturas arenosas, aunque también crece en texturas francas y limosas no tolerando los suelos pesados, de textura arcillosa (Montoya, 1990). Tolera suelos áridos, pues aparece en suelos areno-calcáreos, graníticos y volcánicos, pero profundos. Otros autores mencionan que también tolera los superficiales. Crece en suelos de pH 4 a 9.

Requiere entre 400 y 800 mm de precipitación anual con régimen de lluvia invernal, con 4 a 6 meses secos (Webb *et al.*, 1984). Sin embargo, Montoya (1990) opina que en ocasiones soporta precipitaciones de 250-300 mm anuales, pero que presenta mejor aspecto desde los 500 mm; en ocasiones alcanza zonas con 1.500 mm de precipitación anual, siendo su óptimo ecológico entre los 500 y 800 mm.

La temperatura media máxima del mes más cálido varía entre 20° y 35°C (Webb *et al.*, 1984), y la media mínima del mes más frío fluctúa entre 4° y 14°C (5° a 8°C según García de Pedraza y Pallares, 1989), superior a 0°C según Montoya (1990), y la temperatura media anual entre 14° y 18 °C (Webb *et al.*, 1984; Enginar[3], 1996). Soporta temperaturas mínimas de -20°C y máximas de 41°C, aunque suelen aparecer daños por frío desde -12 °C (Montoya, 1990).

Es una especie heliófila resistente al frío, tolerante al viento salino y a la sequía (Molina, 1991) y también muy resistente al calor (Montoya, 1990). Puede encontrarse en un amplio rango altitudinal; desde el nivel del mar hasta los 2.500 m.s.n.m. (Webb *et al.*, 1984). Sin

[3] Ayhan Enginar, 1996. Primer Secretario de la Embajada de Turquía. Comunicación personal.

INFOR

embargo, Gil y Abellanas (1989) y Montoya (1990), afirman que sólo crece hasta los 1.000 metros de altitud. Como estos rangos altitudinales corresponden a su distribución natural, se puede suponer que en Chile su comportamiento será similar.

Silvicultura

En lo referente a regeneración natural, como se trata de una especie pionera no resiste la competencia de la vegetación preexistente; al contrario, un suelo incendiado o labrado suele favorecer la regeneración, al igual que la quema o remoción de desechos provenientes de alguna intervención (Montoya, 1990). Además es importante destacar que se ha observado que rebrota abundantemente de tocón después de una quema.

Si se procede a colectar las semillas es importante que éstas estén maduras cuando los conos están de color café castaño, los que posteriormente se secan ya sea natural o artificialmente, siendo más recomendado este último método de secado.

Tratamientos pregerminativos

Hay variadas opiniones acerca de los tratamientos pregerminativos a realizar en las semillas. Estos incluyen desde que las semillas no requieren de tratamiento antes de la siembra, demorando en germinar 20 a 25 días con una capacidad germinativa entre 25 y 75%, a tratamientos en agua fría desde un día a una semana, acelerándose el tiempo requerido para producirse la germinación (Ximénez de Embún y González, 1959; Goor y Barney, 1976; Heth, 1983; Webb *et al.*, 1984).

Sin embargo, Pastor[4] (1995), opina que el remojo en agua no es un buen tratamiento pregerminativo, y que para obtener un porcentaje de germinación razonable las semillas deben someterse a estratificación durante 4 semanas como mínimo. Con este último tratamiento se puede obtener una germinación entre 70 % y 81 % en 21 días y una energía germinativa de 30 % en 7 días (Crawford, 1995).

Por otra parte, semillas sin tratamiento pregerminativo puestas en los mismos recipientes a 18° C y 22 días de duración del ensayo alcanzan una capacidad germinativa de 98% con una energía germinativa de 88 % en 14 días (USDA, 1974). Esto indicaría que la especie no requiere de tratamientos pregerminativos para lograr una buena germinación de las semillas.

El Instituto Forestal realizó una siembra en el mes de noviembre de 1992, utilizando semillas de distintas procedencias, y como tratamiento pregerminativo un remojo de 24 horas en agua. La germinación comenzó a manifestarse a partir de la segunda semana después de la siembra y con dos temporadas de vivero se obtuvieron plántulas de aproximadamente 50 cm (Pastor[4], 1995). La mayor germinación obtenida corresponde a la

[4] Jaime Pastor, 1995. Técnico Forestal. Encargado de vivero INFOR. Comunicación personal.

INFOR

procedencia española Sierra Morena con 72,8 % y la peor a Cauquenes de Chile con 0,8 %. Esto puede atribuirse al tamaño de la semilla que en el caso de Cauquenes es significativamente más grande (960 semillas / kg.), que se traduce en cubiertas más gruesas y menor capacidad de hidratación.

La siembra se recomienda realizarla en otoño o a fines de invierno o comienzos de primavera pero nunca después de septiembre para prevenir Damping off. En general, las plantas de 18 a 24 meses están de un tamaño adecuado para ser plantadas, variando de uno o dos años o más según las condiciones del sitio.

Existen diversas opiniones respecto a la densidad de plantación. Montoya (1990) opina que espaciamientos de 3 x 3 m parecen suficientes (1.111 plantas/ha), aunque suele llegarse a espaciamientos de 2 x 2 m (2.500 plantas/ha); para una buena producción de frutos se recomienda espaciamientos de 4 x 4 m (625 árboles/ha); por otro lado, Carnevale (1955) propone una densidad de 277 árboles/ha, lo que corresponde a una plantación de 6 x 6 m. Crawford (1995) menciona que se puede plantar a 5 x 5 m con protección en lugares ventosos, pero si el objetivo específico es la producción de frutos, se recomienda plantar con un distanciamiento de 10 x 10 m para permitir que los árboles desarrollen ramas bajas y que tomen la forma de paraguas, de modo de facilitar la cosecha.

La fertilización en *Pinus pinea* todavía está en una etapa experimental; pareciera que fósforo y potasio son los nutrientes más eficaces o los que con mayor frecuencia escasean en los suelos forestales. Frecuentemente se fertiliza antes de la preparación del suelo de modo que los nutrientes queden disponibles a las raíces de las plantas. Sin embargo, sólo se recomienda realizar una fertilización si se va a preparar el suelo y sembrar algún cereal o pasto (Montoya, 1990).

Crecimiento

Se cuenta en la actualidad con pocos antecedentes del crecimiento potencial real de la especie debido a que las plantaciones o bosquetes que se encuentran en el país no presentan un manejo adecuado o simplemente no lo presentan.

En Europa la especie presenta un crecimiento inicial muy lento, a partir de los 5-6 años comienza un crecimiento en altura más acelerado, llegando a los máximos en torno a los 11-23 años, para posteriormente decrecer en forma progresiva (Montoya, 1990).

Los árboles observados en diversos puntos del país en general no presentan un manejo adecuado y continuo o simplemente no lo presentan, lo que afecta considerablemente el crecimiento. Sin embargo, se pudo apreciar que soportan terrenos con escasa profundidad de suelo y bastante erosionados, y que rebrotan abundantemente de tocón después de un incendio.

Usando muestras procedentes de la Reserva Nacional Lago Peñuelas (V Región) se realizó un análisis de tallo para estimar el crecimiento de la especie, para lo cual se voltearon nueve individuos. Los resultados se presentan en el Cuadro N°9, observándose que en comparación con pino insigne su desarrollo es bastante menor.

Dentro del mismo estudio se determinó que el espesor de corteza es bastante variable con respecto a la altura, no existiendo una clara tendencia de disminución. Sin embargo, en general, pino piñonero tiene una corteza más bien gruesa.

También son variables los incrementos diamétricos anuales, llegando a un máximo de 2,4 cm. La tendencia media con respecto a la edad es aumentar hasta los 15 años para posteriormente ir disminuyendo.

Cuadro N°9: Antecedentes dasométricos de pinos piñoneros en la localidad de Peñuelas (V Región).

EDAD	DAP (cm)	ALTURA (m)	VOLUMEN (m3 ssc)
5	3,92	2,60	0,0057
10	7,03	5,68	0,0167
15	13,80	8,71	0,0710
20	18,74	11,69	0,1679
25	22,39	14,61	0,2962
30	25,09	17,49	0,4441
35	27,79	20,32	0,6336
40	30,49	23,09	0,8700

Con respecto a las podas, las funciones principales de éstas en pino piñonero son la formación del tronco para mejorar la calidad de su madera y facilitar la recolección de las piñas (poda de formación), y aumentar la producción de éstas (poda de fructificación) (Montoya, 1990). Por esta razón carece de sentido podar sobre los 5 a 6 m de altura. Estas se inician cuando el diámetro con corteza del árbol no sea mayor de 12-15 cm, de modo de mantener el cilindro central nudoso; generalmente se efectúan cuando los árboles dominantes poseen una altura no menor de 3-4 m. En todo caso, el inicio de las podas dependen más de la calidad del sitio y la densidad de plantación que de la edad de los

INFOR

árboles. Posteriormente, las podas pueden repetirse cada 5-10 años, siendo más frecuentes al inicio de la vida del árbol (Op cit.).

Se ha demostrado que por efecto de las podas, los aumentos de producción de fruto son del orden del 33 %.

Madera

La madera de pino piñonero no es durable, pero es fácil de aserrar y secar (Webb *et al.*, 1984). Es blanca, ligera y en general muy nudosa. Es bastante resinosa (Peraza, 1964). Tiene una mediana resistencia a la compresión y con respecto a la flexión se la considera muy resistente.

Debido al lento crecimiento y la pobre forma del fuste los usos que tiene la madera de pino piñonero son más bien exiguos. Sólo se utiliza en construcciones ligeras (INFOR, 1995), carpintería, cajas, leña y carbón También se ha mencionado su uso en revestimientos interiores, molduras y madera aserrada.

Mercado

El piñón es utilizado con excelentes resultados en repostería y pastelería a nivel internacional (INFOR, 1995).

El mercado principal de esta especie está en la venta de sus frutos (piñones); sin embargo, lo artesanal de su producción hace imposible contar con datos precisos de producción y comercialización (INFOR, 1995). Crawford (1995) afirma que las principales áreas de producción son España (Huelva) e Italia (Marque, Toscana, Abruzzo). Al respecto, Foure[5] (1995) menciona que Taiwan es el principal país exportador seguido por España, Italia y Turquía, y el principal importador es Estados Unidos, seguido por el mundo Islámico y España.

En España, ICONA vende las semillas de pino piñonero a 860 pesetas el kg. más IVA (7%) ($2.917 pesos chilenos) y en los mercados (Valladolid específicamente), el kg. de semillas limpias alcanza un valor de 4.000 pesetas, lo que equivale a $12.680 pesos chilenos (Foure[5], 1995).

En Santiago se venden piñones en paquetes de 100g. con un valor de $2.500 (INFOR, 1996).

[5] Ney Foure, 1995. Ingeniero Agrónomo. Comunicación personal.

INFOR

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se realizó una evaluación económica a una rotación de 40 años orientada principalmente a la producción de frutos de pino piñonero. Se consideraron tres escenarios: optimista (costos bajos de establecimiento, manejo y administración y precios altos de los productos), escenario normal donde se evalúa a precios y costos probables y pesimista (costos altos y precios de productos bajos). Estos mismos escenarios se evaluaron sin y con bonificación forestal, que en el caso de acojerse al beneficio reembolsa el 75% de los costos de administración y de las dos primeras podas. En este marco, pino piñonero no recibe bonificación por el establecimiento debido a la baja densidad de plantación requerida para favorecer la producción de frutos, pero a modo de ejercicio se evaluó bonificando la plantación en forma proporcional a lo que correspondería a una densidad de 830 plantas por hectárea en la VI región, considerándose ésta como una situación media debido a que la especie se propone para las regiones V a VII principalmente.

Como indicador de rentabilidad se utilizó el VES (valor económico del suelo) que corresponde al valor actual de los beneficios netos de todas las futuras rotaciones del bosque planificadas sobre dicho suelo, bajo un determinado esquema de manejo (Chacón, 1995). Se eligió este indicador ya que permite comparar económicamente, distintas edades de rotación al evaluar bajo el concepto de rotaciones infinitas. Este no considera el valor comercial del suelo y se define de la siguiente forma:

$$VES = \frac{VAN * (1+i)^R}{(1+i)^R - 1}$$

donde,

R: rotación de la especie
i: tasa de actualización
VAN: valor presente neto

Éste se interpreta como el precio máximo a pagar por el suelo de manera de obtener una renta igual a cero; por lo tanto si el VES es mayor que el valor comercial del terreno la rentabilidad del proyecto es positiva; en caso contrario (VES menor al valor comercial) la rentabilidad es negativa.

Se consideraron tres tasas de actualización; 6%, 8% y 10%, las que se determinaron según el tipo de inversionista, es decir, pequeños, medianos o grandes inversionistas.

Se propone un manejo de tipo monte alto (es decir originado de semilla), con una densidad inicial de 625 árboles por hectárea (4 x 4 m) con plantas de pino piñonero sin injertar del tipo 1:0 a raíz desnuda. Se realizarán raleos a los 8 y 20 años, para finalmente el año 40 cosechar los árboles restantes, que han quedado a una densidad final de 8 x 8 m. La mortalidad se asume en un 10%.

INFOR

Durante la rotación se estima extraer un volumen de 26,5 m^3/ha a los 20 años en el primer y único raleo comercial, del cual se obtienen 15,2 m^3/ha de madera pulpable y 11,3 m^3/ha de madera aserrable. En la cosecha final el volumen esperado es de 135,7 m^3/ha, correspondiendo 44 m^3/ha a madera pulpable y 92 m^3/ha a madera aserrada.

Los costos de establecimiento incluyen los costos de roce, reducción de desechos, de preparación de suelos, los costos de plantación, los insumos tales como plantas de vivero, fertilizantes, control de conejos, control de malezas y materiales de cerco. En los costos de manejo se ha considerado la mano de obra contratada para realizar el desbroce, podas y raleos. Los costos de cosecha incluyen la recolección, clasificación y ensacado de frutos a partir del año 15, las faenas de volteo y madereo de los árboles al final de la rotación, así como los campamentos necesarios para las faenas. También incluye los costos de construcción de caminos realizados el año anterior al raleo comercial (año 19) .

Valor de los productos

Los productos que se espera obtener durante la rotación son los habituales que se podrían esperar de este tipo de bosques: frutos, madera aserrable y madera pulpable. El valor de venta de éstos a orilla de camino se presentan en el Cuadro N°10.

Cuadro N°10: Precios de productos de Pino Piñonero a orilla de camino

PRODUCTO	UNIDAD	PRECIO VENTA ($)
Semillas	$/kg.	420
Madera aserrable	$/$m^3$	9.303
Madera pulpable	$/$m^3$	5.050

Fuente: INFOR, 1995.

Resultados

En base a los antecedentes anteriormente señalados se procedió a evaluar las plantaciones de pino piñonero bajo los esquemas de manejo propuestos y los escenarios correspondientes. Cabe señalar que los costos en mano de obra y precios asumidos son iguales para todas las rotaciones al infinito, ya que no existe una fuente histórica fidedigna que permita evaluar sus variaciones y en el caso en que éstas existan, no son completas y no presentan variaciones significativas. Los resultados se ilustran en el Cuadro N°11, bajo las condiciones de con y sin bonificación estatal.

El valor económico del suelo indica la rentabilidad del proyecto de inversión bajo una cierta tasa de descuento, obteniéndose los mejores resultados bajo la tasa de descuento del 6% para los distintos escenarios, lo cual permite al inversionista compararlo con el retorno del capital a una tasa alternativa correspondiente.

INFOR

Cuadro N°11: Resultados evaluación Pino Piñonero

MODALIDAD	V.E.S (Miles $/ha)		
SIN BONIFICACIÓN	TASA 10%	TASA 8%	TASA 6%
Escenario optimista	340,55	723,29	1.434,43
Escenario normal	14,75	255,61	703,81
Escenario pesimista	-412,80	-316,65	-138,03
CON BONIFICACIÓN	TASA 10%	TASA 8%	TASA 6%
Escenario optimista	421,11	809,70	1.528,39
Escenario normal	95,30	342,01	797,66
Escenario pesimista	-330,45	-228,45	-42,39

El VES también puede ser interpretado como el valor máximo (por hectárea) a pagar por el suelo, que en el caso del escenario normal varía entre los $14.750 y $703.810 según la tasa descuento usada, y con bonificación estatal varía entre $95.300 y $797.660. Esto permite evaluar las distintas alternativas de uso para el suelo y poner como mínimo ese valor de retorno.

Otra interpretación del VES es el valor actual de los beneficios netos de todas las futuras rotaciones de la plantación bajo el esquema de manejo propuesto, es decir, para el caso de la situación normal se obtendría una utilidad entre $14.750 y $797.660 (dependiendo de la tasa utilizada y si es con o sin bonificación).

Cabe destacar que la incorporación de la bonificación estatal mejora los resultados obtenidos pero no lo suficiente como para hacer positivos los escenarios pesimistas a las tres tasas utilizadas, pero de todas maneras se considera que es importante el apoyo estatal en este tipo de plantaciones.

CONCLUSIONES

Aún existe escaso conocimiento práctico acerca del comportamiento de la especie en Chile, pero por el hecho de ser una especie pionera y con una capacidad de adaptarse a casi todos los tipos de sitios, se puede recomendar el uso de ésta con buenos resultados en las zonas de secano (VI y VII regiones por ejemplo).

A ello hay que agregar que representa una alternativa a los pequeños y medianos propietarios para establecer plantaciones a baja densidad, quizás poniendo cultivos entre los árboles o incluso ganado para aprovechar mejor el terreno y percibir ingresos durante la rotación hasta que el tamaño de los árboles lo permitan.

Se recomienda utilizar la técnica del injerto para establecer este tipo de plantaciones ya que aceleraría el proceso de obtención de frutos en forma considerable, siendo esta la prioridad

INFOR

de este tipo de plantaciones. La madera se considera un producto secundario por lo que las intervenciones silviculturales a realizar deben efectuarse para favorecer la producción de piñones.

Es importante mencionar que en Chile aún la mano de obra resulta ser económica por lo que en este tipo de producción frutal, en que la testa es de consistencia leñosa, se puede recurrir a ella para posteriormente acceder al mercado en una forma más procesada y por lo tanto a mejor precio.

Por otro lado, hay que mencionar todos los beneficios propios de contar con una masa boscosa donde hoy en día es difícil de encontrar: beneficios al suelo, a la fauna, a los recursos hídricos, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

CARNEVALE, J. A.,(1955), **Árboles forestales, descripción, cultivo y utilización**, Buenos Aires, Argentina, 689 págs.

CRAWFORD, M., (1995), **Nut pines,** Yearbook, West Australian Nut and Tree Crops Association, vol. 19, pp.56-66.

GARCÍA DE PEDRAZA, L. y PALLARES QUEROL, M., (1989), "El clima y los árboles forestales", Hojas Divulgadoras, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. N°8, 28 págs.

GIL, L. y ABELLANAS, B., (1989), "La mejora genética del pino piñonero", Montes, Revista de Ámbito Forestal, N°21, pp.3-12.

GOOR, A. y BARNEY, C., (1976) **Forest tree planting in arid zones**, The Ronald Press Company, 2nd Edition, New York, USA, 504 págs.

HETH, D., (1983), "Spot Sowing of Mediterranean Pines under Shelter", Tree Planters' Notes, N°34 (4), U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forestry Division, Agricultural Research Organization, Ilanot, Israel.

INFOR, (1995), "Antecedentes de mercado de *Pino Piñonero*", Manuscrito para ser empleado en su monografía, Programa nacional de diversificación forestal. Convenio INFOR/CONAF, Valdivia, Chile.

INFOR, (1995), Boletín de precios forestales, N° 53, 34 págs.

MIROV, N.T., (1967), **The genus Pinus**, Ronald Press, Nueva York, USA, 602 págs.

MOLINA, M.P., (1991), "El *Pino Piñonero*. Un pino para el secano costero e interior", Renarres, N°08 (32), pp.08-11.

MONTOYA, J.M., (1990), **El pino piñonero**, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 98 págs.

PERAZA, C., (1964), "Estudio de las maderas de coníferas españolas y de la zona norte de Marruecos", Boletín N°83, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Ministerio de Agricultura, Dirección general de montes, caza y pesca fluvial, Madrid, España, 112 págs.

INFOR

SERRA, M.T., (1987), "Dendrología de coníferas y otras gimnospermas", Apuntes docentes, N°2, Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.
USDA, (1974), "Seeds of woody plants in the United States", Agricultural Handbook, N° 450, Forest Service. US Department of Agriculture, Washington DC. 883 págs.
WEBB, D.B., WOOD, P.J., SMITH, J.P., HENMAN, G.S., (1984), **A Guide to Species Selection for Tropical and Sub-Tropical Plantations**, Commonwealth Forestry Institute, 2nd Edition, Oxford, Gran Bretaña, 256 págs.
XIMENEZ DE EMBUN, J., (1959), "El pino piñonero en las llanuras castellanas", Hojas Divulgadoras, N°11, Ministerio de Agricultura, Madrid, España, pp.1-20.

INFOR

SAVANNIZATION-AN INTEGRATION OF ECOLOGICAL THEORY, EXPERIMENTAL APPROACH AND SUCCESSFUL LANDSCAPE MANAGEMENT IN THE NEGEV DESERT

Moshe Shachak[1], Menachem Sachs[2], Itshak Moshe[3]

ABSTRACT

This article focuses on the research and management activities of the savannization project. The objectives of the project are to gain ecological understanding of desertification processes on one hand, and to restore desertified areas on the other. The project is based on the assumption that biological production and diversity in desertified systems are low, due to leakage of resources, water and nutrients, from the ecological system before they can be used by biotic elements. The integrated approach is to investigated the reasons for the leakage, the ecological changes following reduced leakage and the managerial impact on decreasing leakage of resources from desertified landscapes.

The conceptual model developed within this framework combines landscape dynamics, ecosystem processes and biological production and diversity. The model is based on source-sink relationships between two types of patches, characteristic to arid zones. The hypothesis is based on the assumption that the production, diversity and leakage of resources are patchiness dependent. The number, size, shape and the spatial arrangement of the patches determine production, diversity and leakage. The smaller the number and the extent of sink patches the higher the leakage of resources and the reduction in production and diversity of the ecosystem. Desertified areas are characterized by few sink patches embedded in a matrix of source patches. Thus, water, soil and nutrients are leaking from the system. Desertification is characterized by increased leakage of resources. Leakage of resources causes a decrease in production and diversity.

To examine the model, a set of experiments, each of which included manipulation of resources, organisms and patches, was conducted. The results indicate that destruction of sink patches increases the leakage from the system and reduces its production and biological diversity. On the other hand, creation of sink patches increases the production of biomass and the diversity of species in the landscape.

During the implementation stage of the savannization project, management methods were developed to reduce leakage of resources in desertified areas. The management

---

1 The Jacob Blaustein Institute for Desert Research, Ben Gurion University of the Negev, Sede Boker Campus 84990, Israel

2 Land Development Authority, KKL, Forest Department, Eshtaol, M.P., Shimson 99775, Israel

3 Land Development Authority, KKL, Forest Department, Gilat, M.P., Negev 85410, Israel

INFOR

solution to prevent loss of resources is achieved by the creating human-made sink patches. The sink patches consist of a barrier that prevents the leakage of runoff water, soil, organic matter and nutrients, and an underground storage that maintains and absorbs these resources. In the project we have used four methods to create sink patches: stream bed terraces, limans, earthen contour terraces and hillslope minicatchments. Man-made structures add resource rich patches to the landscape. These patches are used in the project to create savanna-like parks. The park landscape is characterized by patches of trees, integrated in a matrix of bush and herbaceous vegetation. The production and biological diversity in savanna-like parks are more pronounced than before the restoration.

SUMMARY

Based on the ecological theories that incorporate landscape mosaics, flow of resources and organisms, and field research, we have gained better understanding of the structure and function of desertified ecosystems in the Negev. This structure is a network, composed of two types of patches - micro- and macrophytic. Miniature organisms, the biotic components controlling the microphytic patch, create an even, hard soil crust. The soil crust reduces water infiltration, and thereby causes leakage of runoff, soil, organic matter and nutrients from the microphytic patches. Loose soil mounds, rich in organic matter and nutrients, develop in the macrophytic patches. The soil mound in macrophytic patches serves as sinks for the resources leaking from microphytic patches. This source-sink relationship leads to differential biomass production and species diversity between the patch types. On the landscape level, the production and diversity depend on the size, number, shape and spatial arrangement of sink and source patches. Increased microphytic cover causes increased leakage of sources from the system, as well as a reduction in the production and diversity. High ratio of source to sink patches characterizes desertified regions, since the rich sink patches are extensively used by people. Their destruction, as a result of uncontrolled usage, is the main cause for desertification.

The understanding of the role of patchiness in the structure and the function of desertified ecosystems, gained in the savannization project, is used for restoration of these systems. Management practices to reduce resource leakage led to increased biomass and species richness of the vegetation. The leading management principle is to add various types of sink patches to the landscape. The most common sink patches added to the landscape were: hillslope minicatchments, contour terraces, limans and stream bed terraces. Addition of sink patches by management activities reduced leakage of resources from the microphytic patches, which were not absorbed in macrophytic patches. Human-made sinks add new resource-enriched patches to the landscape. These patches are used by the savannization project to plant trees and create savanna-like parks of trees embedded in a matrix of scarce dwarf-bushes and herbaceous vegetation. These parks serve as recreation sites and green belts to urban settlement in the desert.

