

13 JUN 1985 c. 4

FO: DP/CHI/83/017

DOCUMENTO DE TRABAJO N° 1

INVESTIGACION Y DESARROLLO DE AREAS SILVESTRES
ZONAS ARIDAS Y SEMI-ARIDAS

CORPORACION NACIONAL FORESTAL
ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENETICO

EN *Prosopis tamarugo* y *Prosopis chilensis*



JOSE ALBERTO PARDOS

Diciembre 1984
SANTIAGO - CHILE

PROLOGO

Una de las actividades contempladas en el Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 "Investigación y Desarrollo de Areas Silvestres en Zonas Aridas y Semiáridas", es establecer estudios para el mejoramiento genético de las dos especies forestales más importantes del género Prosopis que crecen en zonas áridas y semiáridas de Chile.

Debido a la breve duración del Proyecto CHI/83/017, diseñado para funcionar por tres años, su contribución a un programa de largo plazo de mejoramiento genético podrá incluir solamente la iniciación de las actividades de terreno, quedando la continuación del programa bajo tuición de la Corporación Nacional Forestal y de Protección de Recursos Naturales Renovables (CONAF).

El presente documento, titulado: "Un programa de mejoramiento genético en Prosopis tamarugo y Prosopis chilensis", se refiere al establecimiento de las líneas generales de un programa de largo alcance sobre mejoramiento genético en tamarugo (Prosopis tamarugo) y algarrobo (Prosopis chilensis).

El documento es el resultado de la consultoría realizada por don José Alberto Pardos Carrión, Doctor Ingeniero de Montes y Catedrático Universitario en Anatomía-Fisiología y Genética en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid, durante su visita a Chile en septiembre de 1984.

El Proyecto CHI/83/017 agradece sinceramente al Dr. Pardos por la calidad del trabajo elaborado.



JAIME LATORRE ALONSO
DIRECTOR

PROLOGO

RESUMEN/SUMMARY

1.	INTRODUCCION	1
2.	OBJETIVOS	5
3.	ACTIVIDADES IMPLICADAS EN LA REALIZACION DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS	7
3.1	Delimitación de zonas con ecología diferente	7
3.2	Definición de criterios de selección en función de las características que se pretenden mejorar	8
3.3	Selección de fenotipos sobresalientes	12
3.4	Desarrollo de métodos de propagación vegetativa	14
3.5	Instalación de huertos semilleros clonales	15
3.6	Establecimiento de ensayos de la progenie de los fenotipos seleccionados	17
3.7	Establecimiento de ensayos de progenie con las familias de la primera generación del huerto clonal y selección de genotipos élite	17
3.8	Análisis de la mejora de caracteres no considerados en la primera selección	18
3.9	Instalación de huertos de segunda generación y realización de polinizaciones controladas	18
3.10	Conservación de la diversidad genética	19
3.11	Realización de hibridaciones interprocedencias e interespecíficas dentro del género	19
3.12	Investigaciones sobre el status hídrico de ambas especies	20
3.13	Experimentación sobre determinados tratamientos silviculturales	20
3.14	Investigaciones sobre su nutrición mineral	21
3.15	Investigación sobre la capacidad fijadora de nitrógeno .	21
4.	PROGRAMACION DE LAS ACTIVIDADES	22
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	24

RESUMEN

El presente documento entrega las líneas generales de un programa de largo plazo, sobre mejoramiento genético de especies nativas chilenas del género Prosopis, con especial énfasis en las dos especies forestales más importantes del género que existen en Chile: tamarugo (Prosopis tamarugo) y algarrobo (Prosopis chilensis), para obtener genotipos con alto grado de resistencia a las duras condiciones del medio ambiente en que se desarrollan y, a la vez, lograr las mayores productividades posibles.

SUMMARY

The document presents the general structure of a long range programme for the genetic improvement of the native chilean species of the genus Prosopis, with special attention to the two most important: tamarugo (Prosopis tamarugo) and algarrobo (Prosopis chilensis). The objective of such a programme is to obtain genotypes with high resistance to the harsh environmental conditions in which the species are found and, at the same time, achieve the greatest possible productivity.