INFOR

These sink patches can also be used for other ecological applications, which are related to restoration of desertified ecosystems. Sink patches can be used to increase grazing availability for livestock. Also, they can be used for the purpose of species conservation. Endangered or small natural plant and animal populations in desertified regions may benefit from colonization of sink patches. The establishment of populations in enriched patches can increase the number of individuals of the endangered natural species.

The ecological theories presented, the experimental approach used and their successful implementation, strengthens our belief that the "savannization project" represents a genuine sustainable man-made ecological system.

INTRODUCTION

The search for restoration management methods in desertified ecosystems, is an issue that occupies researchers and managers of drylands (Graetz 1991, Hoekstra and Shachak, in press). Scientific understanding of processes limiting production and diversity in these landscapes is essential for the accomplishment of management tasks in desertified landscapes (Thomas 1995, Schlesinger *et al.* 1990).

The approach developed in Israel to restore desertified landscapes is based on long-term ecological research. This research suggested that the production and diversity in desertified landscapes is not limited by lack of resources, but by their availability to organisms. It was claimed that existing water and nutrient resources are not used by biotic elements, because they leak from the ecosystem before they are used by vegetation, animals or men.

A multidisciplinary savannization team was established in 1990 in order to study the effects of resource leakage on the ecological system and to develop methods to reduce the leakage and use the available resources. The original research and development team consisted of the following individuals: managers - Menachem Sachs (organizer, Desert Afforestation), Itzhak Moshe (coordinator, Soil Conservation); scientists - Moshe Shachak (Desert Ecology), Avi Perevolotsky (Range Management), Rami Garty (Hydrology), Gabriel Schiller (Forestry). The name of the project was depicted by the landscape pattern created by management processes. In this project the appearance of the area is changed from scattered dwarf shrubs (Cameaphytes) to a savanna-like landscape with patches of trees embedded in the herbaceous system.

INFOR

The savannization team focuses on three issues:

1. What are the processes which control the leakage of resources from desertified ecosystems?
2. What are the ecological outcomes of resource leakage?
3. What are the potential management benefits of reducing leakage of resources?

The assumption is that understanding of ecological interactions at various levels of organization is required to answer these questions. For this purpose, a conceptual model, combining the landscape dynamics, ecosystem processes, and biological production and diversity was established. According to this model, the research combines three components of ecological interactions: landscape heterogeneity, flow of resources and dynamics of organisms.

Upon the development of ecological understanding, associated with the structure and function of desertified ecosystems, management methods have been established. The management methods are based on changes in the landscape mosaics, which result in changes in resource flow in the ecosystem. These changes enable integration of man-made ecological systems in desertified landscapes. A combination of natural ecological processes with landscape management affects the flow of resources and restores the ecosystem, in terms of production and biological diversity.

The objectives of this article are: (1) to communicate the ecological understanding gained on the structure and function of desertified ecosystems in the Negev desert, and (2) to describe how this ecological knowledge is used for the restoration of these systems.

We will focus on processes that cause leakage of resources in desertified systems and on practiced management patterns used to reduce leakage and increase production and biological diversity.

THE ECOLOGICAL BASIS: INTERACTION BETWEEN PATCHES, RESOURCE AND ORGANISMS

Production, diversity and patches

A basic assumption of the savannization project is that understanding of ecological processes and management necessitates unified terms (Shachak and Pickett 1996). The two main terms adopted in this project are biological production and diversity. Production is the process by which living material is produced from abiotic material, using solar energy. Production is measured as the biomass accumulated per area unit per time unit. This process is based on the flow of energy and resources in ecosystems. All organisms in ecological systems depend on this process. In general, this process is

the foundation on which the biosphere is built. Biological diversity is the outcome of interactions between the organisms themselves, and between organisms and their environment. This is the second basic property of the biosphere. The biosphere contains genetic, physiological, species, ecosystem and landscape diversity (Falk 1990, Franklin 1993). Biological diversity is the product of the evolutionary potential of organisms with their unique interactions, and of past and present environmental opportunities (Wilson 1992).

The two main characteristics of ecosystems, production and diversity, result from the interactive network between the organisms and their resources in a heterogenic environment (Fig. N°1). The relationships in this network change in space and time. Spatial heterogeneity is frequently expressed in various types of patch mosaics in the landscape. This patchiness results from fecundity and m ortality of organisms, and from the interrelationships among biotic interactions, resources and organisms. Patches change in time. New patches are created following disturbances, changes in the distribution of organisms, growth, mortality of organisms and other processes. Therefore, the composition and spatial arrangement of patch mosaics change constantly. These changes are called patch dynamics (Pickett and Thompson 1978). Thus, patchiness is a dynamic infrastructure which controls production and diversity.

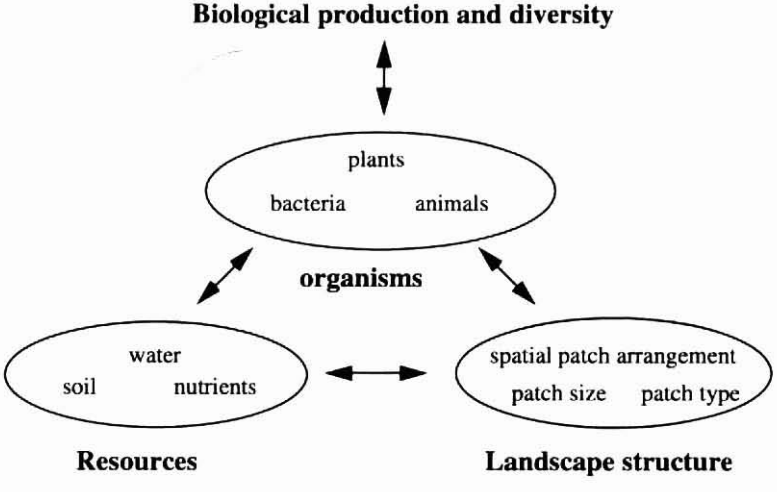


Figure N°1: Conceptual network integrating organisms, resources and landscape mosaics heterogeneity for the understanding of ecological processes in desertified areas (After Shachak and Pickett 1996).

The following specific questions related to landscape dynamics, ecosystem processes, and production and diversity of desertified areas were asked in our project:

1. Can the low production and diversity of desertified landscape be explained by the interactions between patches, resources and organisms?
2. Could management that changes the relationships between patches, resources and organisms increase the production and diversity?

Patchiness, production and biological diversity in desertified areas

Most plants and animals in arid regions are concentrated in soil covered areas. Soil covered areas are composed of two types of patches, which differ in their soil composition and vegetation cover. In the first type the soil surface is flat, smooth and hard. The main biotic components in these patches are bacteria, cyanobacteria, algae, mosses and lichens. These patches are called microphytic, because the patch is dominated by miniature sized vegetation. The other type of patch is composed of a mound of loose soil enriched with organic matter and litter. Dwarf bushes grow on the mound. Grasses, mainly annuals, which are the main contributors to vegetation production and diversity, grow in the understories of the bushes. These patches are called macrophytic since they are dominated by large sized vegetation, as compared to the microphytes. The microphytes, fix nitrogen, reduce soil infiltration to precipitation and increase surface runoff generation (West 1990, Zaady and Shachak 1994). The production and diversity of higher plants in microphytic patches is low compared to macrophytic patches. In the macrophytic patches rainfall and runoff water infiltrate into the mound of loose soil and the patch does not generate runoff. The content of nitrogen in these patches is high due to decomposition of organic matter and nitrogen fixation conducted by nitrogen fixing bacteria (Zaady *et al.* 1996a).

The production and diversity in macrophytic patches is higher than in microphytic patches (Andrew and Lange 1986a,b, Garner and Steinberger 1989, Weinstein 1975).

We claim that leakage of resources in desertified systems, is due to interactions between the flow of water and the spatial distribution of macrophytic patches. We believe that the side-by-side existence of both types of patches has an ecosystemic impact on two spatial scales.

On a small spatial scale (up to several m^2), of only one patch of each type, macrophytic patches may absorb part of the resources leaking from the microphytic patches. The main leaking resources are runoff water containing nutrients, organic matter and soil. There are two outcomes of source-sink relationships between the two types of patches. The first is that absorbance of microphytic resources, leaking into the macrophytic patch, increases the difference in production and diversity between the two types of patches (Boeken and Shachak 1994). The other is that the extent of leakage from the two patch system depends on the difference between their sizes. As the size of the macrophytic patch increases the

size of the microphytic area decreases, and the leakage from the two patch systems is reduced.
On a larger spatial scale (hillslope or watershed), in a web containing both types of patches, the production, diversity and leakage are patchiness dependent. The size, shape and the spatial arrangement of the macrophytic patches in the microphytic matrix determine ecosystem production, diversity and leakage. When, due to spatial arrangement of the patches, all the resources leaking from the microphytic patch are absorbed in the macrophytic patch, the biotic elements retain maximal resources. In this case, the system is expected to reach maximal production. Reduction in macrophytic sinks in the landscape is expected to cause a decrease in production and diversity, as well as an increase in resource leakage.

In the Negev, as in desertified areas in other regions, most of the land (60-80%) is covered with microphytic patches. Microphytic cover results from natural and man-made processes. The more arid the area, the higher the extent of the microphytic cover. Grazing and cutting of bushes reduce the macrophytic cover and increase the microphytic cover. A small number of macrophytic patches cannot absorb most of the runoff water and the dissolved and undissolved materials that move with it. Therefore, at the scale of the watershed, the ecosystem cannot maintain water, soil and nutrients, and they leak out of the system. The higher the leakage the fewer the resources available for the biota. The unavoidable result is low production and diversity.

Within the ecological framework, that? integrates?blends? patches, resources and organisms, we see the linkage between desertification, production and diversity. In arid zones, as a result of low amounts of precipitation, the natural landscape mosaic development creates micro- and macrophytic patches. The relationships between them are determined by the location of the ecological systems on the precipitation gradient. When the annual precipitation is lower the ratio of micro- to macrophytic covers increases. The ratio between micro- and macrophytic cover, which is a quantitative expression of patchiness, determines the potential of the system to preserve water, soil and nutrient resources. The higher the ratio, the lower the ability to preserve resources and the higher the leakage from the system.

In arid regions, the forage for livestock and fuel material are concentrated in the macrophytic patches. This leads to overuse of the macrophytic production by humans and their livestock (Hacker 1984, 1987, Mcllvanie 1942). The over use of the macrophytic production reduces the size and number of these patches. Reduction in macrophytic cover causes an increase in microphytic cover. The change in the landscape mosaics, expressed by an increase in the patchiness index (the ratio between micro- and macrophytic) causes desertification, i.e. increase in resource leakage, followed by reduction in production and diversity (Graetz 1991, Thomas 1995).

Restoration processes in desertified landscapes are derived from the interactions between patches, resources and organisms, that cause the reduction in production and diversity. Management should be directed to reduce resource leakage. It is predicted, according to

the ecological framework, that reduction in the leakage of resources increases the quantity and availability of resources for the biota, which results in increased production and biological diversity.

THE RESEARCH APPROACH

The research site

We are investigating the linkage between patchiness, ecosystem processes and the impact of management in Sayeret Shaked Park, which has an average annual precipitation of 200 mm. In this area, as in the whole Negev, most of the production and diversity are determined by annual herbaceous plants (Evenari *et al* 1983). The landscape mosaic (Pickett and White 1985) is characterized by a matrix of soil crust, covered with a microphytic community, and small patches of dwarf bushes, mainly *Noaea mucronata, Atractylis comosa* and *Thymelaea hirsuta*. The microphytic matrix is composed of cyanobacteria, bacteria, algae, bryophytes and lichens (McIlvanie 1942, West 1990). The surface of the soil crust is flat and solid (Fletcher and Martin, 1948), due to adhesion of soil particles by polysaccharides, excreted mainly by cyanobacteria and bacteria.

Patches of dwarf bushes - macrophytic patches - differ in their characteristics from microphytic patches. Macrophytic patches are characterized by loose soil mounds on an area of 1,000-30,000 cm^2, which are rich in nutrients and in organic matter. The soil mounds are created by direct deposition of dust and sediments which are distributed by runoff water and deposit in the macrophytic patches (Shachak and Lovett 1996). The macrophytic patch captures seeds and absorbs runoff water and nutrients leaking from microphytic patches. The macrophytic patch is rich in nutrients from litter decomposition and animal excretions (Zaady *et al.* 1996 b). The described patchiness causes heterogenic distribution of production and diversity of annual plants in space. Production and diversity are high in the macrophytic patches and low in the microphytic patches.

Experimental design

We developed a series of field trials in order to examine: (1) whether production and diversity in the desertified Sayeret Shaked Park landscapes can be explained by the interactions between patches, resources and organisms; and (2) whether management, which changes the landscape mosaic by reducing leakage of resources, may increase production and diversity. The principles of field experiments are: (a) each experimental unit is designed for an integrated study of resources, organisms and patches; and (b) the design allows for manipulation of one of the components (resources, organisms or patches) and examination of the response of the others.

The experimental design contains four experimental setups:

a. Experiments in dual patched systems (micro- and macrophytic patches)

INFOR

Small-scale trials, to examine responses of isolated systems, comprised of two patches (micro- and macrophytic), for manipulations. The responses are measured in terms of water, soil, and nutrient leakage and in terms of the production and diversity of annual grasses. The manipulations are: pruning of the vegetation, trampling the soil, destruction of the vegetation and the organisms on the microphytic crust by herbicide spraying, and covering the patches with leaf litter

b. Experiments in multi-patched systems (a network of macrophytic patches on microphytic matrix)

Larger scale trials, to examine the responses to manipulations in multi-patched systems, in terms of water and soil leakage, and the diversity of annual vegetation. The manipulations are: removal of microphytic soil crust and macrophytic patches by scraping, clearcut of bushes in macrophytic patches by mowing, and spraying the whole plot with herbicides to destroy the vegetation and the organisms in the two patch types.

c. Experiments in reduction of leakage

These experiments are based on digging pits and creating soil mounds in microphytic patches. The pits and mounds create sinks for resources and seeds. We examine the effect of leakage reduction from sinks on the production and diversity of annuals.

d. Experiments on the effects of grazing on patched systems

In these experiments we examine the effect of sheep grazing on patchiness, vegetation biomass and diversity, generation of runoff and soil erosion.

RESULTS

In this section we included a selection of savannization research results to demonstrate: (a) the linkage between patchiness and resource leakage in desertified systems; (b) the effect of manipulations in patches on resource leakage and biological diversity; (c) The effects of reduced leakage on the production and diversity in the system.**Leakage of resources and patchiness** Fig. N°2 presents the leakage of runoff, on a slope, from a system composed only of microphytic soil crust to from a system composed of the two patch types with the microphytic patch upslope in relation to the macrophytic patch. It can be seen that the macrophytic patch is a sink for runoff water, generated by the microphytic patch.

INFOR

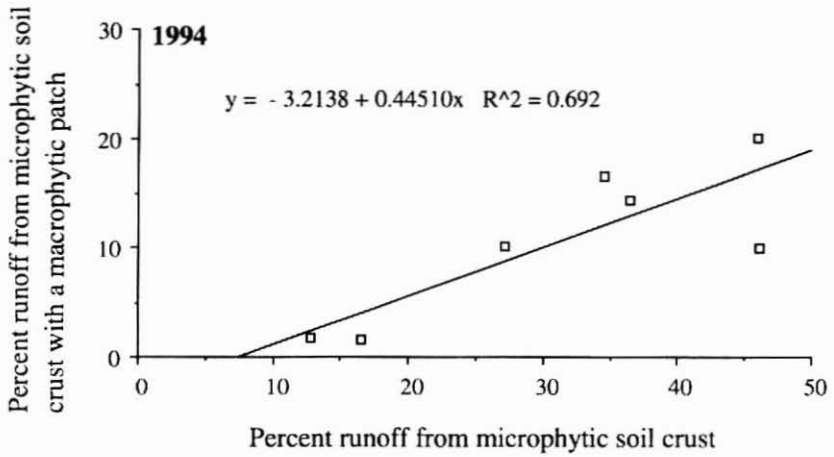


Figure N°2. Comparison between the percentage of runoff in uni-patched (microphytic) system and dual-patched (micro- and macrophytic) system.

Under the specific experimental conditions, in which the microphytic:macrophytic ratio is 3:1, the macrophytic patch decreased the runoff by about 60%. Maximal runoff from microphytic areas is about 50%. When macrophytic sinks are added it is decreased to about 20%. In desertified areas, the common micro:macrophytic ratio is over 5:1, and therefore the macrophytic sink is smaller and the water leakage is higher.

Leakage of nutrients, like leakage of runoff, is high in systems composed of microphytic alone, and lower in dual-patch systems, where the macrophyte patch serves as a sink (Fig. N°3).

INFOR

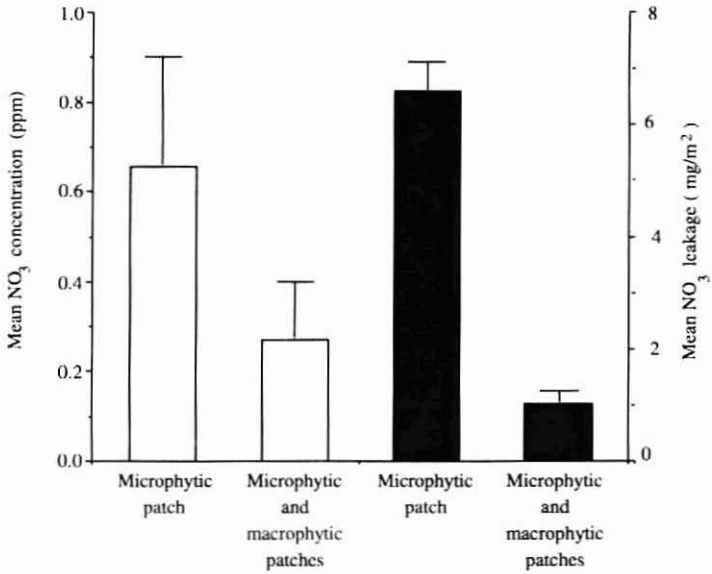
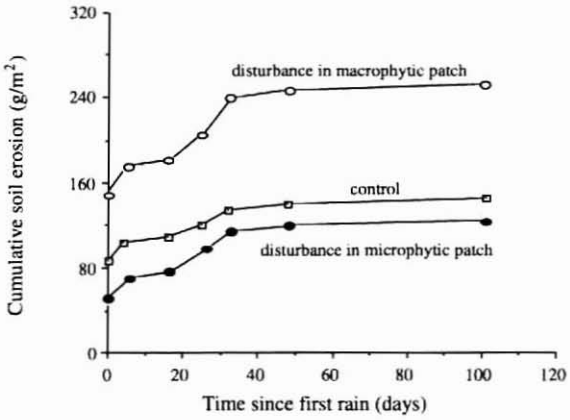


Figure N°3. Concentration (light columns) and leakage (dark columns) of nitrates in runoff water in uni-patched (microphytic) systems and dual-patched (micro- and macrophytic) systems. (The data refers to a rain event of 27 mm, in march 1994)

Patchiness manipulations and responses of resources and organisms

A major factor that controls arid ecosystems is livestock grazing (Schlesinger *et al.* 1990). Grazing affects these systems in two ways: above-ground vegetation biomass is decreased and the soil surface is disturbed by trampling. In a dual-patched system, we introduced disturbances into each of the patch types. We decreased the vegetation biomass by pruning and disturbed the soil by crumbling the soil surface. We observed the dependency of soil erosion and organic matter on these disturbances (Fig. N°4). When the disturbance was in the microphytic source patch and the macrophytic sink patch continued to function, no increase in the rate of mineral and organic leakage was observed. When the disturbance was in the macrophytic sink patch, it changed its function and turned into a source patch. The result was high leakage of soil and organic matter.

INFOR



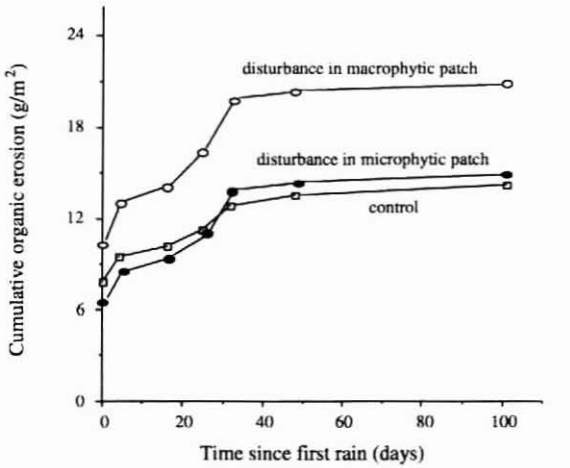


Figure N°4. Soil (A) and organic matter (B) leakage from a dual-patched system following disturbance (reduction in biomass and crumbling of soil) in source patches (microphytic) and in sink patches (macrophytic).

By scraping and mowing of the experimental plots, we succeeded to change the ratio of microphytic to macrophytic cover (Fig. N°5A). We decreased the ratio by mowing and increased it by scraping. Changes in the source:sink ratio in patches affects water leakage, such as runoff. Reducing the size of the microphytic and enlarging the size of macrophytic patches by mowing reduces water leakage (Fig. N°5B). Increase of microphytes and decrease of macrophyte by scraping increases runoff leakage (Fig. N° 5B). The lower the leakage the larger the species diversity of annuals (Fig. N°5C).

INFOR

Figure N°5 demonstrates that the predicted interactions between patchiness, leakage and diversity exist under field conditions.

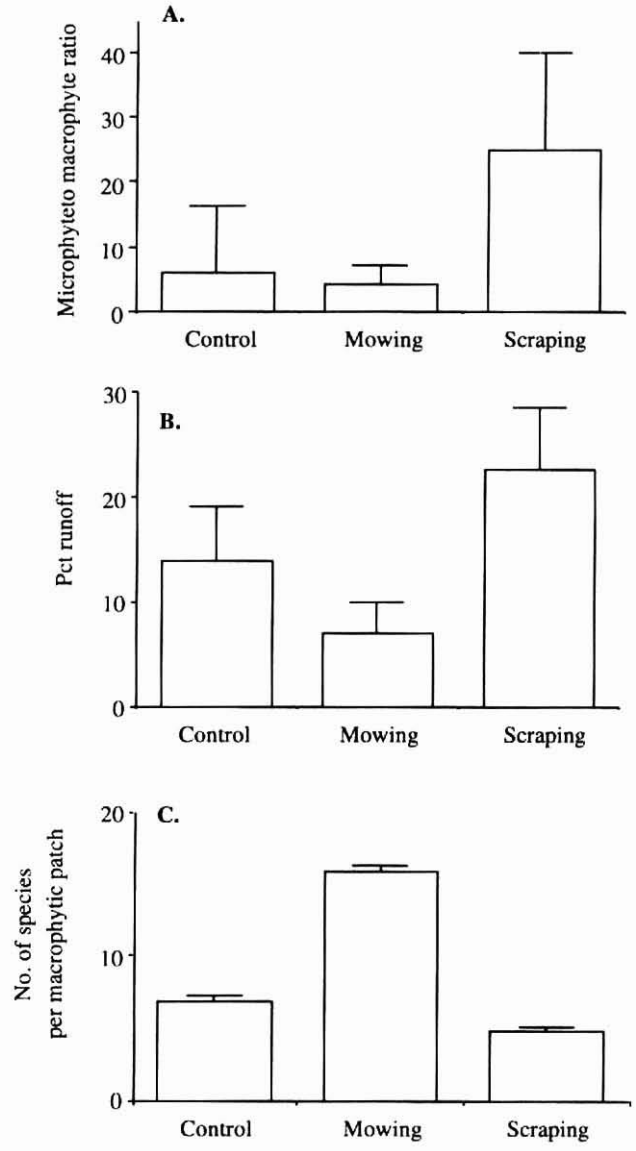


Figure N°5. Changes in patchiness (A), their effect on water leakage (B) and on species diversity of annual vegetation (C).

Reduction in leakage and responses of organisms

Manipulation, to reduce leakage in the microphytic patch, by building a sink system (for water, nutrients and seeds) composed of pits and mounds, affected biomass production and the diversity of species (Fig. N°6). Biomass production was 10-fold higher in the pits than in the unmanipulated microphytic crust. Species richness of vegetation on the mound was almost 2-fold, and in the pits it was 3-fold higher, as a result of the disturbance and reduction in leakage from the microphytic crust (Boeken and Shachak, 1994).

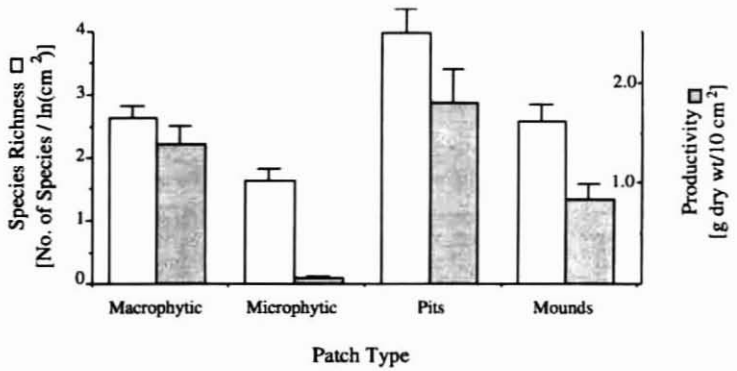


Figure N°6. Production and diversity of annual grasses in macro- and microphytic patches, and in human-made pits and mounds constructed by disturbance to the microphytic crust (After Boeken and Shachak 1994).

IMPLEMENTATION

The ecosystems of the northern part of the Negev desert, have been used by humans for thousand of years. Humans used the ecosystem production mainly for livestock grazing, firewood and for fencing. Uncontrolled use of the ecosystems caused reduction of the bushy cover and soil erosion (Evenari *et al.* 1983). This prolonged process increased the microphytic cover and decreased the macrophytic cover. The findings in our research (Figs. 2-6) indicate that under such conditions an increased leakage of resources and decreased production and biological diversity should be expected.

The Forest Department of the KKL (Jewish National Fund) decided to carry out management activities in the desertified areas of the northern Negev, in an attempt to turn them into parks (Shachak *et al.*, in press). The objective is to add patches of trees and to change the current landscape structure and function. Addition of trees to the

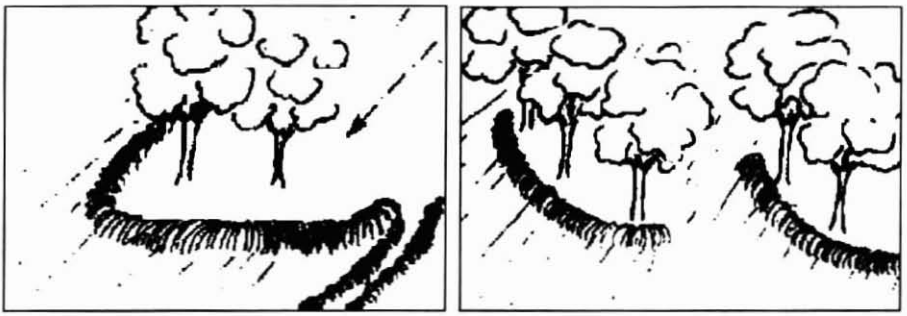
landscape of dwarf shrubs and their understory herbaceous vegetation will change it into a human-made savanna.

Creation of human-made savanna demonstrates a case study of implementation of ecological understanding for the restoration of desertified areas.
The implementation objective of the "savannization project" is to develop management practices to reduce the leakage of resources, in order to increase the productivity and the diversity in desertified areas. Within the conceptual web that unifies patchiness, organisms and resources (Fig. N°1), the problem is how to change the patchiness and the flow of resources, so that the response of the ecosystem is expressed in increased production and diversity.

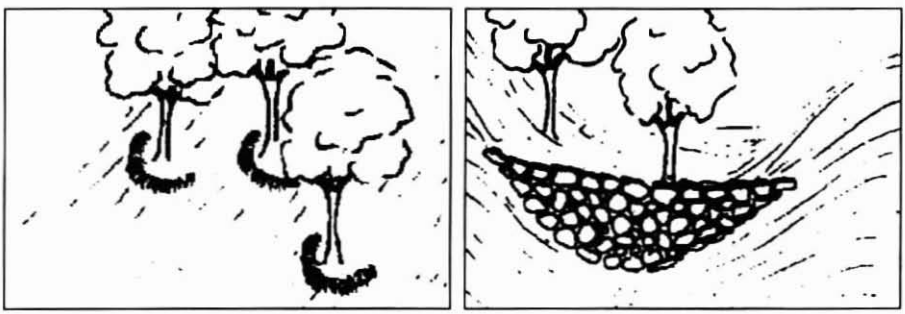
A management solution to decrease leakage of resources is to create sink patches. Sink patches are characterized by two features. The first is a structure which prevents the flow of runoff water, soil, organic matter and nutrients from a landscape unit. The second is a storage unit, which maintains and absorbs water, organic matter and nutrients. This enriched human-made sink patch replaces previous macrophytic patches that were destroyed during the desertification process. Over generations, different methods have been developed to accumulate leaking resources from desert and desertified ecosystems (Kedar 1967; Evenari *et al.* 1983; Bruins *et al.* 1986; Yair and Shachak 1987).

In this project we are using four methods to create sink patches: hillslope mini-catchments, limans, earthen contour terraces and stream bed terraces (Fig. N°7). *Hillslope Minicatchments* - are earthen structures for runoff water catchment and tree planting. Pits are dug on rocky, steep hillslopes, in which the soil covered area is limited, usually in the middle of the slope or at its base. In steep slopes, the digging is done manually. The storage volume of a minicatchment is up to several tens of liters. In sections where the slope gradient is up to 30%, pits can be dug mechanically and their storage volume is larger. Excess runoff, from hillslope minicatchments, flow downhill on both sides of the pit.

INFOR



Liman **Earthen Contour Terraces**



Hillslope Minicatchments Stream - bed Terraces

Figure N°7. Management practices used to created human-made sink patches for runoff, organic matter and nutrients in the "savannization project".

Earthen contour terraces - are earthen barriers, arranged in contour lines on the slopes. The earthen contour terraces are located in areas with deep to shallow stony soil. The earthen contour terraces collect and absorb runoff water flowing downhill on the surface. The accumulated water enables the development of trees and herbaceous plants. The arrangement of the terraces can be designed to allow changes in runoff storage volume, according to the variability in the amount of runoff generation in time and space. Earthen barriers, arranged vertically to the contour terraces, assure unified distribution of runoff. Excess runoff can flow downhill along the terrace sides. The terraces collect runoff water across a slope for several tens of meters. The construction of the earthen contour terraces is done mechanically (by bulldozers and graders).

Limans -are sites in which flood water is collected and stored in a stream bed by constructing an earthen dam across the stream bed. Trees are planted in the flooded area.

INFOR

An access channel (spillway) is located on the side of the dam enabling excess runoff water to flow down stream. Under the Negev conditions, where availability of water is a limiting factor for growth and development of trees, the method enables water storage in the soil during the winter, which is equal to hundreds and even thousands millimeters of annual precipitation. Limans, creating small oases, serve as recreation and resting sites for travelers in the south and provide shade for livestock herds. The limans also provide a unique aesthetic contribution by adding green patches to the landscape as a rich herbaceous understory develops in the limans. The specific conditions in the Negev limans for tree and herbaceous plant growth and development differ according to their location on the rainfall gradient - from the line of 250 mm annual precipitation in the north to the line of 80 mm in the south. With increase of aridity their potential to support vegetation decreases. The sizes of the catchments nursing the limans is in the range of few to hundreds of hectares. The area of an individual liman is up to 0.5 ha.

Stream bed terraces - are stone constructions built across the stream bed to collect and store flood water. They are built of stones (several tens of cm) that are collected on the slope. They also contain filters built from gravel. Eroded sediments from up-stream accumulate at the upper side of the dam cause adhesion of the components in the stone terraces. Stone dams are usually located at the upper part of the watersheds, in areas where the size of the catchments is up to several km^2. Stone dams distribute the runoff flood and aids in deepening and widening the area with high soil moisture. Excess runoff flows over the dam down stream. The dimensions of the dam are designed in relation to the predicted peak water discharges. The remains of stone dams in ancient agricultural farms were used as models for the construction of current dams.

A few principles were formulated concerning the construction of human-made sink patches within the savannization framework. They refer to the type of patches, their number, size and location in the watersheds. Since runoff water serves both as a principal resource and as a central vector for soil and nutrient transportation, the principles refer to runoff water collection and storage.

The first principle is that the sink patches should be constructed in a way that they can collect and store sufficient water volumes, in above-average rainy years, to support development of trees through years with a low number of rainfall events and low runoff volumes. This principle can be implemented by adjusting the ratio between the source area that contributes runoff, and the human-made sink structure that collects and stores it.

The second principle is to adjust the sink constructions to extreme runoff events. The human-made sinks should be constructed so that during extreme runoff events, with high water discharge values, access water will be released without causing any damage. One should keep in mind that the runoff collecting and storing system may collapse due to a rift in the system. Severe damages may occur following deficient planning of the sink system and lack of hydrological knowledge on rainfall-runoff relationships. Besides

INFOR

erosion damages, the collapse of the runoff collecting and storing system may cause drying up and death of trees.

The third principle is that optimal catchment of runoff water in the sink depends on runoff generation in a variety of ecological source units in the watershed. Units with high runoff contribution and units with high infiltration values can be identified within a watershed. Units with high runoff generation are continuous rocky surface, steep hillslopes enriched with soil crust, and soils that crust rapidly. Usually, the above runoff generating landscape units are not suitable for planting trees.

The fourth principle is that the sink type and its location should be based on the distribution of ecological units in the landscape. Colluvial hillslopes and loessial planes with deep washed and rough textured soil, are most suitable for runoff infiltration, conservation of nutrients and development of vegetation. Earthen constructions should not be built on non-cohesive soil, to prevent collapsing of facilities. Sink constructions should not be built on soils with high values of sodium because of its damaging effects on plant development.

The fifth principle is that a combination of various methods to create sink patches should be used in a single watershed. It means treating each watershed by adapting the appropriate methods for each ecological unit, and selecting a suitable runoff contributing area for each catchment site. Optimal arrangement of runoff catchment constructions in the watershed may resolve soil erosion problems . Optimal arrangement of runoff catchment constructions turns the runoff flow from a destructive element, that causes damage and soil erosion, into a main positive component of water enriched patches that enhance plant growth within the watershed.

All the management methods of creating sink patches, establish patches enriched with water, organic matter and nutrients. Fig. N°8 indicates the differences in soil moisture among the earthen contour terraces which are sink patches, and a desertified area without contour terraces .

INFOR

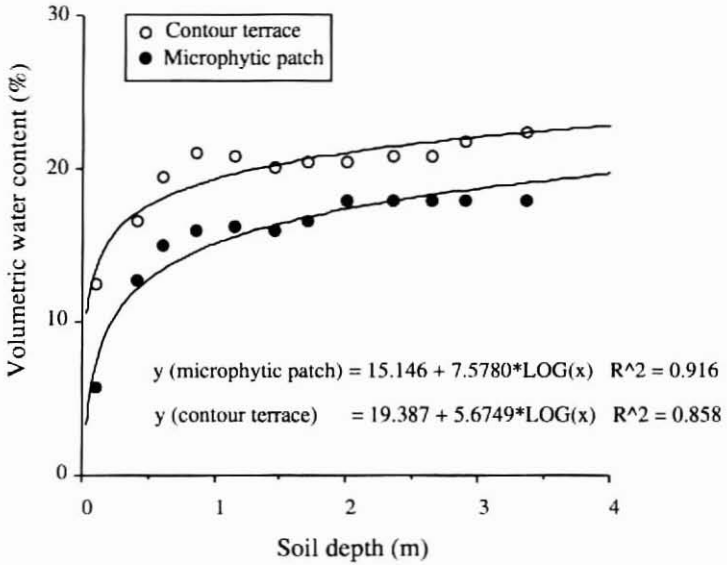
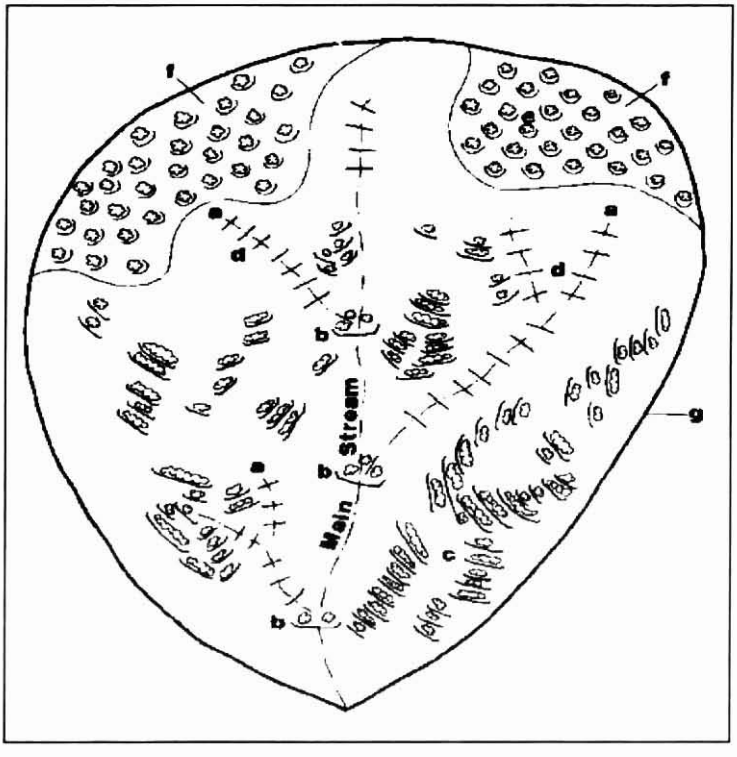


Figure N°8. An example of change in soil water storage (mid-summer) due to addition of human-made sink patches (earthen contour terraces). (After unpublished report submitted to the JNF by Zemach, Adar, Sheinberg and Lantsman 1990)

Addition of different human-made sink patches brings about changes in the landscape structure and function (Fig. N°9). The changes in structure are expressed in a new set of sink patches, which effect landscape functioning by reducing the leakage of water, soil, organic matter and nutrients. The amount of accumulated resources in the landscape depend on a new source-sink relationship in the restored system. The relations depend on the size of the resource contributing area (Fig. N°10) and the structure of the sink. Fig. 10 emphasizes the fact that increasing the contributing area per sink unit will increase the absolute amount of runoff water, but the contribution of runoff per contributing area will decrease significantly. The effects of management on organisms in the area are both direct and indirect. The direct effect is by introducing a new biotic element to the landscape - trees. The species of trees planted in the Sayeret Shaked Park are detailed in Table 1. Trees have a positive effect on the ecosystem. They increase the amount of organic matter which affects the recycling of materials and the storage of nutrients in the system. The earthen mounds of sink patches serve as seed traps. The high number of seeds in the mounds results in high density of vegetation on the mounds. In addition, there is also an increase in the diversity of plant species on the mounds. Following the planting of trees the diversity in the number and species of birds also increases.

INFOR



a- Upper stream; **b**- Liman; **c**- Earthen Contour Terraces; **d**- Stream-bed Terraces; **e**- Hillslope Minicatchments; **f**- Rocky area; **g**- Water Divide.

Figure N°9. A schematic description of adding a system of sink patches to a watershed. Sink patches collect and store runoff water, organic matter and nutrients. Sink patches are used to plant trees, and to increase the production and the biological diversity of herbaceous plants.

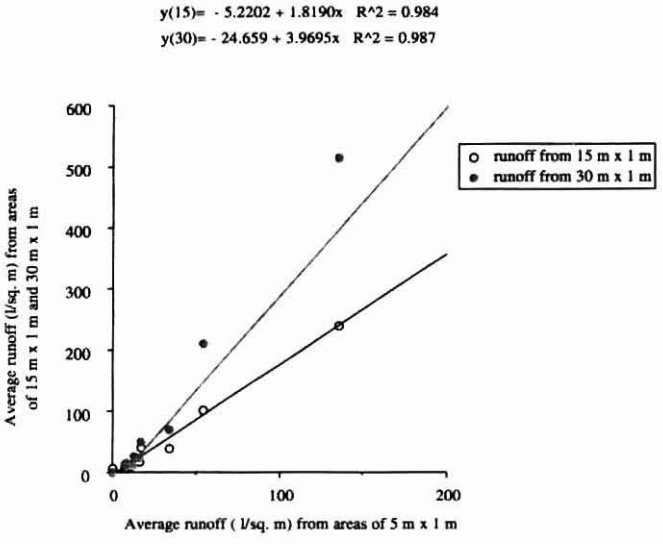


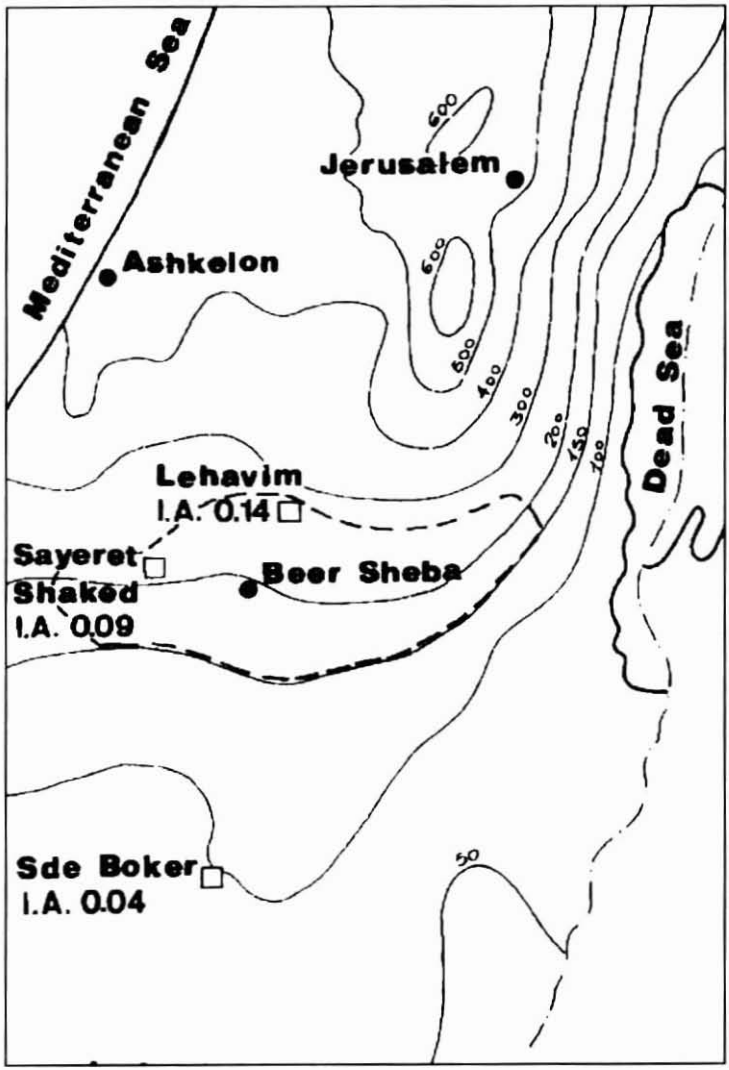
Figure N°10: The dependency of water leakage as surface runoff on the natural resource contributing area. (After unpublished report submitted to the JNF by Morin, Itshak and Sheriki 1992).

Table N°1: Tree species planted in the savannization project

COMMONLY PLANTED	RARELY PLANTED
Eucalyptus torquata	*Eucalyptus astringens*
Eucalyptus sargentii	*Eucalyptus occidentalis*
Prosopis chilensis	*Eucalyptus stricklandii*
Prosopis alba	*Eucalyptus umbellata*
Prosopis juliflora	*Eucalyptus loxophleba*
Acacia elatior	*Eucalyptus subcinerea*
Acacia aneura	*Eucalyptus salubris*
Pinus brutia	*Eucalyptus camaldulensis*
Pinus halepensis	*Pinus eldarica*
Pistacia atlantica	*Prosopis nigra*
Tamarix aphylla (=T. articulata)	*Pistacia palaestina*
Acacia raddiana	*Acacia victoriae*
Ceratonia siliqua	*Acacia negevesis*
Ziziphus spina-christi	*Acacia salicinia*
	Tamarix aphylla var. srticta
	Cupressus sempervirens
	Ficus carica
	Ficus sycomorus

Within the framework of the savannization project, the KKL is introducing human-made sinks to about 5,000 hectares, in an area where the average annual precipitation is within the range of 150-250mm (Fig. N°11). The management activities are concentrated mainly in open landscapes near urban and rural settlements. Most of the restoration efforts are in areas which are not suitable for agricultural cultivation. The restored areas within the framework of the savannization program are considered marginal lands. These areas are characterized by shallow soil and exposed rocks in the highland (800 m altitude) on the margins of Mount Hebron in the east, and in eroded loessial watersheds with bad lands in the west. The basic approach to the restoration of these lands was to add human-made sink patches to collect and store runoff water and nutrients for planting trees and enhancing natural vegetation growth. In addition measurements for soil conservation, especially stabilization of active gully heads were conducted. Grazing pressure of domestic animals was also controlled.

INFOR



- 200 - : Isohyets
- - - - : Savannization Project
□ : Savannization Research Station
I.A. : Index of Aridity Precipitation Potencial Evapotranspiration.

Figure N°11. The spatial distribution of research stations and parks in the savannization project in Israel.

INFOR

These management activities increased the value of the land for the local population. The restored lands can be used for recreation purposes on one hand, and as improved grazing land on the other. Savanna-like landscape systems, located in walking distance from the urban settlements, serve as green belts to the cities. Scenic roads, walking trails and observation points in areas managed by the savannization project fulfill the need of the nearby urban population to spend time in a free open landscape.

REFERENCES

ANDREW, M. H., and LANGE, R.T., (1986a), "Development of a new biosphere in arid chenopod shrubland grazed by sheep. I. Changes to the soil surface", Australian Journal of Ecology , N°11, pp.395-409.

ANDREW, M. H., and LANGE, R.T., (1986b), "Development of a new biosphere in arid chenopod shrubland grazed by sheep. II. Changes in the vegetation" Australian Journal of Ecology , N°11, pp.411-424.

BOEKEN, B. and SHACHAK, M.(1994), "Desert plant communities in human made patches - implications for management", Ecological Applications, N• 4, pp.702-716.

BRUINS, H. J., EVENARI, M., and NESSLER., U., (1986), "Rainwater harvesting agriculture for food production in arid zones: The challenge of the African famine", Applied Geography, N• 6, pp.13-32.

EVENARI, M., SHANAN, L. and TADMOR, N., (1983), **The Negev: The Challenge of a Desert**, Oxford University Press, London.

FALK, D. A., (1990), "The theory of integrated conservation strategies for biological diversity" in MITCHELL,R.S., SHEVIAK, C.J., and LEOPOLD, D.J.(editors), **Ecosystem management: rare species and significant habitats**, New York State Museum, Albany, pp.5-10.

FLETCHER, J. E. and MARTIN, W.P., (1948), "Some effects of algae and molds in the rain-crust of desert soils", Ecology, N•29, pp. 95-100.

FRANKLIN, J. F., (1993), "Preserving biodiversity: species ecosystems, or landscapes", Ecological Applications, N•3, pp.202-205.

GARNER, W. and STEINBERGER, Y., (1989), "A proposed mechanisms for the formation of 'fertile islands' in desert ecosystems", Journal of Arid Environments , N°16, pp. 257-262.

GRAETZ, R. D., (1991), "Desertification: a tale of two feedbacks", in MEDINA, E., SCHINDLER, D.W., SCHULZE, E-D., and WALKER, B.H., MOONEY, H.A., (editors), **Ecosystem experiments SCOPE 45**, Wiley, New York, USA., pp.59-88.

HACKER, R. B., (1984), "Vegetation dynamics in a grazed mulga shrubland community. I. The mid-storey shrubs", Australian Journal of Botany, N°32, pp.239-249.

HOEKSTRA, T. W. and SHACHAK, M. (eds), (1996), **Arid Lands Management: Toward Ecological Sustainability**, University of Illinois Press. (In press).

KEDAR, Y., (1967), **The ancient agriculture in the Negev mountains**, Bialik Institute, Jerusalem.

MCILVANIE, S. K., (1942), "Grass seedling establishment and productivity - overgrazed and protected range soils", Ecology , N°2, pp. 228-231.

INFOR

PICKETT, S.T.A. and THOMPSON, J.N., (1978), "Patch dynamics and the design of nature reserves, "Biol. Conserv, N°13, pp.27-37.
PICKETT, S.T.A. and WHITE, P.S, (eds.), (1985), **The Ecology of Natural Disturbances**, Academic Press, New York.
SCHLESINGER, W. H., REYNOLDS, J.F, CUNNINGHAM, G.L, HUENNEKE, L.F., JARRELL, W. M., VIRGINIA, R.A., and WHITFORD, W. G., (1990), "Biological feedbacks in global desertification", Science , N°247, pp.1043-1048.
SHACHAK, M. and LOVETT, G.E., (1996), "Particulate dry deposition to a patchy desert ecosystem and its implications for conservation and restoration" Ecol. Appl. (In press).
SHACHAK, M. and PICKETT, S.T.A., (1996), "Linking ecological understanding and application: patchiness in a dryland system" in PICKETT, OSTFELD, LIKENS and SHACHAK (eds.), **Heterogeneity, Ecosystems and Biodiversity- The ecological basis for conservation**, Chapman & Hall N.Y.
SHACHAK, M., PICKETT,S.T.A., BOEKEN, B. and ZAADY, E., (1996) "Managing patchiness, ecological flows, productivity and diversity in the Negev" in **Arid Lands Management-Toward Ecological Sustainability**. HOEKSTRA, T. W. and M.SHACHAK (eds). (In press).
THOMAS, D.S.G., (1995), "Desertification, Causes and Processes", **Encyclopedia of Environmental Biology,** Academic Press.
WEINSTEIN, N., (1975), "The effects of a desert shrub on its micro-environment and the herbaceous plants", M.Sc. Thesis, The Hebrew University, Jerusalem.
WEST, N. E., (1990), "Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions", Advances in Ecological Research, N° 20, pp.179-223.
WILSON, E. O., (1992), **The diversity of life**, Norton, New York.
YAIR, A. and SHACHAK, M. (1987), "Studies in watershed ecology of an arid area", in BERKOFSKY, L. and WURTELE, L.G., (editors), Progress in Desert Research, Rowman and Littlefield, Totowa, USA, pp.145-193.
ZAADY, E. and SHACHAK, M., (1994), "Microphytic soil crust and ecosystem leakage in the Negev Desert", American Journal of Botany , N°81, p.109.
ZAADY, E., GROFFMAN, P.M., and SHACHAK, M., (1996a), "Litter as a regulator of nitrogen and carbon dynamics in macrophytic patches in Negev desert soilsî, Soil Biology & Biochemistry , N°28, pp.39-46.
ZAADY, E., GROFFMAN, P.M., and Shachak, M., (1996b), "Release and consumption of nitrogen by snail feces in Negev Desert soils", **Biology and Fertility of Soils**. (In press).