1. INTRODUCCION

Las zonas áridas y semiáridas requieren para su gestión una especial atención por parte de técnicos y científicos, dada la fragilidad de los ecosistemas que soportan, caracterizados por una vegetación escasa, cuando presente, y cuyas manifestaciones arbóreas y arbustivas han sido objeto en tiempos pasados de un abusivo aprovechamiento; pero que, debidamente ordenado, debe intensificarse, dada su importancia vital para las comunidades humanas que las habitan (NAS, 1980).

En Chile existe una superficie superior a 200.000 ha, extendidas por las regiones I (de Tarapacá), II (de Antofagasta) y III (de Atacama), en el norte del país, las cuales integran, a su vez, una zona costera y una altiplanicie en la depresión central, entre la cordillera andina y la costera, con más de 170.000 ha entre los 300 y los 1.200 m de altitud, que presenta una aridez extrema, presidida por un régimen de lluvias con precipitaciones medias anuales inferiores a 5 mm y unas oscilaciones térmicas que pueden ir de los 40°C en el día a los 0°C en la noche. Dentro de ella destaca la llamada Pampa del Tamarugal, depresión central en la que abundan los denominados salares, cuyo suelo está provisto de una costra salina que llega a superar el medio metro, depositada sobre un suelo de origen fluvial, circunstancias que la configuran como uno de los pocos desiertos "sensu stricto" existentes en la tierra.

Asimismo existe una amplia superficie de áreas silvestres extendida por las regiones I a VII caracterizadas por unas precipitaciones medias anuales inferiores a 500 mm que corresponden a la categoría de zonas semiáridas.

Los distintos ecosistemas presentes en dichas zonas integran algunas especies vegetales con interés forrajero, suministradora de combustible -leña y carbón vegetal- e incluso madera y tanino (LAILHACAR, 1983; CONTRERAS, D., 1983). Por otra parte, son potencialmente susceptibles de introducción de otras especies exóticas, con fines análogos. En este sentido se han propuesto y vienen ensayándose diversas especies de los géneros *Acacia*, *Atriplex*, *Eucalyptus*, *Parkinsonia*, *Pinus* y otros (BARROS y WRANN, 1982; WRANN et al, 1983). Asimismo, la jojoba, ampliamente introducida en regiones áridas de otros países, presenta buenas expectativas de éxito para su implantación en dichas zonas.

No obstante, la existencia en la Pampa del Tamarugal de una masa natural de tamarugo (*Prosopis tamarugo*), que se extiende por una superficie de 3.240 ha en La Tirana, así como las plantaciones de dicha especie -unas 20.000 ha- y en mezcla con el algarrobo (*Prosopis chilensis*) -440 ha- sobre salares de la Pampa, unidas a los bosquetes naturales de esta última especie, salpicadas por las regiones I a Metropolitana (de Santiago), y a las plantaciones monoespecíficas de la misma

(más de 3.000 ha) también en la mencionada Pampa, hacen aconsejable plan-
tear un programa de mejoramiento genético de dichas especies. De modo
que las actividades que se propongan conduzcan, en último término, a la
conservación de recursos genéticos del bosque natural y plantaciones exis-
tentes, así como al incremento del desarrollo forestal y ganadero de las
mismas y a la forestación de las áreas silvestres potencialmente aptas pa-
ra ser ocupadas por tamarugo y algarrobo. Sin embargo, dada la presen-
cia de otras especies del género Prosopis en Chile (FFOLLIOT y THAMES,
1983 b), no deberá olvidarse la existencia y, en consecuencia, extensibi-
lidad del estudio a las mismas: por una parte P. alba y P. flexuosa, tam-
bién de condición arbórea y que, al igual que tamarugo y algarrobo, se u-
san como plantas forrajeras, cuyas legumbres y hojas son consumidas por
los ganados ovino, caprino y bovino, así como usadas para combustible y
materiales de construcción de pequeñas dimensiones. Además, hay otras
dos especies, indicadoras de una mayor aridez, P. burkartii y P. strombu-
lifer, de condición arbustiva, incluidas en la flora chilena y presen-
tes en la Pampa del Tamarugal. A los frutos de la segunda se les asig-
nan propiedades medicinales y sus raíces son fuente de tanino, cualidad,
ésta última, presente también en la corteza del algarrobo y con mayor in-
tensidad en el tamarugo.