UTILIZACIÓN DE ESPECIES NATIVAS ARGENTINAS: TASAS DE CRECIMIENTO Y RAMIFICACIÓN EN *Prosopis alba*, *P. flexuosa* Y *P. alpataco*

Alejandra Vilela[1]; María Magdalena Brizuela[1]; Ramón Palacios [1]

RESUMEN

Algunas de las especies del género *Prosopis* son consideradas promisorias para sistemas agroforestales y silvopastoriles por sus múltiples usos. *P. alba, P. flexuosa* y *P. alpataco* fueron cultivadas bajo invernáculo, durante dos años en condiciones de riego controlado. Se aplicaron dos tratamientos: Riego 1, 300 mm anuales y Riego 2, 1200 mm anuales, ambos distribuidos homogéneamente a lo largo del año. El Riego 1 es equivalente a las precipitaciones de la provincia fitogeográfica del monte argentino (lluvias principalmente estivales) donde se encuentran las tres especies estudiadas y el Riego 2 se registra en el extremo Este de la distribución en la provincia fitogeográfica chaqueña, distrito oriental (lluvias en primavera-verano).

Durante la segunda estación, la tasa de crecimiento en altura para plantas sometidas a un riego de 1200 mm oscila entre 14 cm mensuales para *P. alba* y 2,5 cm mensuales para *P. flexuosa*. La disminución de la tasa en *P. flexuosa* se explica por el alto porcentaje de individuos arbustivos en su progenie (86%) con un promedio de 2,57 ramas por ejemplar mientras que *P. alba* mostró sólo un 2 % de arbustos con un promedio de 1,08 ramas por individuo.

La tasa de crecimiento en altura para las plantas sometidas a un riego equivalente a 300 mm disminuye entre un 49 % y en 70 % con respecto a la tasa correspondiente a 1200 mm.

El crecimiento en diámetro en la primera estación oscila entre 4,8 mm para *P. alba* y 2,6 mm para *P. alpataco* regadas con 1200 mm anuales. La tasa de crecimiento disminuye entre valores de 43 % al 61% cuando las plantas son sometidas a un riego de 300 mm.

Todas las especies estudiadas tienen forma erecta, es decir que el ángulo de divergencia de las ramas basales forma un ángulo mayor de 60° con la superficie horizontal.

De los resultados obtenidos durante esta experiencia se puede concluir que de las tres especies estudiadas, de acuerdo con su hábito, forma y tasas de crecimiento *P. alba* es la más recomendable para incorporar a sistemas agroforestales o silvopastoriles.

[1] Laboratorio de Sistemática de Plantas Vasculares, Depto. Ciencias Biológicas, Fac. Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 4to piso, Pabellón II, Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires, Argentina. E-mail: spvasc@biolo.bg.fcen.uba.ar

INFOR

INTRODUCCIÓN

Prosopis alba, *P. flexuosa* y *P. alpataco* se distribuyen en las provincias fitogeográficas del Monte y Chaqueña. Estos árboles y arbustos multipropósito, son recursos nativos sumamente importantes para zonas semi-áridas donde pueden ser incorporados en planes forestales, agroforestales y silvopastoriles.

En el Chaco árido, no es posible realizar cultivos anuales sin agua adicional, ya que con menos de 500 mm de precipitación de régimen estival y con altas temperaturas, hay impedimentos para dicha actividad.

En esta región, la producción forestal oscila en los 0.8 ton/ha/año, de la cual más del 90% es destinada a leña y/o carbón y el resto para postes, varillas o madera de sostén de las viñas. El producto forestal representa el 50 % del ingreso regional, del cual los algarrobos aportan el 70% y los quebrachos blancos el 30%. Esta producción forestal puede alcanzar 2-3 ton/ha/año a través de la reforestación y aumento de la velocidad de crecimiento por manejo y selección (Karlin *et al.*, 1992).

Según Calvo *et al.* (1992), en esta zona, el recurso forestal está siendo sobreutilizado y los productos forestales subutilizados. La selección de árboles permitiría agregar a los productos tradicionales mencionados en el párrafo anterior, la producción de madera para aserrío y la fabricación de muebles y artículos artesanales. La comercialización de los mismos, ampliaría la base económica zonal y generaría un aumento del valor agregado en la región.

El establecimiento de sistemas agroforestales y silvopastoriles favorece la conservación del ambiente y la diversificación de actividades productivas, reduciendo el riesgo de pérdidas económicas.

La incorporación de leguminosas leñosas a los mismos ofrece como ventaja, además de la sombra para ganado y forraje, la fijación de nitrógeno y el consiguiente aumento de fertilidad del suelo.

En los pastizales sometidos a pastoreo intensivo, donde el nitrógeno es un factor casi tan limitante para la productividad como el agua, las plantas fijadoras de nitrógeno tendrían una ventaja en la competencia con otras especies no fijadoras (Johnson & Mayeux, 1990). También la capacidad de fijar nitrógeno constituiría una ventaja en zonas áridas y semiáridas donde la mineralización de la materia orgánica es elevada y por ende la disponibilidad de nitrógeno baja.

Dentro de las leguminosas perennes que pueden ser incluidas en este tipo de sistemas, distintas especies de *Prosopis* han sido reiteradamente citadas, entre ellas, *P. cineraria, P. alba, P. chilensis, P. flexuosa, P. juliflora* y *P. glandulosa* (Hill, 1965; Burkart, 1976; Rachie, 1983; Lamprey, 1983; Huxley, 1983; Raintree, 1983). Teniendo en cuenta la alta

INFOR

heterogeneidad del germoplasma de *Prosopis*, previo al establecimiento de cualquier tipo de proyecto, deben realizarse pruebas de rendimiento y adaptación de las procedencias (Van Nao, 1983).

En esta experiencia se ha intentado reproducir en un invernáculo, los extremos de precipitación a los cuales podrían estar sometidas *P. alba*, *P. flexuosa* y *P. alpataco*, con el objetivo de determinar la influencia de la disponibilidad hídrica en sus respectivas tasas de crecimiento y hábito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron semillas de *Prosopis alba, P. flexuosa* y *P. alpataco*, a partir de frutos enteros. Los ejemplares a partir de los cuales se obtuvieron las semillas se hallan documentados con ejemplares de herbario depositados en BAFC. Se pusieron a germinar (previa escarificación mecánica) en cajas de Petri con algodón húmedo y papel de filtro. A las 48-72 horas comenzaron a germinar. Dos días después de germinadas se transplantaron a macetas de plástico de 5 lts de capacidad, con tierra previamente regada con fungicida, colocadas en un invernáculo. La germinación y el transplante se realizaron durante el comienzo de la primavera. Durante 15 días se las regó en forma abundante. Pasado este período, se comenzaron los tratamientos:

Tratamiento 1: riego equivalente a 300 mm de precipitación anual, distribuidos homogéneamente a lo largo del año.

Tratamiento 2: riego equivalente a 1.200 mm de precipitación anual, distribuidos homogéneamente a lo largo del año.

Las mediciones de altura se tomaron semanalmente durante los tres primeros meses de plantadas (octubre-diciembre 1994), al finalizar la primera estación de crecimiento (marzo 1995), al finalizar el invierno (septiembre 1995) y a fin de la primavera (diciembre 1995). A los cuatro y doce meses de plantadas se tomaron las mediciones diámetro. Al finalizar el primer verano se midieron cinco pinas por ejemplar. Mediante observación directa se determinó el hábito arbóreo o arbustivo, el número de ramas de cada ejemplar y el ángulo de divergencia de las ramas basales. Siguiendo el criterio empleado por Lee *et al.* (1992), este último parámetro se utilizó como método de clasificación de la forma de los ejemplares obtenidos en el ensayo. Se asignó el valor de 1 para ángulos de 75-90° y el valor de 2 para ángulos de 60-75°. Se realizaron veinticinco repeticiones por tratamiento y procedencia.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un ANOVA de un factor con el paquete Statgraphics 5.1. Para los casos donde existían diferencias significativas ($p < 0,05$), las medias se compararon mediante la prueba de Scheffe o Test de Tukey según correspondiera. Los gráficos fueron realizados mediante el programa Microsoft Excel, Versión 5.0.

INFOR

RESULTADOS

Crecimiento en altura

El crecimiento en altura promedio alcanzado por la progenie de cada especie y/o procedencia, para cada tratamiento, se indica en la Tabla N°1.

Tabla N° 1: Altura (en cm) alcanzada al finalizar la primera estación y la segunda estación de crecimiento.

	Primera estación				Segunda estación			
	300 mm		1.200 mm		300 mm		1.200 mm	
Especie/Procedencia	X	•	X	•	X	•	X	•
P.alba Atacama	25.93	5.45	71.24	13.58	43.02	6.5	112.5	12.35
P.alba Cafayate	29.30	10.33	64.76	12.91	53.31	12.92	90.55	18.93
P.flexuosa Colalao	31.02	10.01	68.69	12.81	46.21	13.37	98.38	23.62
P.flexuosa S.Rafael	27.27	7.54	58.25	8.53	29.56	5.64	65.68	11.51
P.alpataco Jáchal	32.93	8.80	66.83	13.11	41.95	8.43	85.93	19.20

Las curvas promedio de crecimiento en altura de ambas procedencias de *P. alba* y *P. flexuosa*, y de la única procedencia de *P. alpataco*, se grafican en la Figura N°1. Puede observarse que entre la semana 16 y la 40, la altura de las plantas se mantiene constante. Esta meseta corresponde a los meses de otoño-invierno. Teniendo en cuenta que la época de crecimiento se limita principalmente a los meses de octubre-marzo, correspondientes a las estaciones de primavera-verano, se ha calculado para este período, para cada tratamiento, las tasas de crecimiento mensual en altura, durante los dos primeros años (Tabla N°2).

Tabla N° 2: Tasa de crecimiento mensual en altura (en cm)

Especie/Procedencia	Riego: 1.200 mm		Riego: 300 mm	
	1ra Estación	2da Estación	1ra Estación	2da Estación
P. alba Atacama	14.25	13.75	5.19	5.70
P. alba Cafayate	12.96	8.6	5.86	8.00
P. flexuosa Colalao	13.74	9.10	6.20	5.06
P. flexuosa S. Rafael	11.65	2.47	5.45	0.76
P. alpataco Jáchal	13.37	6.37	6.59	3.00

El análisis estadístico de los datos arrojó los siguientes resultados:

a) Para todas las especies y procedencias **existen** diferencias significativas **entre tratamientos** ($p < 0,05$)
b) Para *Prosopis alba*, para ambos tratamientos, **no existen** diferencias significativas **entre procedencias** ($p < 0,05$)

INFOR

c) Para *Prosopis flexuosa*, para ambos tratamientos, **existen** diferencias significativas **entre procedencias** ($p < 0,05$).

Hábito

En la Tabla N°3, se resume el número promedio de ramas, la forma de los ejemplares, según Lee *et al.* (1992) y el ángulo de divergencia de las ramas basales del total de individuos, tanto los de hábito arbóreo como arbustivo.

Tabla N°3: Número promedio de ramas, forma de los individuos y ángulo de divergencia de las ramas basales para cada sp./procedencia y tratamiento

	Promedio ramas		Forma		Ángulo diverg.	
SP./PROCEDENCIA	300mm	1200mm	300mm	1200mm	300mm	1200mm
P. alba Atacama	1.04	1.14	1.09	1.09	75°	75.33°
P. alba Cafayate	1.00	1.08	1.00	1.04	-	67.50°
P.flexuosa Colalao	1.33	1.22	1.13	1.00	68.75°	76.25°
P.flexuosa S.Rafael	1.39	2.57	1.09	1.09	71.66°	76.12°
P. alpataco Jáchal	1.04	1.32	1.04	1.16	60°	70°

Crecimiento en diámetro

Al finalizar la primera estación de crecimiento, el diámetro del tallo a la altura del nudo cotiledonar, oscila entre 4,80 mm obtenidos en promedio para *P. alba* de Atacama y 2,58 mm para *P. alpataco*, con un riego equivalente a 1.200 mm. La tasa de crecimiento en diámetro disminuye un 43-61% cuando las plantas son sometidas a un riego de 300 mm.

INFOR

DISCUSIÓN

En la experiencia realizada se pudo comprobar que la tasa de crecimiento de cada especie, varía de acuerdo a dos factores: disponibilidad hídrica y procedencia. En la Tabla N°1 puede observarse que con un riego equivalente a 1.200 mm de precipitación, la altura alcanzada, en general, duplica a los valores obtenidos con 300 mm.

La importancia de la procedencia, se observa claramente en el caso de *Prosopis flexuosa* ya la progenie de San Rafael y Colalao del Valle, presentaron diferencias notables en cuanto a su altura. Estas diferencias pueden ser explicadas teniendo en cuenta el porcentaje de individuos arbustivos obtenidos (86% para San Rafael y 15% para Colalao del Valle) y el número de ramas por individuo. La primera procedencia, crece en promedio entre 33-36% menos que la segunda (para ambos tratamientos), pero la proporción de arbustos, para un riego de 1.200 mm, es casi seis veces mayor que en esta última, mientras que para un riego de 300 mm se mantiene aproximadamente igual dicha proporción. Podría considerarse que en las poblaciones ubicadas al sur de la distribución natural de la especie, el carácter arbustivo estaría fijado genéticamente.

En base a los resultados obtenidos, puede concluirse que en *P. alba*, ambas procedencias se comportaron en forma similar en cuanto al crecimiento en altura y proporción de arbustos en la progenie.

En la Tabla N°2 puede verse que la tasa de crecimiento no se mantiene constante a través del tiempo. La disminución del crecimiento en altura se debe a la ramificación de los individuos, que comienza a manifestarse predominantemente a partir de la segunda estación de crecimiento. En *P. flexuosa* de San Rafael la tasa de crecimiento desciende un 79% durante el segundo año, debido al altísimo porcentaje de ramificación que sufre esta procedencia y arroja como resultado un 86% de arbustos en su progenie. El descenso de la tasa de crecimiento mensual durante la segunda estación en *P. alba* de S. Pedro de Atacama se reduce al 3,5%, debido al escaso número de ejemplares de hábito arbustivo y ramificaciones (Tabla N°3).

Si consideramos la proporción de arbustos en relación al tratamiento al que fueron sometidos, observaremos que el 73,5 % de los ejemplares arbustivos hallados en el ensayo, corresponden a un riego de 1.200 mm. Este resultado sugeriría una aparente contradicción con las observaciones que se pueden realizar en el campo, siguiendo un gradiente de disminución de precipitaciones, ya que en general se considera que a medida que descienden los mm de precipitación anual, aumenta la vegetación arbustiva y disminuye la arbórea, y aquí se presenta el caso inverso.

Esto puede explicarse si consideramos que durante la experiencia, las plantas sometidas a un riego escaso, sufrieron en realidad un estrés hídrico mucho mayor del que puedan soportar las plantas en la naturaleza, ya que en este último caso, las precipitaciones en general se distribuyen principalmente durante los meses de verano, coincidiendo esto con

INFOR

los mayores requerimientos hídricos de la planta y el período de actividad vegetal, mientras que en el invernáculo, el régimen de riego fue isohigro. La distribución homogénea del riego durante el año, limita la disponibilidad de agua durante el período de actividad de la planta, disminuyendo al mínimo las actividades de crecimiento y ramificación.

En *P. alpataco* a pesar de que en la naturaleza es, en general, de hábito arbustivo, puede observarse un elevado número (96%) de ejemplares de porte arbóreo en su progenie.

Uno de los factores climáticos que frecuentemente se citan como causales del hábito arbustivo son las temperaturas inferiores a 0° C, que ocasionan la muerte del ápice vegetativo. La reanudación de la actividad meristemática por parte de las yemas laterales en la siguiente estación de crecimiento, dan lugar a individuos con ramificaciones basales. Otros factores que pueden provocar la pérdida del ápice son los mamíferos predadores o los fitófagos.

Todos estos factores externos han sido controlados en la experiencia realizada, lo que explicaría en parte la falta de ramificación en *Prosopis alpataco*. En *P. flexuosa*, por el contrario, la presencia de ejemplares arbustivos en la progenie, podría considerarse un carácter fijado genéticamente.

En los sistemas agroforestales y silvopastoriles son consideradas características de importancia el número de ramas, el ángulo de divergencia de las mismas y la forma de los individuos.

En la Tabla N°3, puede observarse que según el criterio utilizado por Lee *et al.* (1992), todas las especies estudiadas tienen una forma erecta, es decir, que el ángulo de divergencia de las ramas basales es mayor de 60°, inclusive *P. alpataco*, por las razones antes explicadas de ausencia de factores externos causantes de ramificación.

En cuanto a las características consideradas en este ensayo, es decir, tasa de crecimiento en altura y diámetro, hábito, número de ramas, y forma, las especies y procedencias más recomendables son *P. alba* (ambas procedencias) y *P. flexuosa* (Colalao del Valle). Según Vilela *et al.* (en prensa), ambas procedencias de *P. alba* han sido sometidas a un largo proceso de selección humana, ya que tanto en San Pedro de Atacama como en Cafayate, el cultivo de estos árboles data de tiempos pre-colombinos.

INFOR

CONCLUSIONES

a) La tasa mensual de crecimiento en altura para plantas sometidas a un riego de 300 mm, disminuye entre un 49 y un 70% con respecto a la tasa correspondiente a un riego de 1.200 mm.

b) La tasa de crecimiento en diámetro para plantas sometidas a un riego de 300 mm, disminuye entre un 43 y un 61% con respecto a la tasa correspondiente a un riego de 1.200 mm.

c) *P. alba* de Atacama presenta la mayor tasa de crecimiento con un riego de 1.200 mm anuales.

d) *P. flexuosa* de Colalao del Valle presenta la mayor tasa de crecimiento en altura con un riego de 300 mm anuales.

e) De acuerdo a su hábito, forma y tasas de crecimiento, *P. alba* (ambas procedencias) y *P. flexuosa* (Colalao del Valle) son las especies y procedencias más adecuadas para incorporar a sistemas agroforestales o silvopastoriles.

f) *P. flexuosa* de San Rafael es la procedencia menos recomendable debido a la gran proporción de arbustos en su progenie, el alto número de ramificaciones y las bajas tasas de crecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

BURKART, (1976), "A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae, subfam. Mimosoideae)", J. Arnold Arbor, N°57(3), pp. 217-246 y N°57(4), pp.450-525.

CALVO, S.; COIRINI, R.; KARLIN, U. & MEYER, R., (1992), "Una propuesta de desarrollo agroforestal para el Chaco árido", en **Sistemas agroforestales para pequeños productores de zonas áridas**, Ed. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Proyecto desarrollo agroforestal en comunidades rurales del noroeste argentino, Sociedad alemana de cooperación técnica, pp.59-61.

HILL, A. F, (1965), **Botánica Económica**, Editorial Omega, p.615.

HUXLEY, P.A., (1983), "Role of trees in agroforestry: some comments" en **Plant Research and Agroforestry**, Ed. P.A. Huxley, pp.617.

JOHNSON, H. B. & MAYEUX, H.S. Jr., (1990), "*Prosopis glandulosa* and the nitrogen balance of rangelands: extent and ocurrence of nodulation", Oecologia N°84, pp.176-185.

KARLIN, U, COIRINI, R., PIETRARELLI, L. & PERPIÑAL, E., (1992), "Caracterización del Chaco árido y propuesta de recuperación del recurso forestal" en **Sistemas agroforestales para pequeños productores de zonas áridas**, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Proyecto Desarrollo agroforestal en comunidades rurales del noroeste argentino, Sociedad alemana de cooperación técnica, pp.7-12.

INFOR

LAMPREY, H.F., (1983), "UNESCO's integrated project on arid land (IPAL): a silvopastoral approach" en **Plant Research and Agroforestry,** Ed. P.A. Huxley, pp.617.
LEE, S.; RUSSELL, E.; BINGHAM, R. & FELKER, P., (1992), "Discovery of thornless, non browsed, erect tropical Prosopis in three years old Haitian progeny trials", Forest Ecology and Management , N°48, pp.1-13.
RACHIE, K.O., (1983), "Intercropping the legumes with annual crops" en **Plant Research and Agroforestry**, Ed. P.A. Huxley, p.617.
RAINTREE, J.B., (1983), "Bioeconomic considerations in the design of agroforestry cropping systems", **Plant Research and Agroforestry**, Ed.P.A. Huxley, pp.271-289.
VAN NAO, T., (1983), "Agroforestry systems and some research problems", **Plant Research and Agroforestry**, Ed. P.A. Huxley, pp 617.
VILELA, A.E.; BRIZUELA, M.M. & PALACIOS, R.A., "Influencia del riego sobre el tamaño de las hojas y el crecimiento en altura y diámetro de *Prosopis alba*, *P. flexuosa* y *P. alpataco* (Mimosaceae) cultivados bajo invernáculo", Revista Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales, (En prensa).

INFOR

MEJORAMIENTO GENÉTICO

INFOR

SELECCIÓN MULTICRITERIO APLICADA A UN ENSAYO DE *Eucalyptus camaldulensis* EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE

Carlos Alvear S. [1] y Patricio Chung G.[2]

RESUMEN

Se analiza el rendimiento de 82 familias de *Eucalyptus camaldulensis* de la región de Victoria que cubren casi todo el rango de dispersión natural la especie y una familia local, en un ensayo de procedencia y progenie ubicado en la zona metropolitana del país.

Las características de crecimiento evaluadas a los 42 meses de edad fueron: la altura total, diámetro a 1,3 m de altura, forma del fuste y la estimación de biomasa mediante el D^2H, además del porcentaje de sobrevivencia.

Se estimaron heredabilidades individuales y familiares para las características de crecimiento, resultando en general de valores altos. También se estimaron las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las variables de crecimiento. Todos los parámetros genéticos y fenotípicos fueron utilizados en un Índice de Selección Múltiple (ISM), que consideró las características individuales de: altura, DAP y D^2H, además de los promedios familiares de las mismas variables. La ganancia predicha si se selecciona el 5% de los mejores individuos significarían aumentos de 49% en D^2H, un 19% en la altura y sólo un 5% en DAP.

El 5% de los mejores árboles seleccionados por el ISM provienen principalmente de 2 procedencias, en un 46% cada una: S. Lake Albacutya y Outlet Creek Rainbow y el resto 11 árboles (8%) provienen de Lowan Valley-Salina. A pesar del buen crecimiento promedio alcanzado por la procedencia de Lake Hindmarsh no destacan buenas familias genéticamente entre los mejores 157 árboles.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Forestal (INFOR) inició en 1962 un amplio programa de introducción de especies forestales. Como resultado de múltiples ensayos se determinó que el *Eucalyptus camaldulensis* sería una de las especies apropiadas para forestar y reforestar las zonas semiáridas del país (INFOR, 1986).

---

1 Médico Veterinario, Doctorado en Ciencias Agrarias. Instituto Forestal (INFOR). Santiago, Chile.

2 Ingeniero Forestal (Egr). Instituto Forestal. Santiago, Chile.

INFOR

E. camaldulensis ha demostrado ser adaptable a diversas condiciones de suelos y climas y de gran velocidad de crecimiento, por lo que se ha convertido en una especie de interés económico no sólo en Chile, sino que también en Australia; Sud África y otros países.

La buena adaptación de *E. camaldulensis* a estas zonas semiáridas de Chile, se manifiesta en los rendimientos productivos y además por la gran variabilidad intraespecífica encontrada por Barros (1990). De allí que INFOR dentro del programa de Mejoramiento Genético del Eucalipto, importó semillas de las zonas de distribución natural de la especie en Australia, con las cuales instaló 4 ensayos de procedencias y progenies en diferentes condiciones edafoclimáticas de zonas semiáridas en el país, estableciendo una base genética amplia que permitiera obtener con mayor seguridad una mayor ganancia genética al corto y mediano plazo. Posteriormente, Alvear y Gutiérrez (1995) entregan los niveles productivos de estos ensayos de procedencias y progenies aproximadamente a los 42 meses de edad, destacando que las procedencias con mayores crecimientos fueron las originarias de Victoria, especialmente de los Lagos de Hindmarsh y Albacutya, resultados muy similares a los obtenidos por estos mismos a los 24 meses de edad (Gutiérrez y Chung, 1993).

Además, Alvear y Gutiérrez (1995) destacan que, las estimaciones de los parámetros genéticos en el ensayo de Tantehue fueron significativamente superiores al resto de los ensayos, principalmente debido a las mejores condiciones de suelo que determinan una mejor sobrevivencia y, por consiguiente, una buena estimación del rendimiento familiar de estas procedencias, situación que ameritó este estudio y así calcular un índice de selección individual-familar.

En este artículo también se describe la metodología del índice de selección multicriterio, que permite seleccionar árboles dependiendo tanto de su información individual como de su familia, considerando a su vez simultáneamente varias características productivas. Ya que es muy importante seleccionar los mejores individuos lo más tempranamente posible, se aplicó este índice a los 42 meses de edad, logrando así maximizar la ganancia genética a corto plazo.

Obviamente que los árboles y/o familias genéticamente superiores serán el resultado de utilizar toda la información disponible de los 4 ensayos de procedencia y progenie que el INFOR posee en *E. camaldulensis*, sin embargo debido a la interacción genético-ambiental existente entre las diferentes familias, se seleccionará inicialmente a los mejores individuos en este ensayo, como resultado de la mayor adaptación a esta condición específica edafo-climática, que permite expresar de mejor manera el potencial de cada árbol.

MATERIAL Y METODOLOGÍA

El ensayo de procedencia y progenie utilizado para este índice fue instalado en julio de 1991. Éste se ubica en los 33°32' de latitud Sur y los 71°14' de longitud oeste, en el fundo "Santa María de Tantehue", comuna de Melipilla y dentro de la provincia de Santiago, región Metropolitana. El sitio donde se encuentra el ensayo está a una altitud de 240 m.s.n.m., con una precipitación promedio anual de 419 mm, temperatura media anual de 13,6°C y los períodos

INFOR

secos del año alcanzan los 8 meses. Las condiciones del sitio son consideradas óptimas ya que el ensayo fue instalado en un suelo agrícola, destacándose que son las mejores condiciones para que los árboles expresen su real potencial en esta zona semiárida.

Las variables evaluadas hasta la fecha fueron la sobrevivencia (SOB), altura total (ALT), diámetro a la altura del pecho (DAP), forma del fuste (FUS). También, se consideró a la variable D^2H, por cuanto combina en un valor al diámetro y la altura, siendo un buen estimador del crecimiento en volumen (Infante y Prado, 1991).

En este ensayo sólo se comparan 9 procedencias provenientes de Victoria (Australia) y una testigo nacional (Lolol). El detalle de las procedencias se entrega en el Cuadro N°1. La colección fue realizada por el Centro de Semillas de CSIRO, Australia, en los años 1987 y 1988. El número total de familias de medios hermanos maternos en este ensayo es de 82.

Cuadro N°1: Antecedentes sobre el origen de las procedencias y numero de familias de *Eucalyptus camaldulensis* instaladas en el ensayo de procedencia y progenie de Tantehue.

Procedencia .	Lugar de origen	N°	Latitud (l.s.)	Longitud (l.w.)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Wimmera R/Ulmhurst VIC	5	37°13'	143°16'	325
2	Wimmera R/Glenorchi VIC	9	36°55'	142°34'	170
3	Lake Hindmarsh VIC	10	36°08'	141°27'	75
4	Outlet Creek Rainbow VIC	13	35°49'	141°36'	75
5	S. Lake Albacutya VIC	7	35°48'	141°30'	70
6	E. Lake Albacutya VIC	9	35°46'	142°25'	70
7	N. Lake Albacutya VIC	12	35°42'	141°21'	70
8	Lowan Valley-Saline VIC	8	35°50'	141°48'	135
9	Avon River-Navarre VIC	9	36°52'	143°57'	280
10	Testigo Lolol CHILE	1	34°42'	71°40'	180

VIC: Victoria;
m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar

Este ensayo se estableció empleando prácticas silviculturales intensivas, incluyendo un control inicial de malezas y fertilización.

Diseño experimental

El diseño experimental empleado en todos estos ensayos es el de "Bloques de Familias Compactas" o de parcelas divididas, en donde la parcela principal es la procedencia. Las familias se distribuyen al azar en subparcelas de 4 plantas en línea, dentro de cada procedencia. El diseño consta de 10 repeticiones. El ensayo fue rodeado por dos líneas de aislación.

INFOR

Análisis estadístico

Para determinar las diferencias en el desarrollo de las plantas tanto a nivel de procedencias como de familias, se realizaron análisis de varianza. Las comparaciones entre medias se efectuaron empleando la Prueba de Scheffe. Los datos analizados corresponden al cuarto control del ensayo, efectuado alrededor de los 42 meses después del establecimiento.

Además se estimaron la heredabilidad individual (h^2), familiar (h_f^2) y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las variables estudiadas: ALT, DAP, D^2H y FUS.

El modelo estadístico utilizado en la estimación de los parámetros genéticos en cada uno de los ensayos fue un modelo mixto anidado, considerando los siguientes factores (Becker, 1984):

$$y_{ikjl} = m + B_i + p_j + f(p)_{jk} + B_i \times p_j + B_i \times f(p)_{jk} + E_{ijkl}$$

donde:

B_i :	Efecto fijo del i-ésimo bloque.
p_j :	Efecto aleatorio de la j-ésima procedencia.
$f(p)_{jk}$:	Efecto aleatorio de la k-ésima familia dentro de la j-ésima procedencia.
$B_i \times p_j$:	Efecto de la interacción entre bloque y procedencia.
$B_i \times f(p)_{jk}$:	Efecto de la interacción entre bloque y familia dentro de procedencia.
E_{ijkl}:	Error experimental.

La heredabilidad individual fue estimada siguiendo el mismo procedimiento de Whitemann *et al.* (1992), donde:

$$h^2 = \frac{4.0\ \sigma^2_f}{\sigma^2_f + \sigma^2_{Bxf(p)} + \sigma^2_E}$$

El factor 4.0 se utiliza al ser familias de medios hermanos maternos (r = 0,25). En cambio, la heredabilidad familiar (h_f^2) fue estimada según las aproximaciones de Falconer (1981).

$$h_f^2 = \frac{1 + (n - 1)\, r}{1 + (n - 1)\, t} \times h^2$$

donde: n corresponde al número de descendientes promedio por familia (= 37,39); r al coeficiente de parentesco familiar (1/4) y t a la correlación intrafamiliar (Varianza familiar/ Varianza fenotípica).

INFOR

Índice de selección multicriterio

Una extensión del Índice de Selección Múltiple (ISM), utilizando rendimientos individuales para cada una de las características de interés, propuesto por Smith-Hazel, permite ahora combinar mayor cantidad de información, incluyendo los promedios familiares (medios y propios hermanos), información de la descendencia y parientes, ya sea para las mismas características a seleccionar (Arbez *et al.*, 1974; Talbert, 1986) o incluso con características no medibles en los individuos de la población (Nicholas, 1987). Los procedimientos matemáticos que permiten integrar toda esta información están bien detallados por Cunningham (1975). Una aplicación de estos métodos en el sector forestal se encuentra bien desarrollada por Cotterill y Dean, 1984; White y Hodge, 1989. Por consiguiente, el índice de selección combinado utilizado en este ensayo de procedencias y progenie se puede resumir como:

$$I = b_A X_A + b_D X_D + b_V X_V + b_A \bar{X}_A + b_D \bar{X}_D + b_V \bar{X}_V \quad (1)$$

donde X_i corresponden al rendimiento individual ajustado por bloque de las características de crecimiento incluidas en la estimación, indicando el subíndice a la característica respectiva, donde: A = ALT (m); D = DAP (cm) y V = D^2H (m^3); en cambio, los $\bar{X}_i$ indican los promedios de las familias de medios hermanos maternos (progenies). Los b_i son los coeficientes del índice para la característica correspondiente. Lo fundamental del índice es que los b_i coeficientes son calculados de tal manera que el I de un árbol en particular representa el mejor valor genético total, que puede obtenerse considerando estas características de manera simultánea en esa población.

El mérito genético combinado de cada individuo se obtiene a través del índice que garantiza una máxima ganancia genético-económica. La solución para el índice es:

$$\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{V}^{-1} \mathbf{C} \mathbf{a} (\mathbf{X} - \mu) \quad (2)$$

donde $\mathbf{V}^{-1}$ se define como la matriz de varianza-covarianza fenotípica, **C** la matriz covarianza entre el valor productivo y su valor genético aditivo ($Cov_{X,Ax}$), **a** es el vector de las ponderaciones económicas y el vector de las observaciones corregidas respecto al promedio poblacional es igual a $(X - \mu)$.

Con los coeficientes se obtiene el valor predicho del mérito genético combinado para cada individuo, resultando entonces que el índice calculado para cada candidato sirve como predictor del mérito genético, I = w, por lo tanto, la varianza del índice es igual a la varianza del valor predicho = **b'V b** (matricialmente).

$$\hat{w} = \hat{b}_A X_A + \hat{b}_D X_D + \hat{b}_V X_V + \hat{b}_A \bar{X}_A + \hat{b}_D \bar{X}_D + \hat{b}_V \bar{X}_V \quad (3)$$

INFOR

Por otra parte, la covarianza entre el valor real y el verdadero del mérito genético puede ser estimado también por la varianza del índice (Cov (w,w) = Var (I) = Var (w), lo que finalmente permite estimar la correlación entre el valor real y el verdadero del mérito genético ($r_{wI} = r_{ww} = \sigma_I / \sigma w$), que generalmente con una gran cantidad de datos de buena calidad esta correlación tiende a 1, y esto sirve para cuantificar la eficiencia de ISM, es decir, si el ranking obtenido de los valores genéticos-económicos para cada candidato es el mejor.

El progreso genético esperado por el índice se puede obtener mediante la siguiente ecuación: Delta I = i xσ_I (intensidad del índice multiplicado por la desviación estándar del índice).

La ganancia genética esperada para cada característica incluida en el índice se puede conocer mediante:

$$\Delta_{gi} = (C'b / \sigma_I) \times i \quad (4)$$

siendo igual a la matriz **C** traspuesta por los coeficientes del índice dividido por la desviación estándar del índice y multiplicado por la intensidad del índice.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento productivo

En el Cuadro N°2 se entregan los resultados de sobrevivencia (%), ALT, DAP y D^2H medio, para cada una de las procedencias. Los promedios registrados para las variables de crecimiento son: Altura 6,59 ± 1,76 m; DAP 6,41 ± 2,0 cm; D^2H de 0,033 ± 0,03 m^3 y sobrevivencia de 96,9% (n total ensayo = 3.360). Respecto a la forma del fuste (FUS) se puede observar que el promedio del ensayo es igual a 2,69 ± 0,48; lo que determina árboles muy alterados en su eje principal, (cuyos valores discretos fluctuaron de 1 a 3, asociándose la mejor forma del fuste al menor puntaje).

Las procedencias mostraron diferencias significativas en las cuatro variables analizadas. Sin embargo, las tendencias más importantes son las observadas en D^2H donde las procedencias que se destacan son las del Sur de Lake Albacutya, Lake Hindmarsh, Lowan Valley-Saline y del Este y Norte de Albacutya, las cuales son distintas al resto y muy especialmente a la testigo nacional ($p \leq 0,05$).

La mayor sobrevivencia la expresa el testigo nacional (100%), pero no se diferencia mayormente de la SOB promedio del ensayo, la que es en general alta (96,9%). La menor SOB corresponde a la procedencia Lowan Valley Saline (91,9%)

INFOR

Cuadro N°2: Sobrevivencia (%), Altura (m) y DAP (cm) a los 42 meses de edad de *Eucalyptus camaldulensis*, ensayo de Tantehue, V Región (ordenados según D^2H (m^3)).

Proc.	Lugar de origen	Sobreviven. (%)	Forma Fuste	Alt. (m)	Dap (cm)	D^2H (m^3)	D^2H Schef[1]
5	S. Lake Albacutya VIC	98,6	2,65	7.12	6.79	0.0401	a
3	Lake Hindmarsh VIC	96.5	2,81	6.81	6.76	0.0390	a
8	Lowan Valley-Saline VIC	91.9	2,68	6.72	6.72	0.0386	a
6	E. Lake Albacutya VIC	95,3	2,65	6.70	6.74	0.0373	a b
7	N. Lake Albacutya VIC	97,7	2,73	6.82	6.64	0.0356	a b
1	Wimmera R/Ulmhurst VIC	96,5	2,63	6.38	6.26	0.0322	a b
4	Outlet Creek-Rainbow VIC	99,0	2,73	6.60	6.07	0.0286	a b
2	Wimmera R/Glenorchi VIC	95,0	2,68	6.25	6.10	0.0282	a b
9	Avon River-Navarre VIC	95,8	2,60	6,06	6.10	0.0281	a b
10	Testigo Lolol CHILE	100.0	2,59	5.36	4.66	0.0148	c
	PROMEDIO	96,9	2,69	6.59	6.41	0.0334	

1: Diferencias estadísticas entre procedencias según Scheffe ($\leq 0,05$).
VIC : Victoria.

La forma del fuste presentó en un alto porcentaje del ensayo alteraciones de diferente magnitud, ya que el 69,8% de los árboles presentaron una condición de muy curvado (3 puntos) y el 29,5% estaban levemente curvados (2 puntos), por lo tanto sólo el 0,7% de los individuos presentaron un fuste recto. Entre las procedencias se determinaron diferencias para el nivel más afectado de entre un 81,6% para Lake Hindmarsh y un 59,2% para la testigo nacional, resultante de una mayor adaptabilidad.

La altura promedio del ensayo alcanzó los 6,59 metros, variando entre 7,12 m (S. Lake Albacutya) y 5,36 m (Testigo Nacional). Se manifiesta una clara inferioridad de las plantas de semilla local, las cuales exhiben entre un 24,7 y 11,5% menos de altura que la mejor y peor procedencia australiana, respectivamente.

Las procedencias mostraron diferencias significativas también en el DAP ($p \leq 0,0001$), las cuales variaron desde 6,79 a 6,10 cm, entre la originaria del S. Lake Albacutya y Avon River-Navarre, respectivamente (Cuadro N°2). En general, las procedencias de mayor DAP fueron las de mayores alturas. Nuevamente el Testigo Nacional demuestra el menor DAP (4,66 cm), nivel bastante inferior al promedio del ensayo.

Finalmente, las procedencias con mayores D^2H promedios son: Sur Lake Albacutya, Lake Hindmarsh, Lowan Valley-Salina y del E y N. Lake Albacutya, siendo la Testigo Nacional muy diferente al resto de las procedencias. El D^2H de la procedencia nacional muestra el menor crecimiento y diferencias significativas a todas las procedencias australianas ($p \leq 0,0001$), siendo incluso un 36,8% inferior a la mejor procedencia del Sur de Lake Albacutya (Victoria).

Índice de Selección Múltiple (ISM)

Las varianzas, covarianzas, parámetros genéticos y fenotípicos entre las características de crecimiento evaluadas en este estudio se resumen en el Cuadro N°3.

Es importante destacar que las heredabilidades individuales para la ALT y DAP son relativamente altas y muy semejantes (alrededor de 0,44); en cambio algo menor la obtenida para D^2H (0,34 ± 0,07) y sólo de mediano nivel la obtenida para el FUS (0,25 ± 0,06), demostrando que esta última situación está determinada fundamentalmente por las condiciones ambientales. Los altos valores resultan debido a la menor varianza ambiental determinada principalmente por la homogeneidad del sitio, es decir, sitio de buena calidad permite una expresión precoz del potencial genético entre los hermanos (familias), potencial que es muy difícil de manifestar en sitios más pobres.

Cuadro N°3: Varianzas y covarianzas estimadas, h^2 individual, h^2 familiar y correlaciones genéticas y fenotípicas de las características utilizadas en el índice.

	VARIANZAS			HEREDABILIDAD	
CARACT.	σ^2_f	$\sigma^2_{B x f(p)}$	σ^2_E	h^2 ± s.e.	h^2_f
ALTURA	0,2193	0,1185	1,6852	0,43 0,09	0,86
DAP	0,3407	0,0768	2,6538	0,44 0,09	0,89
D^2H[1]	49,0988	23,6639	196,3951	0,34 0,07	0,84
FUSTE	0,0126	0,0191	0,1734	0,25 0,06	0,77
	COVARIANZAS				
CARACT.	$\sigma_{f\ xy}$	$\sigma_{B\ x f(p) x\ y}$	$\sigma_{E\ x\ y}$	r_A ± s.e.	r_P
ALT-DAP	0,227	0,071	1,501	0,83 0,04	0,72
ALT-D^2H	2981,7	1638,700	21864,720	0,91 0,03	0,78
ALT-FUS	-0,023	0,004	-0,157	-0,44 0,13	-0,27
DAP-D^2H	40,17	1139,351	32205,140	0,98 0,01	0,89
DAP-FUS	-0,031	0,012	-0,157	-0,47 0,12	-0,22
D^2H-FUS	-378,5	161,005	-2081,010	-0,48 0,13	-0,21

1: Valores divididos por 1000000.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas son bastante altas entre las características asociadas al crecimiento, reflejando un alto componente genético que determina esta asociación (Cuadro N°3), siendo las genéticas generalmente superiores a las fenotípicas. Sin embargo, las características de crecimiento con la forma del árbol (FUS), presentan correlaciones bastante menores y negativas, debido al orden decreciente en la forma del fuste.

La construcción de las respectivas matrices para calcular el ISM, según la ecuación 2, determinan que **V**, la matriz de varianza-covarianza fenotípica se constituye de la siguiente información ajustada (X):

INFOR

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathrm{VarX_A} & \mathrm{CovX_{A,D}} & \mathrm{CovX_{A,V}} & \overline{\mathrm{VarX}}_{\mathrm{A,A}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{A,D}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{A,V}} \\ \mathrm{CovX_{D,A}} & \mathrm{VarX_D} & \mathrm{CovX_{D,A}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{D,A}} & \overline{\mathrm{VarX}}_{\mathrm{D,D}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{D,V}} \\ \mathrm{CovX_{V,A}} & \mathrm{CovX_{V,D}} & \mathrm{VarX_V} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{V,A}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{V,D}} & \overline{\mathrm{VarX}}_{\mathrm{V,V}} \\ \overline{\mathrm{VarX}}_{\mathrm{A,A}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{A,D}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{A,V}} & \mathrm{VarX_A} & \overline{\overline{\mathrm{CovX}}}_{\mathrm{A,D}} & \overline{\overline{\mathrm{CovX}}}_{\mathrm{A,V}} \\ \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{D,A}} & \overline{\mathrm{VarX}}_{\mathrm{D,D}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{D,A}} & \overline{\overline{\mathrm{CovX}}}_{\mathrm{D,A}} & \mathrm{VarX_D} & \overline{\overline{\mathrm{CovX}}}_{\mathrm{D,V}} \\ \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{V,A}} & \overline{\mathrm{CovX}}_{\mathrm{V,D}} & \overline{\mathrm{VarX}}_{\mathrm{V,V}} & \overline{\overline{\mathrm{CovX}}}_{\mathrm{V,A}} & \overline{\overline{\mathrm{CovX}}}_{\mathrm{V,D}} & \mathrm{VarX_V} \end{bmatrix}$$

donde:

VarX son las varianzas fenotípicas de la misma variable, ya sea individualmente: $\mathrm{VarX} = \sigma^2_X$: $\sigma^2_f + \sigma^2_{Bxf(p)} + \sigma^2_E$, o respecto al promedio familiar de la variable x: $\mathrm{VarX} = \sigma^2_X = \sigma^2_f + (\sigma^2_P - \sigma^2_f)/n$.

CovX entre la variable x y el promedio familiar del mismo carácter x es igual a la Varianza promedio familiar del carácter (VarX).

CovX entre la variable x y el promedio familiar de la variable y ($\mathrm{CovX}_{(x,y)} = \sigma_{f(x,y)} + \sigma_{Bxf(p)\,(x,y)} + \sigma_{E(x,y)}/n$)

CovX entre el promedio familiar de x y el promedio familiar de la variable y ($\mathrm{CovX}_{(x,y)} = \sigma_{f(x,y)} + \sigma_{Bxf(p)\,(x,y)} + \sigma_{E(x,y)}/n$)

La matriz de covarianzas entre las observaciones y sus valores aditivos (**C**) queda construida de la siguiente manera, donde x, y, z, son los valores fenotípicos de las variables ALT, DAP y D^2H, respectivamente:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathrm{Cov(x,Ax)_A} & \mathrm{Cov(x,Ay)_{A,D}} & \mathrm{Cov(x,Az)_{A,V}} \\ \mathrm{Cov(y,Ax)_{D,A}} & \mathrm{Cov(y,Ay)_D} & \mathrm{Cov(y,Az)_{D,A}} \\ \mathrm{Cov(z,Ax)_{V,A}} & \mathrm{Cov(z,Ay)_{V,D}} & \mathrm{Cov(z,Az)_V} \\ \overline{\mathrm{Cov(x,Ax)}}_{\mathrm{A,A}} & \overline{\mathrm{Cov(x,Ay)}}_{\mathrm{A,D}} & \overline{\mathrm{Cov(x,Az)}}_{\mathrm{A,V}} \\ \overline{\mathrm{Cov(y,Ax)}}_{\mathrm{D,A}} & \overline{\mathrm{Cov(y,Ay)}}_{\mathrm{D,D}} & \overline{\mathrm{Cov(y,Az)}}_{\mathrm{D,V}} \\ \overline{\mathrm{Cov(z,Ax)}}_{\mathrm{V,A}} & \overline{\mathrm{Cov(z,Ay)}}_{\mathrm{V,D}} & \overline{\mathrm{Cov(z,Az)}}_{\mathrm{V,V}} \end{bmatrix}$$

INFOR

donde:

Cov(x,Ax) son las covarianzas aditivas (genéticas) de la misma variable individualmente ($VarA = \sigma^2_A$).
Cov(x,Ay) entre las variables individuales x e y es igual a la $CovA_{(x,y)}$.
Cov(x,Ax) entre el promedio familiar de x y el valor genético de la misma variable es igual: $\sigma^2_{f(x,y)} + 3/n\ \sigma^2_{f(x,y)}$.
Cov(x,Ay) entre el promedio familiar de x y el valor genético de la variable y es igual: $\sigma_{f(x,y)} + 3/n\ \sigma_{f(x,y)}$.

El vector **a** de las ponderaciones económicas utilizado en estas estimaciones fue **a'** = (1 1 1) , es decir igual importancia económica para ALT, DAP y D^2H, debido a que no se conoce la rentabilidad en estos sistemas de zonas semiáridas.

Como resultado del sistema de ecuaciones para estimar los coeficientes del ISM, se obtiene un vector **b** de dimensión 6x1, donde los tres primeros corresponden a los ponderadores para las características individuales en ALT, DAP y D^2H, y los últimos 3 a sus respectivos promedios familiares.

b' = 2533.36 3471.55 -0.03809 79990.55 -80471.86 1.41638

por lo tanto, el valor genético-económico (puntaje final) para cada árbol de la población se obtiene resolviendo la ecuación (2) y los individuos seleccionados resultan aquellos que presentan los mayores valores. Para esta población se observa que el D^2H individual y el DAP promedio familiar presentan las menores ponderaciones (negativas), en cambio la altura promedio familiar resulta la variable de mayor importancia para este índice, determinado principalmente por los altos componentes genéticos estimados para esta característica de crecimiento.

La eficiencia de este índice es de un 70%, seleccionando al 5% de los mejores árboles (i = 2.063), logrando que la superioridad del mérito genético determine una ganancia genética para cada característica promedio, a los 4 años de edad, de:

$\triangle\ g_i$ = 1,307 m en altura
0,337 cm en DAP y
0,016 m^3 en D^2H.

Lo que significa que este ISM mejora en una generación a los 4 años de edad un 49% el D^2H, un 19,8% la ALT, un 5,3% el D^2H y sólo un 5,2% el DAP de la población, resultados muy alentadores para esta especie en esas condiciones ambientales.

Los 157 mejores árboles que representan al 5% de la población actualmente existente (3.411 individuos) en el ensayo, poseen los siguientes niveles de crecimiento promedio: ALT = 7,85

m; DAP = 7,10 cm; D^2H = 0,0463 m^3 y FUS = 2,63. Un total de 11 familias son las que poseen el mayor mérito genético. Un resumen del rendimiento productivo de las familias (157) se entregan en el Cuadro N°4. Los mejores árboles genéticamente son originarios en igual cantidad de las procedencias de Outlet Creek Rainbow (4) y de Lake Albacutya (5, 6 y 7), sólo 11 de 157 árboles pertenecen a la procedencia Lowan Valley-Salina (8).

Cuadro N°4: Familias de mayor mérito genético dentro del 5% de la población existente.

FAM. - PROCEDENCIA	N° ARB.	ALT. PRO.[1]	DAP PRO.	D^2H PRO.
36 - Outlet Creek Rainbow	3	7,73	8,53	0,0569
37 - Outlet Creek Rainbow	32	7,23	6,28	0,0307
39 - Outlet Creek Rainbow	1	8,20	8,90	0,0650
40 - Outlet Creek Rainbow	37	7,03	5,97	0,0276
44 - S. Lake Albacutya	8	9,43	9,34	0,0867
46 - S. Lake Albacutya	16	9,34	8,76	0,0757
51 - S. Lake Albacutya	1	11,50	14,80	0,2519
55 - S. Lake Albacutya	25	7,07	6,08	0,0301
60 - E. Lake Albacutya	10	8,58	8,02	0,0568
74 - N. Lake Albacutya	13	8,43	7,77	0,0525
81 - Lowan Valley-Salina	11	9,25	8,71	0,0786
	157	7,85	7,10	0,0463

1: PRO. = Promedio.

Al considerar sólo el promedio familiar de la forma del árbol (FUS), la eficiencia del índice aumentaría levemente a 72%, ya que esta característica no está determinada, fundamentalmente, por componentes genéticos. Además, el ensayo se caracteriza por una forma de los árboles muy irregular, es decir un alto porcentaje de los individuos presentan algún nivel de encurvamiento del fuste y son en general de fuste muy delgado en relación a su altura. Estas condiciones no justificarían la inclusión del FUS en el ISM.

CONCLUSIONES

Los resultados productivos indican una superioridad marcada de las procedencias australianas respecto a la testigo nacional, al considerar características de crecimiento, tales como: altura, DAP y D^2H, en un ensayo de procedencia-progenie.

Los parámetros fenotípicos y genéticos calculados en este ensayo son relativamente altos, indicando que las condiciones de sitio son bastante adecuadas para el establecimiento de una prueba de progenie.

La selección de los mejores árboles genéticamente fue obtenida con un índice de selección múltiple, utilizando tanto la información individual y familiar de altura, DAP y D^2H. La ganancia genética estimada al seleccionar a un 5% de los mejores individuos garantizada en un 70% serán: 48% en D^2H, 19% en altura y sólo un 5% en DAP.

INFOR

Los mejores individuos provienen principalmente de 2 procedencias australianas: S. Lake Albacutya y Outlet Creek-Rainbow (46% de cada procedencia), en cambio 11 árboles (8%) provienen de una sólo familia de Lowan Valley-Salina.

REFERENCIAS

ALVEAR, C. y GUTIÉRREZ, B., (1995), "Crecimiento hasta los 42 - 44 Meses de Edad y Estimación de Parámetros Genéticos de 23 Procedencias y 196 Familias de *Eucalyptus camaldulensis Dehn* en cuatro sitios de la zona Central de Chile", Ciencia e Investigación Forestal, N°9(1), pp. 23-46.

ARBEZ, M., BARADAT, Ph., MAUGE, J. P., MILLER, C. and BADIA, J., (1974), "Some Problems related to use of selection indices in Forest Tree Breeding". Proc., Joint IUFRO Meet. of Working Parties, Stockholm, pp.97-116.

BARROS, S. (1990), "Ensayos de Procedencias de *Eucalyptus camaldulensis Dehn* en la Zona Semiárida de Chile", Ciencia e Investigación Forestal, N°4(2), pp. 171-182.

BECKER, W.A., (1984), **Manual of Quantitative Genetics**, Academic Enterprises, Pullman. USA, 186 págs.

COTTERILL, P. P. y DEAN, C. A., (1989), "Successful Tree Breeding with Index Selection" CSIRO Div. Forestry and Forest Products, CELBI, APM and APPM, Canberra, Australia.

CUNNINGHAM, E. P., (1975), "Multi-stage Index Selection", Theor. Appl. Genet., N°46, pp. 55-61.

FALCONER, D. S., (1981), "Introduction to Quantitative Genetics", Longman & Co., New York, NY, 340 págs.

GUTIÉRREZ, B. y CHUNG, P., (1993), "Crecimiento inicial de 23 procedencias y 196 familias de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. en cuatro sitios de la zona central de Chile", Ciencia e Investigación Forestal, N°7(1), pp.5-21.

INFANTE, P. y PRADO, J. A., (1991), "Crecimiento juvenil de 32 procedencias y 203 familias de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* en la zona costera de la VIII Región de Chile", Ciencia e Investigación Forestal, N°5(2), pp.251 - 265.

INFOR, (1986), "Especies forestales exóticas de interés económico para Chile", Gerencia de Desarrollo, Santiago de Chile, CORFO AF 86/32, 167 págs.

NICHOLAS, F. W., (1987), **Veterinary Genetics. Oxford Science Publications**, Oxford University Press, New York. 580 págs.

TALBERT, C. B., (1986), "Multi-criterion Index Selection as a Tool for Operational Tree Inprovement". Proc., Joint. IUFRO Meet, Working Parties on Breeding Theory, Progeny Testing and Seed Orchards. Williamsburg, Virginia., North Carolina State University: Raleigh. pp.228-238.

WHITE, T. L. Y HODGE, G., (1989), "Predicting Breeding Values with Applications in Forest Improvement", **Forestry Sciences**, Kluwer Academic Publishers, 367 págs.

INFOR

WHITEMAN, P. H., DEAN, C. A., DORAN, J. C. and CAMERON J. N., (1992), "Genetic Parameters and Selection Strategies for *Eucalyptus nitens* (Dean and Maiden) in Victoria", Silvae Genetica, Nº41 (2), pp.77-81.

INFOR

LA VARIACIÓN ELECTROFORÉTICA COMO HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA Y SU APROVECHAMIENTO EN EL GENERO *Prosopis*

Alicia Diana Burghardt [1] ; Ramón Antonio Palacios [1]

Prosopis L. (Leguminosae)

Características generales y distribución

Los algarrobos o mezquites pertenecen al género *Prosopis* L., género muy primitivo dentro de la familia Leguminosae (Subfam. Mimosoideae), actualmente dividido en cinco secciones con aproximadamente 45 especies distribuidas principalmente en el continente americano (tres secciones). También se encuentra representado en el sudoeste de Asia y en África (dos secciones), de donde parece ser originario (Burkart, 1976).

En América existen dos grandes centros disyuntos de dispersión: el Tejano-Mejicano y el Argentino-Paraguayo-Chileno, donde se encuentra la mayoría de las especies (Burkart, 1976). Existen numerosos *taxa* que presentan marcada variabilidad morfológica intraespecífica (Bravo *et al.*, 1979, Palacios y Bravo, 1981). En algunos casos existen formas transicionales, presuntamente por la existencia de hibridación interespecífica e introgresión (Hunziker *et al.*, 1975), lo cual hace dificultosa la delimitación de los *taxa*, existiendo aún numerosos problemas taxonómicos por resolver.

Varias especies autóctonas son promisorias como productoras de leña y madera, mediante una explotación con mínima inversión (Felker, 1979); otras pueden ser utilizadas como fijadoras de suelo (Burkart, 1952), o como forrajeras ya que se ha comprobado que sus frutos tienen un valor alimenticio semejante al del maíz o la cebada, pudiendo, algunas, ser útiles en la industria alimentaria (F.A.O., 1980; Habit, 1981). Algunas especies están siendo utilizadas para la explotación agroforestal o la forestación y reforestación en diferentes zonas áridas y semiáridas donde existe la amenaza de erosión intensa del suelo por el viento o las lluvias (Burley y Von Carlowitz, 1983; Lamprey, 1983; Karlin y Díaz, 1984; Ben Salem y Palmberg, 1985; Hunziker *et al.*, 1986).

Lamentablemente, los montes naturales de *Prosopis* están siendo explotados desaprensivamente, realizando poca o ninguna práctica de preservación. Esta situación está causando la extinción de extensos bosques que constituyen una parte significativa de la riqueza que representan los recursos naturales renovables. Dado que sería de suma importancia la conservación de este recurso genético y teniendo en cuenta el largo período

[1] Lab. de Genética y Lab. de Plantas Vasculares. Depto de Cs. Biológicas. Fac. Cs. Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. República Argentina. CONICET Argentina.

INFOR

en el que se mantienen viables las semillas, un primer paso para el planeamiento de su preservación y mejoramiento podría estar dado por la colección y almacenamiento de germoplasma en condiciones adecuadas.

El paso fundamental en la conservación del recurso genético que constituyen las especies de *Prosopis* es el conocimiento de las mismas, o sea, su caracterización y delimitación precisas, el estudio de su variabilidad y el análisis de sus relaciones genético-ecológicas. Es en este punto donde la sistemática, conjuntamente con la genética pueden realizar su mayor aporte.

Sistemática y conservación del recurso genético

Un deficiente conocimiento taxonómico del género *Prosopis* debido, en gran parte, a la naturaleza de la variabilidad en las especies y su tratamiento sistemático antes de 1976, ha conducido a la distribución mundial de semillas sin la correcta determinación taxonómica y por tanto a una confusión acerca de la identificación de ciertos materiales que ya están siendo utilizados en emprendimientos forestales. Este hecho hace difícil el planeamiento para su manejo, dado que en algunos casos se desconocen los nombres correctos de las especies con las que se cuenta, lo que convierte en una tarea imposible la utilización de los resultados obtenidos en diferentes estudios, tanto básicos como aplicados.

Entre los estudios básicos, el análisis sistemático -entendiendo por Sistemática al "estudio científico de los tipos y diversidad de los organismos y de sus interrelaciones" (Simpson, 1961)- es el principio y la herramienta fundamental para una correcta identificación de los materiales y el conocimiento de las relaciones genético-ecológicas, entre y dentro de *taxa*, es imprescindible a la hora de una planificación ya sea para el mejoramiento o la utilización del recurso. Así, el tratamiento sistemático se convierte en la base de la caracterización de las especies, de su delimitación y su uso.

Límite genérico y divisiones infragenéricas: las secciones

Si bien el único tratamiento integral del género fue el de Burkart (1976), numerosos autores realizaron valiosos aportes parciales y desde distintas disciplinas para corroborar la validez del límite genérico y/o las secciones que él propuso (Secc. Prosopis, Anonychium, Monilicarpa, Strombocarpa y Algarobia). Se pueden citar entre otros: los estudios de la morfología del grano de polen (Caccavari de Filice, 1972), el estudio anatómico del leño secundario (Castro, 1989) y los modelos de arquitectura foliar (Martínez, 1984).

Los resultados obtenidos por métodos bioquímicos son, a este nivel, congruentes con los morfológicos y anatómicos. Se pueden mencionar: estudios de aceites de semilla (Madriñan Polo *et al.*, 1976), estudios cromatográficos de compuestos fenólicos (Carman, 1973, 1977; Carman y Mabry, 1975; Gianinetto *et al.*, 1975, 1976 a y b; Bragg *et al.*, 1978; Palacios y Bravo, 1981; Gitelli *et al.*, 1981, 1984 y Naranjo *et al.*, 1984; para una revisión ver Zallocchi, 1988), ensayos inmunológicos por difusión en gel de agar (Cohen *et al.*, 1967), estudios electroforéticos de isoenzimas (Solbrig y Bawa, 1975; Whitmore y Bragg, 1979;

INFOR

Saidman, 1985, 1993 y Saidman y Vilardi, 1987) y estudios electroforéticos de proteínas seminales (Burghardt, 1982, 1992).

Las relaciones entre taxa: secciones y series. Las especies: su origen, delimitación, problemas de caracterización y variabilidad intraespecífica

La clasificación en secciones parece tener significado biológico o sea que las secciones constituirían, a grandes rasgos, grupos naturales (salvo algunas excepciones) hecho que se evidencia en la ausencia de híbridos interseccionales (Hunziker *et al.*, 1986). No ocurre lo mismo con las series, ya que, entre éstas y los resultados obtenidos tanto a nivel morfológico-anatómico (Martínez, 1984; Castro, 1989), como a nivel bioquímico (Palacios y Bravo, 1981; Saidman, 1985, Burghardt, 1982, 1992, 1996; Burghardt y Palacios, 1981, 1984, 1991 a y b), así como también en la frecuencia hallada de híbridos entre especies de series diferentes (Palacios y Bravo Op.Cit.; Naranjo *et al.*1984) parecería haber una serie de discrepancias.

Los problemas de delimitación de las especies en el género, se dan principalmente en ciertos grupos de la sección Algarobia, debido fundamentalmente a las escasas discontinuidades morfológicas y aparición de formas intermedias originadas, supuestamente, por hibridación interespecífica e introgresión. Al parecer, no existen en estos casos, barreras de aislamiento muy desarrolladas entre especies (Palacios y Bravo, 1981; Naranjo *et al.*, 1984; Hunziker *et al.*, 1975, 1977, 1986) aunque éstas, en condiciones naturales, mantienen su identidad, aun en simpatría.

La variación electroforética de proteínas de semilla como herramienta

La electroforesis es uno de los métodos experimentales más generalizados para el estudio de las proteínas en sistemática y se basa en la migración diferencial de las moléculas a través de un medio soporte cuando son sometidas a un campo eléctrico. El mapeo peptídico (mediante la hidrólisis parcial de proteínas y electroforesis unidimensional en gel) es una técnica con ciertas limitaciones, pero su costo y dificultad son bajos, por lo cual es la más utilizada con propósitos clasificatorios y sistemáticos para medir la divergencia entre *taxa* (Fontdevila, 1987).

La clasificación es una disciplina empírica y las proteínas son valiosas desde un punto de vista práctico para la caracterización de especies de modo que no sólo contribuyen al desarrollo de los propósitos generales de la clasificación, sino que los datos obtenidos a partir de su estudio pueden servir para predecir la presencia de complejos génicos correlacionados que determinan características deseables y, así, permitir a los investigadores y mejoradores predecir propiedades valiosas de cultivos maduros mediante el estudio de unas pocas semillas (Smith, 1976).

Las proteínas más comúnmente utilizadas con propósitos sistemáticos y evolutivos son las de semilla, ya que el perfil electroforético de diferentes fracciones proteicas obtenidas de las semillas por distintos métodos de extracción es conspicuamente una característica

estable a nivel específico (Ladizinsky y Hymowitz, 1979), siendo un reflejo más estable del genoma de una especie dada, que el obtenido de plántulas en desarrollo (Cherry *et al.*, 1969).

Generalmente, especies muy relacionadas presentan mayores índices de similitud proteica que aquellas menos relacionadas (presentan más bandas en común en sus perfiles polipeptídicos); sin embargo, no existe una regla general en la diferenciación de especies con respecto a la divergencia proteica (González Aguilera *et al.*, 1986).

Una de las características típicas de los patrones polipeptídicos, obtenidos por electroforesis de proteínas de semilla, es la aditividad de las bandas (observadas en los progenitores), en los perfiles de los híbridos o especies de origen híbrido, la cual hace útil esta técnica para la dilucidación del posible origen de especies silvestres o cultivadas.

Los estudios de variabilidad intraespecífica basados en la electroforesis de proteínas de semilla no son muy abundantes, la mayoría de los análisis son de variabilidad intervarietal en especies cultivadas. Estudios en diversas plantas cultivadas indican que, en general existen diferencias génicas entre los cultivares comerciales que pueden ser detectadas electroforéticamente, lo cual, a los fines prácticos representa una gran ayuda a los mejoradores, ya que pueden realizar control de semillas y hasta predecir el potencial de un determinado cultivar sin necesidad de esperar hasta la maduración del cultivo.

Electroforesis de proteínas seminales en *Prosopis*

Existen varios problemas taxonómicos que están siendo estudiados desde la electroforesis de proteínas de reserva:

a) *P. alba, P. nigra, P. hassleri* y *P. ruscifolia*: cuatro especies de la sección Algarobia (tres de ellas maderables) que habitan el noreste argentino, entre las cuales existen híbridos naturales fértiles (Palacios y Bravo, 1981; Naranjo *et al.*, 1984) y la similitud a nivel cromosómico (Hunziker *et al.*, 1975, 1977) y bioquímico (Palacios y Bravo, 1981; Naranjo *et al.*, 1984; Saidman, 1985; Burghardt y Palacios, 1981, 1984, 1991) es tan elevada, que a la luz de la definición de especie biológica de Mayr (1963), no podrían ser consideradas como tales, sino como semiespecies simpátricas, constituyentes de un singameón (*sensu* Grant, 1981).

b) *P. ruscifolia*: la variabilidad intraespecífica en *Prosopis* no cuenta aún con demasiados estudios. La especie argentina más estudiada es *P. ruscifolia*, el "vinal", habiéndose analizado la variación entre procedencias desde el punto de vista ecológico (Morello *et al.*, 1971), morfológico y cromatográfico (Bravo *et al.*, 1979) y electroforético (Saidman y Naranjo, 1982; Saidman, 1985; Burghardt y Palacios, 1989).

c) Secc. Strombocarpa: dentro de la sección Strombocarpa los problemas de delimitación son menos frecuentes. Únicamente el par de especies *P.reptans-P.strombulifera* parecerían no llegar a ser "buenas especies", habiendo, ya, Burkart (1976) señalado la posibilidad que

fuesen subespecies de una misma especie; concordantemente con esa apreciación, Saidman (1985) encuentra escasa diferenciación a nivel enzimático.

d) El origen de la especie *P. burkartii*, endémica del norte de Chile, que es considerada por Burkart (1976) como un biotipo estable con características morfológicas intermedias entre *P. strombulifera* y *P. tamarugo*

MATERIALES Y MÉTODO

En este trabajo se estudió la variación en las proteínas seminales de veintisiete especies pertenecientes a las tres secciones americanas del género *Prosopis* L. Éstas son: Sección Strombocarpa, Serie Strombocarpae: *P. palmeri, P. torquata, P. strombulifera, P. reptans, P. burkartii*; Ser. Cavenicarpae: *P. tamarugo, P. ferox*; Sección Monilicarpa: *P. argentina*; Sección Algarobia, Ser. Sericanthae: *P. kuntzei*; Ser. Ruscifoliae: *P. ruscifolia, P. hassleri*; Ser. Pallidae: *P. rubriflora, P. pallida, P. affinis*; Ser. Chilenses: *P. chilensis, P. juliflora, P. nigra, P. caldenia, P. flexuosa; P. alpataco, P. glandulosa, P. velutina, P. pugionata*; Serie Denudantes: *P. denudans, P. ruizleali, P. castellanosii*. Se estudiaron también los patrones electroforéticos de *Prosopidastrum globosum*, con el objeto de analizar los límites genéricos.

Fue realizada la electroforesis horizontal en placas de gel de poliacrilamida de las proteínas totales (fracción acuosa) de semilla. Los patrones polipeptídicos de las veintiocho especies fueron analizados y tabulados según el criterio de presencia-ausencia con el objeto de evaluar las variaciones a nivel específico y supraespecífico. En los casos en que el diseño de muestreo lo permitió, se realizó el análisis de semillas individuales en distintas poblaciones de una especie con el objeto de verificar si existe variación intra e interpoblacional de las proteínas seminales.

Distintos métodos de análisis numéricos y gráficos fueron aplicados a los datos (Análisis de componentes principales, de coordenadas principales, de agrupamiento, Árbol de valor mínimo, Diagramas poligonales) con el objeto de analizar las relaciones entre poblaciones o especies. Los valores de aislamiento y de afinidad de grupo de las distintas especies fueron calculados para evaluar la delimitación de los distintos rangos clasificatorios.

INFOR

RESULTADOS

Los resultados indican que:

1.- La electroforesis de proteínas seminales constituye una herramienta valiosa cuando estudios sistemáticos son llevados a cabo en el género *Prosopis*. Su bajo costo aventaja a los estudios isoenzimáticos, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos acerca de las afinidades entre especies, o sea las estructuras taxonómicas generadas por las dos técnicas, son congruentes.

2.- Los individuos analizados mediante electroforesis de proteínas seminales pueden ser asignados inequívocamente a la sección a la que pertenecen según el sistema de Burkart (1976) ya que las tres secciones americanas presentan bandas características y constantes que actúan como marcadoras.

3.- El presente estudio avala la separación de *P. argentina* en una sección diferente de Strombocarpa y Algarobia, dados los valores de aislamiento y de afinidad de grupo (17,39% y 668,5 respectivamente) y la presencia de un patrón electroforético característico con presencia de bandas marcadoras.

4.- Los valores de aislamiento y de afinidad de grupo corroboran el límite genérico y las divisiones seccionales con algunas salvedades:

a) *P. palmeri* que es considerada por Burkart en su monografía como un miembro de la sección Strombocarpa, presenta valores de aislamiento (61,53%) y de afinidad de grupo (229,1) similares a los de una especie de otro género: *Prosopidastrum globosum* (V.A = 63,15%; A.G.= 282,5), por lo cual debería revisarse su *status* clasificatorio (Burghardt, 1989).

b) *P. kuntzei* presenta como valor de aislamiento: 31,82% y la afinidad de grupo es de 510,9, lo cual implica una divergencia a nivel de proteínas de semilla comparable con la que ostenta *P. argentina* con respecto al resto de las especies de Algarobia.

c) Lo mismo ocurre con los representantes de la serie Denudantes, cuyos valores de aislamiento y afinidad de grupo oscilan entre 16,67 y 39,13% y 447,4 y 571,0 respectivamente. Estos valores se corresponden con los límites seccionales.

5.- Las series en que se encuentran divididas las secciones en el sistema de Burkart, no parecen constituir grupos naturales, según lo muestra la electroforesis de proteínas de semilla.

6.- En el perfil de *P. burkartii* (una especie endémica del norte de Chile), la adición casi completa de las bandas observadas en los patrones de *P. strombulifera* y *P.tamarugo*

INFOR

corrobora su origen híbrido (Burghardt y Palacios, 1988, Palacios *et al.*, 1990). Además los perfiles polipeptídicos de semillas individuales sugieren fuertemente que las producidas en plantas madres de *P. burkartii* serían productos de introgresión con *P. tamarugo* con la cual convive.

7.- Las distintas especies del género deben haber seguido caminos evolutivos diferentes, involucrando, en algunos casos la hibridación (como en *P. burkartii*), en ellos, la divergencia a nivel de proteínas de semilla en grupos de especies taxonómicas bien definidas sería muy bajo. Una elevada similitud proteica es observada en las especies *P. alba, P. nigra, P. hassleri, P. ruscifolia*; lo que unido a otras evidencias, llevó a pensar que, biológicamente, debían ser consideradas como semiespecies simpátricas. Sin embargo, el estudio electroforético de distintas procedencias de los cuatro *taxa* permitió corroborar los límites específicos delimitados previamente por morfología. En otros grupos, la divergencia genética calculada sobre la base de las proteínas de semilla es grande, como en las especies de la serie Denudantes (Burghardt y Palacios, 1990; Burghardt, 1992). Las que constituyen endemismos más o menos restringidos que pudieron conducir a una divergencia génica alopátrica y adaptación a ambientes especiales.

8.- Los estudios electroforéticos de proteínas llevados a cabo mediante el análisis de semillas individuales permiten estudios de variabilidad intra e interpoblacional como los citados en los puntos 6 y 7, obteniéndose resultados que permiten arribar a conclusiones congruentes con las que dan las observaciones a campo y, en el caso de conocerse, la historia de la especie (Burghardt y Palacios, 1991 b; Burghardt, 1992, 1996).

Hacia una sistemática "natural"

Al menos, por encima del nivel de especie, la clasificación biológica se propone dar una expresión simplificada de las interrelaciones entre organismos (Mc.Neill, 1979).

Los datos obtenidos mediante el estudio electroforético de las proteínas de semilla, constituyen una herramienta particularmente útil para deducir las relaciones sistemáticas en grupos donde la morfología y la citología no proveen datos concluyentes (Panda *et al.* 1986).

Si asumimos que las relaciones filogenéticas debieran determinar la estructura jerárquica clasificatoria y que, un sistema natural de clasificación que refleje su historia evolutiva genera estructuras taxonómicas, en las que son predecibles características fenotípicas y/o fisiológicas dentro de grupos monofiléticos, los cladogramas generados sobre la base de los datos electroforéticos de este trabajo evidencian la necesidad de una reestructuración taxonómica en el género *Prosopis*, así como también, interesantes relaciones entre especies de Norte y Sudamérica que servirían para el diseño de planes de manejo y mejoramiento para la forestación de zonas áridas y semiáridas del mundo.

INFOR

BIBLIOGRAFÍA

BEN SALEM y PALMBERG, C., (1985), "Place and role of trees and shrubs in dry areas" en Wickens G.E., R.Goodin y D.V. Field (Eds.), Economic Plant for Arid Lands, N°93, p.102.

BRAGG, L.H., BACON, J.D., MILLAN, C., y MABRY, T.J., (1978), "Flavonoid patterns in the *Prosopis juliflora* complex", Biochem. Syst. Ecol, N°6, pp.113-116.

BRAVO, L.D., PALACIOS, R.A., y BURGHARDT, A.D., (1979), "Variabilidad en *Prosopis ruscifolia*", **XVII Jornadas Argentinas de Botánica**, Santa Rosa (La Pampa), Resúmenes, pp.9-10.

BURGHARDT, A.D., (1982), "Estudios electroforéticos en el género *Prosopis* (Leguminosae)", **XIII Congreso de la Soc. Arg. de Genética** , La Plata, Resúmenes, p.74.

BURGHARDT, A.D., (1989), "Un análisis sobre la ubicación taxonómica de *Prosopis palmeri* (Leguminosae) utilizando evidencias electroforéticas", **XXII Jornadas Arg. de Botánica**, Córdoba, Resúmenes, p.43.

BURGHARDT, A.D., (1992), "*Prosopis* L. Caracterización electroforética de sus especies", **Tesis Doctoral**, Fac. de Cs. Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

BURGHARDT, A.D., (1996) "La identidad de cuatro especies de *Prosopis* L. expresada a través de sus patrones electroforéticos", Mendeliana, N°12 (1) , pp.38-50.

BURGHARDT, A.D. y PALACIOS, R.A., (1981), "Caracterización electroforética de algunas especies de *Prosopis* (Leguminosae)", **XII Congr. Arg. de Genética,** Salta, Resúmenes, p.11.

BURGHARDT, A.D. y PALACIOS, R.A., (1984), "Variabilidad electroforética en cuatro especies de *Prosopis* (Leguminosae)", **XV Congr. Arg. de Genética,** Corrientes, Resúmenes, p.65.

BURGHARDT, A.D. y PALACIOS, R.A, (1989), "Variabilidad en *Prosopis ruscifolia*. Un estudio electroforético de proteínas seminales", **XX Congr. Arg. de Genética,** Bahía Blanca, Resúmenes, p.29.

BURGHARDT, A.D. y PALACIOS, R.A., (1990) "Estudio electrofóretico de proteínas seminales en *Prosopis* (Secc. Algarobia, serie Denudantes)", **XXI Congr. Arg. de Genética,** Concepción del Uruguay, Resúmenes, p.43.

BURGHARDT, A.D. y PALACIOS, R.A., (1991a.), "Estudio electroforético en cuatro especies del género *Prosopis* (Leguminosae)", Bol. Soc. Arg. de Botánica, N°27 (1-2), pp.43-48.

BURGHARDT, A.D. y PALACIOS, R.A., (1991b), "Variabilidad intraespecífica en cuatro especies de *Prosopis* (Leguminosae)", **XXII Congr. Arg. de Genética,** San Fernando del Valle de Catamarca, Resúmenes, p.50.

BURKART, A., (1952), **Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas,** ACME, 2ª Edición, Buenos Aires.

BURKART, A., (1976), "A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae. Subfam. Mimosoideae)", Jour. Arnold Arboretum, N°57(3), pp.217-249 y N°57(4), pp.450-525.

BURLEY, J. y VON CARLOWITZ, P., (1983), "Multipurpose tree germplasm". Proceeding of a *Planning Workshop to Discuss International Cooperation*, Washington D.C., U.S.A.

CACCAVARI DE FILICE, M.A., (1972), "Granos de polen de leguminosas de la Argentina II". Subfam. Mimosoideae; Tribu Adenantherae", Rev. Museo Arg. Cs. Naturales B. Rivadavia, N°4, pp. 281-320.

INFOR

CARMAN, N.J., (1973), "Systematic and ecological investigations in the genus *Prosopis* (Mimosaceae) emphasizing the natural products chemistry", **Ph.D. Thesis**, Univ of Texas, Austin.
CARMAN, N.J., (1977), "Cap. 3. Patterns of Variation. Variation in the natural products chemistry" en **Mesquite. Its Biology in Two Desert Scrub Ecosystems,** B.B.Simpson (Ed.) Dowden, Hutchinson & Ross Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 50-54.
CARMAN, N.J. y MABRY, T.J., (1975), "Disjunction of *Prosopis reptans* and the origin of the North American populations", Biochem. System. Ecol. N° 3, pp.19-23.
CASTRO, M.A, (1989), "Estructura y ultraestructura del leño secundario de especies argentinas del género *Prosopis* L. (Leguminosae)", **Tesis Doctoral**, Fac.de Cs.Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
COHEN, R., CEI, J.M. y ROIG, V.G., (1967), "Ensayos preliminares con técnicas de precipitinas por difusión en gel de agar sobre afinidades proteínicas en el género *Prosopis*", Rev. Fac. Cs. Agrarias, N°13, Univ. Nac. Cuyo, pp. 29-41.
CHERRY, J.P., KATTERMAN, F.R.H. y ENDRIZZI, J.E., (1969), "Comparative studies of seeds proteins of species of *Gossypium* by gel electrophoresis", Evolution, N°24, pp. 431-447.
F.A.O., (1980), "Recursos genéticos de especies arbóreas en las zonas áridas y semiáridas", IAO, IBPGR, Roma.
FELKER, P., (1979), "Mesquite, an all-purpose leguminous arid land tree" en RITCHIE, G.A. (Ed.) *New Agricultural Crops, American Association for the Advancement of Science*, Selected Simposium, N°38, Westview Press, Boulder, Colorado, pp. 89-132.
FONTDEVILA, A., (1987), "Taxonomía y especiación" en **Genética en Acuicultura**. J.Espinosa de los Monteros y U.Labarta (Eds.), pp.77-129.
GIANINETTO, I.B., CABRERA, J.L.,OBERTI, J.C., y JULIANI, H.R., (1975), "Flavonoids compounds of the genus *Prosopis* (Leguminosae)", Lloydia, N°38(3), p.265.
GIANINETTO, I.B., CABRERA, J.L., OBERTI, J.C. y JULIANI, H.R., (1976a.) "Flavonoids in genus *Prosopis* (Leguminosae) II", Phytochem, N° 15, p.1098.
GIANINETTO, I.B., CABRERA, J.L., OBERTI, J.C., y JULIANI., H.R. (1976b), "Flavonoids in genus *Prosopis* (Leguminosae) III", Phytochem, N°15, p.2027.
GITELLI, A.M., GIANINETTO, I.B., CABRERA, J.L., y JULIANI., H.R.., (1981), "Flavonoides en el género *Prosopis* (Leguminosae) IV", An. Asoc. Quím Arg, N°69, pp.33-36.
GITELLI, A.M., GIANINETTO, I.B., CABRERA, J.L., y JULIANI., H.R.., (1984), "Flavonoids in *Prosopis*. V", An. Asoc. Quím. Arg, N° 72(5), pp. 501-504.
GONZÁLEZ A., J.J., ARRIAGA MARTITEGUI, P. y FERNÁNDEZ-PERALTA, A.M., (1986), "Differentiation in the seed protein profiles of two closely related species of *Narcissus*.", Biochem. Syst. Ecol, N°14(6), pp. 657-659.
GRANT, V. (1981), **Plant Speciation**, Columbia Univ. Press., 2ª Edición, New York.
HABIT, M.A., (1981), "*Prosopis tamarugo*: arbusto forrajero para zonas áridas", Estudio F.A.O. Producción y protección vegetal.
HUNZIKER, J.H., POGGIO, L., NARANJO, C.A., PALACIOS, R.A. y ANDRADA, A.B., (1975), "Cytogenetics of some species and natural hybrids in *Prosopis* (Leguminosae), Can. J Genet. Cytol, N°17. pp. 253-262.
HUNZIKER, J.H., NARANJO, C. A., PALACIOS, R.A., y POGGIO, L., (1977), Cap. N°3, "Patterns of variation. Chromosomal cytology and hybridization" en **Mesquite. Its Biology in**

INFOR

Two Desert Scrub Ecosystems, B.B.Simpson (Ed.), Dowden, Hutchinson y Ross Inc., Stroudsburg Pennsylvania, pp.56-59.
HUNZIKER, J.H., SAIDMAN, B.O., NARANJO, C.A., PALACIOS, R.A., POGGIO, L. y BURGHARDT, A.D., (1986), "Hybridization and genetic variation of Argentine species of *Prosopis*", Forest Ecol. and Management,N°16, pp.301-315.
KARLIN, U. y DÍAZ, R., (1984) " Potencialidades y manejo de Algarrobos en árido subtropical argentino", SECYT.
LADIZINSKY, G. y HYMOWITZ, T., (1979), " Seed protein electrophoresis in taxonomic and evolutionary studies" (Review), Theor. Appl. Genet, N°54, pp.146-151.
LAMPREY, H. F., (1983), "Unesco's integrated project on arid land (IPAL): a silvopastoral approach" en HUXLEY, P. A. (Ed.) *Plant Research and Agroforestry*, Int. Counc. Res. Agroforestry, Nairobi, Kenya, pp.129-136.
MADRIÑAN POLO, C., HUNZIKER, J.H., y CATTANEO, P., (1976), "Aceites de semilla de especies de *Prosopis* y *Prosopidastrum* (Leguminosas)", An. Asoc. Quím Arg, N°64, pp. 127-138.
MARTÍNEZ, S., (1984), "Arquitectura foliar de las especies del género *Prosopis*", Darwiniana, N°25, pp.279-297.
MAYR, E., (1963), **Animal Species and Evolution**, Harvard University Press., Cambridge. Massachusetts.
MCNEILL, J., (1979), "The taxonomy and evolution of weeds", Weed Res, N°16, pp. 399-413.
MORELLO, J.H., CRUDELLI, N.E., y SARACENO, M., (1971), "Los Vinalares de Formosa (Rep. Arg.). La colonizadora leñosa *Prosopis ruscifolia* Gris", en La vegetación de la República Argentina, Serie Fitogeográfica N°11, INTA. Buenos Aires.
NARANJO, C.A.,POGGIO, L. y ENUS ZEIGER, S., (1984), "Phenol chromatography, morphology and cytogenetics in three species and natural hybrids of *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae)", Plant. Syst. Evol, N°144, pp. 257-276.
PALACIOS, R.A. y BRAVO, L. (1981), "Hibridación natural de *Prosopis* (Leguminosae) en la región chaqueña argentina. Evidencias morfológicas y cromatográficas", Darwiniana, N°23, pp.3-35.
PALACIOS, R.A., BRIZUELA, M.M., BURGHARDT,A.D., ZALLOCCHI, E.M. y MOM, M. P., (1990) "*Prosopis burkartii* and its possible hybrid origin", Bull Int. Group for the Study of Mimosoideae, N° 19, pp. 146-161.
PANDA, R.C., ANIEL KUMAR, O. y RAJA RAN, K.G., (1986), "The use of seed protein electrophoresis in the study of phylogenetic relationships in Chili pepper (*Capsicum* L.)", T.A.G., pp.665-670.
SAIDMAN, B.O., (1985), "Estudios de la variación alozímica en el género *Prosopis*.", **Tesis doctoral,** Fac. de Cs. Exactas y Nat., Universidad de Buenos Aires.
SAIDMAN, B.O., (1993), "Las isoenzimas en el estudio de la variación genética y las afinidades entre especies de *Prosopis* (Leguminosae)", Bol. Genet. Inst. Fitotéc, N°16, pp. 25-37.
SAIDMAN, B.O. y NARANJO, C.A., (1982), "Variaciones de esterasas en poblaciones de *Prosopis ruscifolia* (Leguminosae)", Mendeliana, N°5, pp, 61-70.

INFOR

SAIDMAN, B.O. y VILARDI, J.C. (1987), "Analysis of the genetic similarities among seven species of *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae)", Theor.Appl.Genet, N°75, pp.109-116.
SIMPSON, G.G., (1961), "Principles of animal taxonomy", Columbia University Press, en SMALL, E., *Systematics of biological systematics (or Taxonomy of Taxonomy)*, Taxon, N°38 (3), pp. 335-386.
SMITH, P.M., (1976), "Taxonomic usefulness of protein comparisons" en **The Chemotaxonomy of Plants**. Capítulo 10, pp. 128-152.
SOLBRIG, O.T. y BAWA, K.S., (1975), "Isozyme variation in species of *Prosopis* (Leguminosae).", J. Arnold Arb. Haw. Univ., N° 56, pp.398-412.
WHITMORE, D.H. y BRAGG, L.H., (1979), "Isozymal differentiation between two species of *Prosopis*.", Biochem. Syst. Ecol, N° 7, pp. 299-302.
ZALLOCCHI, E.M., (1988), "Quimiotaxonomía: síntesis de los marcadores fenólicos conocidos" en *Prosopis* en Argentina. Ed. UNC.UBA. FAO, pp. 96-105.

INFOR

COMPORTAMIENTO DE PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus cladocalyx* F. MUELL. DE 31 MESES DE EDAD. LOS VILOS, IV REGIÓN.

Patricio Parra S. [1] ; Patricio Chung G. [2]

RESUMEN

La aplicación de la mejora genética en las zonas áridas y semiáridas, utilizando especies del género *Eucalyptus*, permitiría la incorporación a la producción de terrenos con crecimientos marginales con aquellas que mejor se adapten a los distintos requerimientos ecológicos, bajo diferentes condiciones de clima y suelo. La selección de los mejores genotipos resistentes a la sequía en especies tales como *Eucalyptus cladocalyx*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus sideroxylon*, entre otras, permitirá a futuro incrementar los escasos recursos forestales que poseen estas zonas.

En 1993, el INFOR estableció en la IV Región, un ensayo de procedencias locales y australianas de semillas de *E. cladocalyx* a fin de determinar las de mejor adaptación y crecimiento. Además se complementó este ensayo con una procedencia de *E.camaldulensis* y otra de *E. sideroxylon*.

Las mejores procedencias de *Eucalyptus cladocalyx* resultaron ser las locales, pero las del sur de Australia, a pesar de presentar menores crecimientos, algunas poseen una sobrevivencia y desarrollo aceptables. Comparativamente entre especies, el mejor resultado en sobrevivencia y crecimiento se obtiene en el siguiente orden: *E. camaldulensis* de Lake Albacutya en Victoria, en seguida *E.cladocalyx* y, finalmente, *E.sideroxylon* de Longotoma. De las tres especies ensayadas, *E. cladocalyx* presenta los árboles con mejor forma ampliando las alternativas de uso de su madera.

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción del sitio

El área donde se ubica el ensayo corresponde a antigüas dunas que han sido colonizadas escasamente por pastos y arbustos naturales favorecidos por la alta humedad propio de la costa.

[1] Ingeniero Forestal, División Silvicultura, Instituto Forestal, INFOR, Santiago, Chile.
[2] Ingeniero Forestal (E), División Silvicultura, Instituto Forestal, INFOR, Santiago, Chile.

INFOR

El clima corresponde al tipo mediterráneo marino, al agroclima Los Vilos que se caracteriza por una temperatura media anual de 13,9 °C, con una máxima media del mes más cálido en febrero de 21,2 °C y una mínima media del mes más frío (julio) de 7,6 °C. El período libre de heladas es de 12 meses. La lluvia alcanza los 209 mm, siendo julio el mes más lluvioso, con 75 mm. La estación seca es de 7 meses, de octubre a abril. (INIA,1989).

Descripción de la especie

E. cladocalyx es una especie con los siguientes requerimientos: crece en suelos arenosos y gravosos, de profundidad moderada a delgada, de baja fertilidad, suelos neutros a ácidos y de tolerancia moderada a la salinidad (Prado,1989).

La especie posee una buena adaptación en la IV Región, con capacidad de tolerar períodos de sequía y reaccionar favorablemente ante el mejoramiento de las condiciones climáticas (Wrann *et al.*,1993). Crece en condiciones muy similares a *E. camaldulensis*. Presenta menores rendimientos, pero es más tolerante a la aridez y a los suelos de baja fertilidad (FAO, 1979).

E. cladocalyx tiene una distribución natural en un restringido rango de condiciones de suelo y clima, la mayoría de las procedencias se concentran en el estado de South Australia en tres regiones: la cadena meridional Flinders, la península Flinders y la isla Canguro (Hall, N. *et al.* 1970); a diferencia de *E. camaldulensis* que se encuentra en casi todos los estados australianos, menos en Tasmania (Prado *et al.*, 1986).

Procedencias en ensayo

En el Cuadro N°1 se describen las procedencias de *E. cladocalyx* y las especies *E. camaldulensis* (Lake Albacutya, Victoria) y *E. sideroxylon* (Longotoma) utilizadas en el ensayo .

Cuadro N°1: Procedencias en ensayo.

Proced.	Número de progenies	Lugar de origen		Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Precip . (mm)
1	1	NR Dubbo Airport	NSW	32°15'	148°36'	262	574
4	1	Wirrabarra	SA	33°02'	138°16'	400	483
5	1	Wilmington	SA	32°43'	138°04'	500	296
9	1	9 km.. S Wilmington PO	SA	32°45'	138°04'	550	296
10	4	Peñuela	Chile	33°11'	71°33'	250	170
14	5	Peralillo	Chile	31°43'	71°11'	380	65.9
19	2	Longotoma	Chile	32°24'	71°23'	58	94.2
33	2	E.sideroxylon (Longotoma)	Chile	32°24'	71°23'	58	94.2
34	1	*E. camaldulensis* (Lake Albacutya)	VIC	35°47'	141°49'	110	347

INFOR

Establecimiento del ensayo

El ensayo se estableció en julio de 1993 en el predio Agua Amarilla ubicado a 4 km de Los Vilos, cubriendo una superficie de 2 ha. aproximadamente y empleándose plantas de un año en tubetes de sección cuadrada de 89 cm^3. La preparación del suelo consistió en pasar un arado con 2 discos a 60 cm de profundidad en líneas separadas cada 3 m. Para tal efecto, se usó un tractor Ford 5000. La plantación se hizo a un espaciamiento de 3 m entre hileras y cada 2 m en la hilera. Posteriormente, se efectuaron 2 aplicaciones de riego en agosto y noviembre respectivamente, en dosis de 5 litros de agua por planta. Cabe señalar que aun cuando las especies ensayadas han sido seleccionadas para condiciones de secano, se requiere de riegos de establecimiento y riegos esporádicos en épocas críticas de sequía.

Previa aplicación del segundo riego se efectuó una fertilización a cada planta consistente en: superfosfato triple (50 gr.), urea (50 gr.), boronatrocalcita (20 gr.) y sulfato de potasio (30 gr.). Esta dosis se aplicó en círculo alrededor de la planta distante a 20 cm aproximadamente. La limpia del terreno se efectuó en forma manual.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de Bloques de Familias Compactas donde las familias agrupadas se distribuyeron al azar dentro de cada procedencia, en subparcelas de 4 árboles en línea. Cada procedencia cuenta con 10 repeticiones.

Mediciones

Los resultados corresponden a una evaluación a la edad de tres años (31 meses), midiendo a cada árbol la altura total (H) y diámetro a la altura del cuello (DAC). Con ello se determinó la sobrevivencia (S) y el índice de biomasa (D2H). Respecto de la forma de los árboles se consideró la rectitud y deformaciones de ellos .

Análisis estadístico

Con el objeto de verificar estadísticamente si existen diferencias en altura (H), diámetro a la altura del cuello (DAC) e índice de biomasa (D^2H) entre las procedencias, se sometieron los datos a análisis de varianza. Cuando existieron diferencias significativas, se empleó la prueba de Scheffe.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A objeto de comparar la sobrevivencia y el crecimiento de los diferentes orígenes de las semillas de *E. cladocalyx*, se agruparon las áreas de colección, conformando 4 procedencias de Australia, 3 lotes de semillas de procedencias locales y 2 especies alternativas típicas de zonas de secano: *E. camaldulensis* de Lake Albacutya, Victoria que ha mostrado un comportamiento superior y *E. sideroxylon* procedente de Longotoma.

INFOR

Especies

A nivel de especies el mejor desarrollo en volumen, la presenta *E. camaldulensis* procedente de Lake Albacutya en Victoria, la cual supera en crecimiento a todas las procedencias de *E. cladocalyx* y a *E. sideroxylon* en 53 % y 72 % respectivamente. (Cuadro N°2). Respecto a la supervivencia, los mayores valores se obtuvieron para *E. camaldulensis* y *E. sideroxylon*. Cabe destacar que la procedencia de *E. camaldulensis* ha tenido una comprobada adaptación y crecimiento muy superior a otras procedencias en diferentes zonas de secano en nuestro país (Barros, 1988). En el caso de *E. sideroxylon*, si bien el crecimiento es lento, presenta un buena adaptabilidad en estas zonas. En cambio, *E. cladocalyx* presenta un gran porcentaje de individuos con buen crecimiento en su lugar de origen, pero que no han podido responder a las exigencias de un clima riguroso como son las zonas áridas de nuestro país (Figura N° 1).

Respecto a la forma de los árboles, *E. cladocalyx* es superior a las otras especies obteniendo alrededor de 45 % de árboles con ligeras curvaturas. Esta característica le permite una mayor diversidad en el uso de su madera. En cambio, *E. camaldulensis* y *E. sideroxylon* poseen solamente un 38 % y un 5 % de los árboles respectivamente. El resto de los árboles se caracterizan por tener el fuste con deformaciones de doble y multiflecha que limitan su uso (Cuadro N°3) .

Cuadro N°2: Especies en ensayo

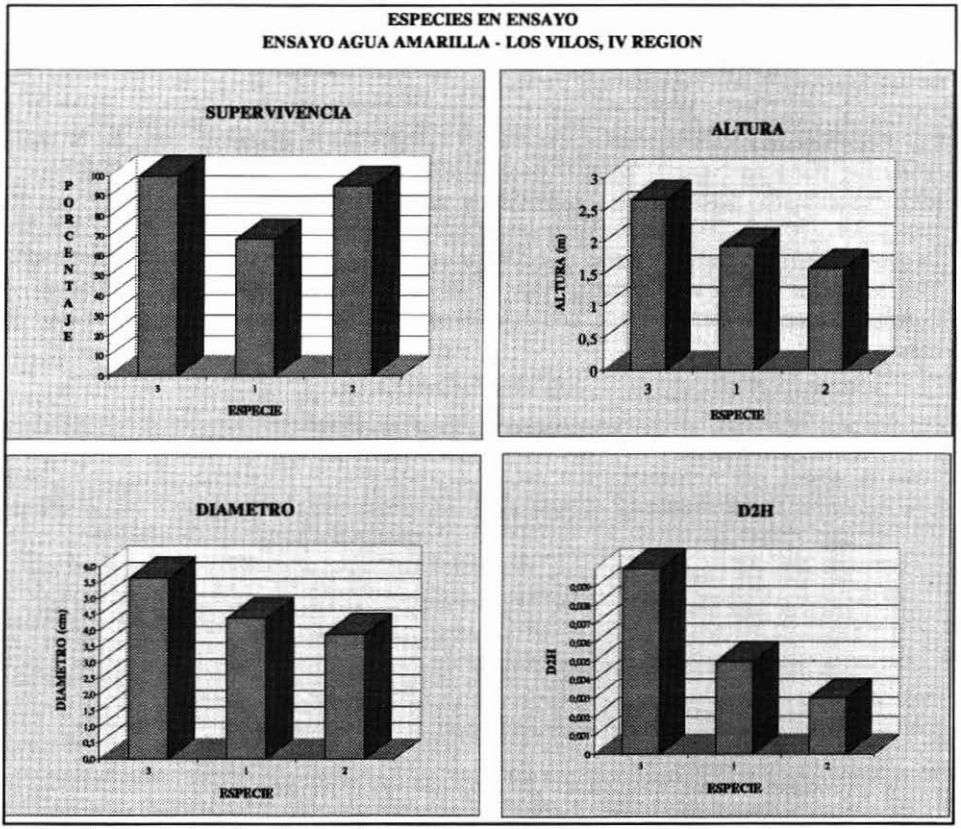
Especie	Altura (m)	Scheffe (1)	Diámetro (cm)	Scheffe (1)	D^2H (m3)	Scheffe (1)	Super-vivencia (%)
E. camaldulensis	2.67	a	5.66	a	0.009859	a	100.00
E. cladocalyx	1.93	b	4.40	b	0.004661	b	68.28
E. sideroxylon	1.59	c	3.90	b	0.002771	c	95.00

(1) Letras diferentes indican diferencias significativas entre especies

Cuadro N°3: Clasificación de forma según especie

Especie	Ligeramente curvo	Curvo
E. cladocalyx (Peñuela)	45,2	54,8
E.sideroxylon (Longotoma)	5	95
E. camaldulensis(Lake Albacutya)	38	62

INFOR



1. *Eucalyptus cladocalyx*; 2. *Eucalyptus sideroxylon*; 3. *Eucalyptus camaldulensis*

Figura N°1: Crecimiento de *Eucalyptus cladocalyx, Eucalyptus sideroxylon y Eucalyptus camaldulensis* en predio Agua Amarilla, los Vilos IV región.

Procedencias de *Eucalyptus cladocalyx*

Los resultados a la edad de 31 meses indican diferencias significativas entre las procedencias de *E. cladocalyx* para las variables analizadas altura (H), diámetro (DAC) e índice de biomasa (D^2H).

La variabilidad existente entre las procedencias de *E. cladocalyx* se refleja en su diferente estado de desarrollo.

INFOR

Los resultados más promisorios en este ensayo, corresponden a las procedencias locales de mejor supervivencia y crecimiento que las procedencias australianas, reflejando la ganancia de una adaptación previa (Figura N°2).

Las procedencias locales Peñuelas, Peralillo y Longotoma se destacan como las de mejor desarrollo y sobrevivencia. Entre la procedencias australianas Wirrabarra de SA tiene el mayor crecimiento pero con una sobrevivencia mediocre (Cuadro N°4).

La procedencia NR Dubbo Airport de NSW presentó el menor crecimiento y sobrevivencia. Esta situación podría explicarse porque es una procedencia que se aleja del rango de distribución natural de la especie, con condiciones de clima más benignas que el sitio del ensayo.

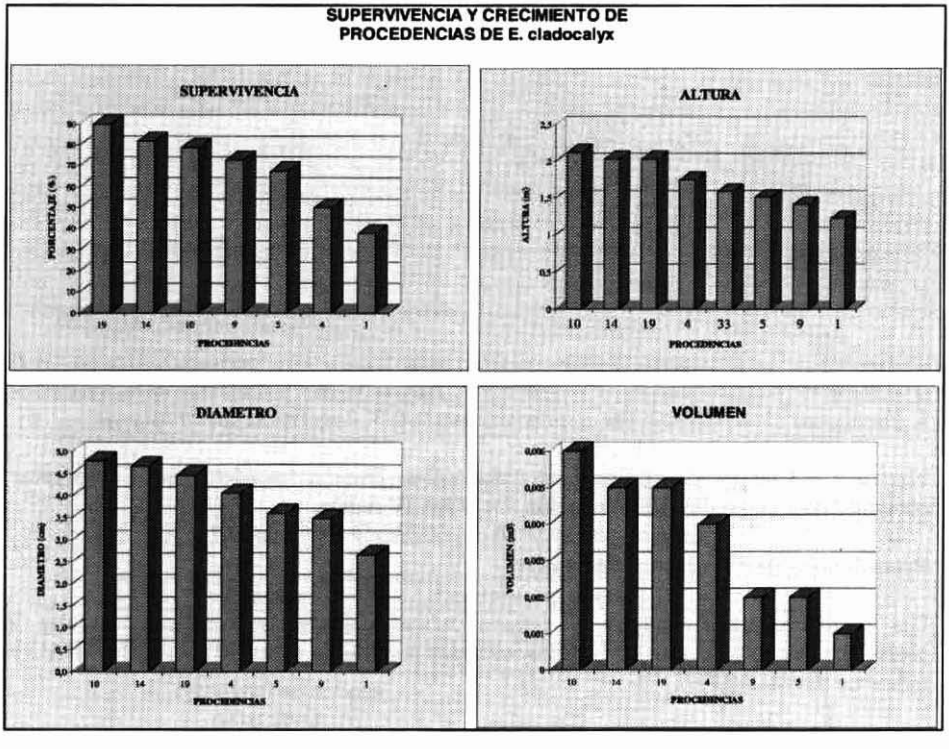


Figura N°2: Supervivencia y Crecimiento de procedencias de *E. cladocalyx*

INFOR

Cuadro N° 4: Procedencias de *Eucalyptus cladocalyx*

N° Proc.	Procedencia	Supervivencia (%)	Altura (m)	Scheffe (1)	Diámetro (cm)	Scheffe (1)	D^2H (cm3)	Scheffe (1)
1	NR Dubbo Air	37.5	1.22	c	2.66	b	0.0012	b
4	Wirrabarra	50.0	1.75	a b	4.05	a	0.0035	a b
5	Wilmington	67.5	1.51	a b c	3.61	a b	0.0022	a b
9	9 km.Wilmington	72.5	1.41	b c	3.48	a b	0.0023	a b
10	Peñuela	78.8	2.12	a	4.79	a	0.0057	a
14	Peralillo	81.7	2.03	a	4.67	a	0.0053	a
19	Longotoma	90.0	2.03	a b	4.47	a	0.0048	a

(1) Letras diferentes indican diferencias significativas entre procedencias

CONCLUSIONES

Los resultados del ensayo de *Eucalyptus cladocalyx*, al cabo de 31 meses de la plantación, marcan el comportamiento y la tendencia de las procedencias a una mayor o menor adaptabilidad a sitios áridos. La variabilidad genética de esta característica, está en función de la procedencia u origen de las semillas.

Todas las procedencias de *E. cladocalyx* ensayadas son superadas en crecimiento y supervivencia por *E.camaldulensis* de Lake Albacutya. Sin embargo, *E. cladocalyx* posee una mejor forma en comparación a *E. camaldulensis* y *E. sideroxylon*, confiriéndole la ventaja de ampliar las alternativas de uso de su madera.

En este ensayo, *E. cladocalyx* es una especie que presenta grandes diferencias de crecimiento de acuerdo al origen de las semillas y así lo refleja el análisis estadístico con diferencias significativas en biomasa (D^2H) entre las procedencias locales, del Sur de Australia (SA) y de Nueva Gales del Sur (NSW) .

Las procedencias locales Peñuelas, Peralillo y Longotoma muestran un comportamiento superior en crecimiento que las procedencias australianas. Este resultado demuestra por la gran adaptabilidad de las procedencias locales a las condiciones limitadas de precipitaciones, imperantes en el lugar del ensayo.

Para el éxito de la forestación con *E. cladocalyx* es fundamental emplear técnicas intensivas de establecimiento y las procedencias adecuadas con capacidad de adaptación a estos sitios permitiendo la obtención de ciertos productos. En este caso, las procedencias locales constituyen una buena fuente de semilla para la zona costera de la IV Región.

Es necesario establecer nuevos ensayos de *E. cladocalyx* en la IV Región, ampliando la base genética de las procedencias superiores en crecimiento.

INFOR

BIBLIOGRAFÍA

BARROS, (1988), "Adaptación de diversas procedencias de *E. camaldulensis* y E. globulus en la zona semiárida chilena", Actas, *Simposio Manejo Silvícola del Género Eucalyptus*, Viña del Mar, Chile, pp. 40-70.

FAO, (1979), "Eucalyptus for Planting", FAO Forestry Series , N°11, Roma.

HALL, N, JOHNSTON, R and CHIPPENDALE, G, (1970), **Forest Trees of Australia**, Department of National Develoment Forestry and Timber Bureau, Australian Goverment Publishing Service, 333 págs.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA), (1989), Mapa Agroclimático de Chile, Santiago, 221 págs.

PRADO, J.A. y BARROS, S., (1989), **Eucalyptus. Principios de Silvicultura y Manejo**. Santiago, Chile, INFOR-CORFO, 199 págs.

PRADO, J.A., BARROS, S, WRANN, J , ROJAS , P, BARROS, D y AGUIRRE, S., (1986), **Especies forestales exóticas de Interés económico para Chile**, INFOR. CORFO. 168 págs.

WRANN, J; ANDRADE, F; ALVEAR, C., (1993), "Técnicas de Establecimiento para *E. cladocalyx* y *E. camaldulensis* en la zona árida y semiárida de Chile", Actas, *Simposio Los eucaliptos en el desarrollo Forestal de Chile*, Pucón, Chile, pp.417-438.

INFOR

SELECTION AND BREEDING STRATEGIES: FOR *Eucalyptus camaldulensis*

B.R.T. Seward [1]

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to offer my sincere thanks to Dr. Richard Barnes of the Oxford Forestry Institute for allowing me to draw extensively on the Multiple Population Breeding Strategy concept and programme which was adopted in Zimbabwe as a result of his recommendations and implemented under his guidance. I am also most grateful to Mr. Lyn Mullin, former manager of the R & D Division of the Forestry Commission for his assistance and advice in the preparation of this paper. Finally, I would like to express my appreciation to Dr. Shumba, Manager of the R & D Division of the Forestry Commission, and to the members of his staff who have assisted me in many ways.

SUMMARY

Whether breeding for single or multiple species, cumulative gains in conventional tree improvement programmes can be slow and inflexible processes. Strategies that accelerate these processes within acceptable genetic parameters are highly desirable, enabling breeders and policy makers to respond more effectively and timeously to ever changing criteria. A multiple population Breeding strategy (MPBS), conceived by Nankoong *et al.* in 1980 and developed by Barnes in 1981 for the tree breeding programme in Zimbabwe, has been in operation for the past four fourteen years. Reviews were undertaken at five and thirteen years, where some notable gains within a reduced time frame has been recorded an certain shortcomings identified. Following the thirteen years review, an extension of the MPBS concept, which has been termed the Composite Breeding Seed Orchard (CBSO), has been recommended. The MPBS is reviewed in terms of the Zimbabwe experience, where the concept, implementation, practical application and conclusions based on the experience gained over the past fourteen years, are discussed in the context of its potential application to a breeding programme for ***Eucalyptus camaldulensis*** in certain areas of Chile.

[1] Forestry Consult 10, Hilary Rd
Mt. Pleasant HARARE, ZIMBABWE.

INFOR

INTRODUCTION

Background to breeding

Because indigenous tree species regenerate naturally in, and are therefore well adapted to their specific environments through natural selection and survival processes, breeding of them, with few notable exceptions, has generally received low priority in their countries of origin. This phenomenon largely explains why tree breeding, which requires artificial establishment among other manipulative initiatives, has mainly bee confined to species in exotic situations. In their indigenous state, most species contain considerable genetic variation both within and between provenances, - assuming over exploitation or human encroachment have not taken their toll. Recognition and use of genetic variation is of paramount importance in any breeding programme.

OBJECTIVES OF BREEDING

The objectives of breeding are to use as much as possible of the available variation in a crop to best advantage, i.e. to produce strains best suited for end-use purposes in specific environments. Agricultural crop scientists have for some time recognized that significant micro, in addition to the broader macro variations in climate and edaphic factors, require the development of strains or crop varieties best suited to specific sites if adaptability and productivity are be maximized over a wider range of variables. Until recently, tree breeders have lagged behind their agricultural counterparts in developing similar strategies to capitalize on productivity and end-use potentials of tree species grown over a wide range of site differentials, as exemplified by a single breeding population for each species. The exent to which maximum potentials for any given species can be achieved depends on : the acquisition of the right material; knowledge of variation and its control; an ability to sort out and recombine genes and, produce propagules. Providing sound genetic principles are applied to this strategy, completely new gene combinations can be constructed by the breeder, where the resulting genotypes produced over many generations may eventually bear little resemblance in either form or economic value, to their original wild progenitors.

BREEDING STRATEGIES

Genetic improvement strategies in conventional breeding programs are characterized by single breeding populations for each species, where the hierarchy of sequential testing, selecting and finally seed production, are generally protracted and inflexible processes. As these programs develop and expand through increases in both breeding material and greater inter and intra species site coverage requirements, their management and control becomes correspondingly more complex and cumbersome, placing additional strains on resources.

INFOR

Some of the principle shortcomings for the breeder in conventional programs have been identified as:-

(a) how to aim for rapid short term advance without the risk of inbreeding or loss of genetic variation with the attendant recovery problems arising there form;
(b) how to integrate a regular inflow of new and potentially valuable species, provenances, families and clonal material into the breeding program;
(c) how to preserve and use genetic variation to increase productivity ;
(d) how to manage the breeding population whereby it retains the potential to respond to unpredictable future demands;
(e) how to exploit the increasingly evident genotype-environment interaction.

The above drawbacks among others, to the conventional breeding program in Zimbabwe that had been in operation for 23 years, were highlighted at review in 1981. Recommendations were then made for the adoption of a Multiple Population Breeding Strategy (MPBS) (Barnes, 1981). It was foreseen that most of the problems currently being experienced with the conventional program would be overcome. These were:-

(a) it would be more compatible with breeding multiple species;
(b) as long-term pedigree control would be inherent at the population in addition to the individual tree level, record population would be greatly simplified;
(c) short-term advances could be maximized by the breeder in the knowledge that he could overcome inbreeding or regenerate variation at any time by crossing between populations;
(d) new material could be readily incorporated as new sub-populations until they could contribute to improved seed production;
(e) it permits genetic variation to be preserved an enhanced in the sub-populations indefinitely, which could be passed on both in space and in time;
(f) it would allow genotype-environment interaction (gei) to be used and developed to increase production by planting diverse populations on diverse sites instead of planting all material over all sites to test for stability.

THE MULTIPLE POPULATION BREEDING STRATEGY

Concept

In the MPBS, the breeding populations from a single species are kept separate in order to produce trees with different gene complexes (Namkoong *et al.*, 1980). The object is to maintain or create genetic diversity between these sub-populations while concomitantly applying heavy selection pressures within them Diversity will occur between the sub-population, grown in the same frequencies. By creating and maintaining genetic diversity between sub-populations, variation can be reinstated, inbreeding depression overcome and new populations with specific attributes created by crossing between sub-populations with

INFOR

specific attributes created by crossing between sub-populations, while undesirable or superfluous populations can be dropped at any time (Barnes, 1990). There are three types of multiple population breeding, namely:-

(1) Replicate populations (Baker and Curnow, 1969), where independent sub-populations are bred for the same trait and adaptability objectives, and elements of each are brought together for commercial seed production to ensure out-crossing;

(2) Diversified populations (Namkoong, 1976) where existing differences are used or new differences created by selecting for different traits and/or different environments, and commercial seed production occurs within sub-populations for specific purposes and/or environments;

(3) Heterotic populations where both additive and heterotic gene effects are used through hybrid or reciprocal recurrent selection in the different sub-populations, and heterosis is exploited in commercial seed production by crossing between specific sub-populations (Namkoong, 1984).

For the purposes of the MPBS concept, and its application in Zimbabwe, focus will only be given to **Diversified populations.**

A pivotal and essential component of the MPBS is the Breeding Seed Orchard (BSO) (Barnes, 1981). It combines the costly and protracted processes of separate breeding, testing, selection and seed production populations in conventional breeding programmes, into a single, multi-functional operation. BSOs are planted at high densities where they are selectively and progressively thinned using genetic information until only the seed producers remain, from which, the founder members of the next generation are separate functions of conventional breeding programmes without some compromise to each, the alternatives have their own constraints. These are working with far fewer individuals, populations and/or species, thereby reducing the spread of the genetic base and the selection potencials at all these levels.

Implementation

The initial creation of sub-populations within a species from either existing, or potential breeding material, should be made with the aim of establishing or retaining genetic diversity between them, providing each population so created does contain al least some useful genes. Different provenances, both natural and exotic, together with local material if it exists, should be established as separate populations, where appropriate breeding levels for each (population) can be made relative to its importance and end-use objectives. If evidence of **gei** has already become manifest in an existing breeding programmes, this too should be exploited in the creation of sub-populations. Sub-populations can be created or retained to preserve genes for a single trait such as volume, straightness, calorific values, insect or disease resistance, drought resistance, coppicing ability or site specificity/plasticity

INFOR

(**gei**). Breeding for one or two traits can result in rapid, first generation advances, thereafter gains although slower, are achieved through the combination and recombination of genes giving rise to other desirable attributes. These combination processes are facilitated in the MPBS through creating additional sub-populations, while keeping the initial sub-populations intact, thereby enabling inbreeding depression and genetic erosion to be addressed should the need arise.

The MPBS programme also permits greater flexibility in the levels of breeding, alluded to earlier, and can be tailored to priorities.
These are:-

[A] Simple, involving mass selections with no pedigree control;
[B] Intermediate, half-sib female parent pedigree control;
[C] Intensive, full sib male and female parent pedigree control.

A detailed description of each is given hereunder:

[A] SIMPLE
Seed parent: Phenotypic selection
Pollen parent: Many unknown, unselected
Pollination: Open
Breeding seedling orchard: No family identities
Advanced generation selection male and female unknown. Phenotipic selection
Breeding methods: Recurrent mass selection
Relative approximate gain per cycle of selection: 4x *

[B] INTERMEDIATE
Seed parent: Phenotypic selection
Pollen parent: Many unknown, unselected or, >1 group known, selected
Pollination: Open or, controlled isolated
Breeding seedling orchard: Half-sib families identified
Advanced generation selection: female known and male male unknown or, female known and malegroup known. Genotypic and phenotipic selection
Breeding methods: Recurrent half-sib selection for **gca**
Relative approximate gain per cycle of selection: 5x *

[C] INTENSIVE
Seed parent: Phenotypic selection
Pollen parent: One probably known selected or, one known selected
Pollination: Control unisolated or, controlled isolated
Breeding seedling orchard: Full sib families identified
Advanced generation selection: female known and male probably known or, female known and male known. Genotypic and phenotipic selection

INFOR

Breeding methods: Recurrent full-sib selection for **gca**
Relative approximate gain per cycle of selection: 6x *

* These are only approximations based on comparative estimates made for *Pinus radiata* (Shelbourne, 1969), when individual tree hetitability is about 0.2.
x= % gain expected from collection of open pollinated seed from selected trees in an unimproved base population. The comparative gain from a managed thinned seed stand in such a population would be 2x.

As the amount of genetic information generated increases with greater pedigree control, so too do the gains per selection cycle increase. BSOs therefore can vary from being simple and small to large and complex depending on a number of value and objective factors. It has great flexibility in function, size and design, all of which can be used to maximum advantage (Barnes, 1990).

Practical application

General

Periodic reviews of the MPBS programme in Zimbabwe have taken place during the past 14 years of its application. Of significance were those documented in the Five Years Results (Barnes and Mullin, 1988) and again at 13 years in the Review of The Tree Breeding Programme of The Zimbabwe Forestry Commission (Arnold and White, 1994) and, The Composite Breeding Seedling Orchard (Barnes, White, Nyoka, John and Pswarayi, 1994). The practical experiences gained over this period and the recommendations made resulting from them, should provide useful guidelines for its application elsewhere. Five years after commencement there were 23 species,- mainly pine and eucalypt, in the breeding programme, with sub-populations ranging from 1 to 20 for any single species. 63 BSOs had been established, where the environmental and mating designs within them varied with the level of breeding, i.e. simple, intermediate and intensive. All were established at close spacing to increase selection differentials. Conflicts, predicted in the multi-functional objectives of BSOs, manifested themselves in designing and managing them for:-

(i) maintaining their capacity to provide unbiased genetic information;
(ii) providing a selection base;
(iii) preserving the best genotypes;
(iv) ensuring that these genotypes realize their potencial for seed production;
(v) remain practically manageable.

Specific

A number of key factors were identified as playing and important role in the areas of conflict, which were:-

(a) the avoidance of the effects of inbreeding
(b) the necessity of having high general combining ability (**gca**)
(c) the problems of specific combining ability (**sca**)
(d) the importance of juvenile-adult correlations and efficient early selections
(e) the effects of early thinning on heritability estimates
(f) the need for genetic checks
(g) periodicity of flowering
(h) the timing of thinnings
(i) management and the environmental design
(j) the need for insolation of BSOs

A more detailed examination of these factors is given hereunder:-

(a) The avoidance of the effects of inbreeding

There are two levels at which inbreeding can be a problem, viz

(1) they can occur both in the breeding and operation populations from having too many related families in the BSO;
(2) they can occur in the operational plantation if there is too much in-family crossing in the BSO despite wide genetic diversity between families.

The chances of (1) occurring will be far greater if the genetic base is too small initially or, if there is a heavy selection of families between (successive) generations.

(1) Although the MPBS provides for an escape from inbreeding by facilitating crossing between populations, it is highly desirable to delay inbreeding as long as possible without unduly prejudicing the potencial to make large gains through heavy selection. Of current interest is encouraging evidence to suggest that less inbreeding depression will be found among families produced from parents with high **gca** (Lindgren, 1986).

There is also a belief that, provided there are as many families to select from as there were parents in the previous generation, and that each of those parents is equally represented among the founders of the next generation, inbreeding depression can be staved off for many generations (Namkoong, unpublished). While this has between-family implications, heavy selection pressures can nevertheless be applied within-families. At the intensive breeding population level in the Zimbabwe programme, circular mating designs are being used to produce as many families as there are parents. It is aimed at achieving a high rate of

INFOR

gain over a number of generations without incurring rapid inbreeding depression, which is of particular importance in populations that started with a small number of parents with proven high **gca.**

(2) If an environmental design other than single tree plots is used, there is a danger that a high proportion of seed produced before this stage is reached, would be from related crossings. If seed collections are to be made early in precocious species, reductions in plot size to single trees should be synchronized with the commencement (initiation of the flowering stage) of seed production.

(b) The necessity of having high general combining ability (gca)

The BSO concept in the MPBS will only work if there is high **gca** for the traits of interest in the species concerned. Indications are that this mode of genetic control is prevalent for almost the entire quantitative metric traits of interest in both pine and eucalypts being bred in Zimbabwe, where the main evidence so far comes from the pine progeny tests.

(c) The problems of specific combining ability (sca)

While it appears that most traits of interest are under **gca** control, some measurements from the *P. patula* progeny tests indicate that there could be **sca** effects in metric characters. In one small test, three out of six families produced by controlled pollination between plus tree parents, showed significant 3:1 segregation ratios of large:small trees (Barnes *et al.*, 1987). It seems that variations in diameter in this particular population, was largely controlled by single locus with slow recessive to fast growth.

The presence of such genes could adversely affect advance with breeding strategies on recurrent selection for **gca** as is the case with this MPBS. This observation highlights the importance of using mating designs that can detect **sca**, and making sure that all the trees in the plots, including runts, are included in assessments and analysis of data.

(d) The importance of juvenile-adult correlations and efficient early selections

Limitations in the size of BSOs required both for testing and seed production purposes, require high initial plant populations to achieve effective selection differentials when progressive thinnings that finally leave only the seed producers and founders for the next generation, are undertaken. Early thinnings usually have to be carried out before normal crown development takes place, and to be effective, selection must be:

(i) carried out with precision at each thinning, and
(ii) there must be good juvenile-adult correlations.

Selection in juvenile trees is crucial, and has to be done by judgement rather than index. There is a need to hold a number of traits in mind, while at the same time, projecting the

INFOR

development of juvenile trees. With training and experience, effective selections can be made;- poor selection practices in early thinnings can jeopardise all advance.

Observations and data in many pine and eucalypt trials in Zimbabwe indicate strong, and no serious adverse correlations that are likely to result in undesireable correlated response between traits at the same age. In *P. patula* progeny tests, there are some strong favourable juvenile-adult correlations between economically important growth, morphological and wood density traits at two and five, two and eight and five and eight years. At eight years, the major portion of the commercially valuable bole has been formed, and BSOs must be thinned down to the final seed producers/next generation founders, by this age.

(e) The effects of selective thinning on heritability estimates

The BSO rationale requires that selective and not systematic thinnings be undertaken, which could introduce a bias into estimates of genetic variance, leading in turn to less precise selection at the family **gca** is most important in selection can be genotypically based:- selection within families is still only phenotypic. Once the final thinning has reduce the number of trees to one per plot, the family information may be used to make the final selections, prefably using the **gca´s** estimated from de thinned plots.

Experiments were carried out and results obtained from early polycross progeny tests to compare the effects on heritability estimates of selective and systematic thinnings. The methodology used was to establish six replications of 10-trees plots, in two tests, covering two environments. Three replications in each test were selectively thinned while the other three were systematically thinned. Neither the thinning itself or the type of thinning had much effect on the size of the estimates of heritability for height or diameter. These results were unexpected, as it was thought that there would be some inflation of the estimate in the selectively thinned replications, especially if **sca´s** were present. It nevertheless augurs well as far as the prospects for accurate family selection using **gca´s** are concerned.

(f) The need for genetic checks

Performance of the components in each sub-population need to be monitored in order to:-

(i) detect the onset of inbreeding effects
(ii) compare performances between sub-populations
(iii) assess rates of gain
(iv) provide comparative estimates on seasonal effects.

Because sub-populations are, by intention, not planted on the same site, it is essential to include the same genetic checks for each species in very BSO, where they function as "common denominators". To make the performance of genetic checks as consistant as posssible over time and site, they should ideally be full-sib families or a number of full-sib

INFOR

families that individually or collectively perform well over a range of environments in which the species is grown.

Ideally, genetic checks should be planted and treated as additional families in the BSO. The retention of all remaining representatives of them by the time seed is being produced, will largely depend on whether they are outstanding general combiners. Should this be the case, they could remain and contribute beneficially, through the inclusion or their seed, to the objectives of the BSO.

(g) Periodicity of flowering

Because asynchronous flowering within a BSO will be detrimental to effective parental representation of that sub-population in the production of operational seed, it is important that flowering periodicity studies be undertaken, prefably before the composition of the BSO takes place. Extensive flowering periodicity studies within the pine breeding programme in Zimbabwe have revealed marked periodicity differences between individual trees within a population, which are divergent enough to make natural crossings between some parents, only sporadic. Of greater relevance however, are flowering periodicity studies made in provenances of ***Eucalyptus camaldulensis*** in Zimbabwe (Mullin and Pswarayi, 1990). Studies made over a 10 year period in unreplicated plots of 33 widely distributed natural and 4 exotic provenances of ***E. camaldulensis*** at one site in Zimbabwe, showed markedly different periodicity patterns between provenances. The main provenance groups fell into 10 fairly easily defined regions in Australia, and their flowering peaks generally occurred at some time between June and September, but some groups flowered uniformly throughout the year. Other anomalous periodicity patterns were surmised as being the result of too few parent trees in certain provenences. Apparent hybrid influences were noted in one natural and two exotic provenances. The probable origin of the other exotic provenance (Mtao and Morocco) was suggested by the similarity of their periodicity patterns to those of seed collected form South Australia and Western Victoria. Year-round flowering in some provenances, and the duration and peaks in others, were considered to have important management implications for ***E. camaldulensis*** breeding programmes.

(h) The timing of thinnings

A convergence of objectives con pose problems when thinnings have to be undertaken in fast growing trees established at close initial spacing in BSOs. A critical balance has to be struck between the objectives of:

(i) affording high selection differentials by close initial spacing
(ii) allowing sufficient whole tree development to take place between thinnings to permit meaningful measurements/assessments to be undertaken
(iii) not jeopardising crown development for seed production purposes.

INFOR

The timing of thinnings can be critical, especially in pines, and they have been found to be one of the most onerous and demanding of tasks in the MPBS program. Fortunately the situation in the seedling rotation can be prejudiced by delayed thinnings, the selected seed producers in the coppice rotations have ample space for crown development.

(i) Management and the environmental design

Replicated designs with non-contiguous plots, or any other form of single tree plots designs would be costly to lay out at the high initial stockings used. They also impose practical difficulties in keeping track of identities at irregular spacing once thinnings have commenced, where progressive thinnings of families to equal numbers of trees would be far too cumbersome and impractical to manage. In Zimbabwe, 36-tree square plots at an initial spacing of 1.5 x 1.5 m. Giving a stocking of 123 trees/ha after final thinning to one tree per plot without any family removals, have been used. While this spacing allows a theoretical average of 9 meters between trees, and is acceptable for seed production purposes in tropical pines up to about eight years of age, square plots of 36 trees have been found problematical to work with in the field. Labelling is difficult, and plot boundaries are difficult to discern once the third or fourth 50% thinnings have been carried out. Experience to date indicates that line plots would be much easier to manage, where variations in line plot designs for 36-tree plots could include 2 rows x 18 trees, 3 rows x 12 trees in addition to a single row of 36 trees. Any seed collections before plots are reduced to a single tree, will always carry some risk of related parents from within the line layouts.

(j) The need for insolation of BSOs

Although not so critical for BSOs of different generations in a given sub-populations in a species, BSOs need to be established far enough apart to avoid unplanned gene transfer between them. If significant differences in flowering periodicity between say provenences of a species have been established, appropriate separation becomes less critical. Risk of unwanted pollen contamination from outside sources should likewise be considered and minimized in the siting of BSOs. In the case of the simple and even the intermediate levels of breeding where there is no control over the male parent in the founders of each generation, there is a possibility that some of the half-sib relatives may have stray male parents. However, as severe selection criteria are used in the early thinnings of BSOs, progenies of poor stray parents would almost certainly be removed, whereas if the stray parent was good, it could be of benefit to the sub-population. At the intensive breeding level, where half-sib families are the founders of the next generation, outside contamination is not a factor as progenies are produced by controlled pollinations between selected individuals.

INFOR