Las fuentes bibliográficas consultadas (HABIT, 1981; INFOR, 1981)
hacen referencia a la existencia de un bosque natural de P. tamarugo con
una densidad muy variable, entre 20 y más de 200 árboles por hectárea,
extendido por más de 3.000 ha en una franja central de la I Región (zonas
de La Tirana y la Huayca) y a superficies muy reducidas, pero salpicadas
por un área mucho mayor para algarrobo; no mencionándose específicamente
la existencia de superficies cubiertas de forma única y extensa por las
otras especies, por lo que cabe presumir que su presencia quede reducida
a bosquetes pequeños, como el de P. strombulifera existente en las pro-
ximidades de La Huayca, o a ejemplares diseminados, en unos casos aisla-
dos, y en otros, en mezcla con otras especies del género. La posible
existencia de híbridos naturales evidenciada por HUNZIKER (1975) y PALA-
CIOS y BRAVO (1981) en algunas especies del género, debe tenerse en cuen-
ta, aunque su correcta detección resultaría compleja. Dichas circunstan-
cias hacen aconsejable que la mejora genética de Prosopis en Chile se i-
nicie con Prosopis tamarugo y P. chilensis.

Además de las manifestaciones naturales existen, como se ha men-
cionado anteriormente, plantaciones de algarrobo y, en mucha mayor cuan-
tía, de tamarugo, que fueron iniciadas en 1932 y continuadas desde 1966
a 1973 por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) (INFOR,
1981 a). En cualquier caso, la superficie total cubierta entre masas na-
turales y plantaciones de tamarugo no alcanza las 30.000 ha. En cuanto
a algarrobo, dada su mayor diseminación, no puede aventurarse una cifra,
aunque cabe presumir que las masas con una fracción de cubierta vegetal
moderada son escasas y no alcanzan dicha superficie. En ambos casos la
superficie poblada constituye solo una parte respecto al área potencial
de forestación.

Esta circunstancia -capacidad de forestación masiva- unida a la conveniencia de utilizar para la misma material genético mejorado, no disponible hasta la fecha, respecto a las características que configuran los distintos aprovechamientos de que son objeto los Prosopis (producción de forraje, leña, madera y otros), así como su utilidad como protectores contra el viento, dadores de sombra para el ganado y su papel de estabilizadores del suelo, justifican la elaboración del presente documento, en que se pretende dar unas líneas que marquen las pautas a seguir para un programa de mejoramiento genético de tamarugo y de algarrobo. Su puesta en marcha, a través de unos primeros objetivos parciales, va a llevar a cabo en forma de la actividad I-3.3.1 en el marco del Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017 denominado "Investigación y Desarrollo de Areas Silvestres de Zonas Áridas y Semiáridas".

Si bien la información de que se dispone sobre la ecología, recursos hidráulicos, forestación y aprovechamiento ganadero de las áreas ocupadas por las especies en cuestión, es amplia y detallada en muchos aspectos: CASTILLO (1969), e informes de CORFO (1975; 1982 a; 1982 b; 1982 c; 1982 d; 1982 e; 1982 f; 1983 a; 1983 b; 1983 c), INFOR (1981 a; 1981 b; 1981 c), PERALTA (1983), WRANN et al. (1983); y también lo es la referente a aspectos concretos de índole fitosanitario (JOHNSON DAN, 1983), sobre manipulación de semillas (FFOLLIOT y THAMES, 1983 b); sistemática del género Prosopis (BURKART, 1976), así como la referente al papel desempeñado por el tamarugo como especie forrajera (ELGUETA y CALDERON, 1971; HABIT, 1981; CORFO, 1983 b; ZELADA y JOUSTRA, 1983), la producción y estimación de biomasa en Prosopis (FELKER et al., 1980, 1982 y 1983); tolerancia al frío (FELKER et al., 1982); aspectos fisiológicos relativos a la economía del agua (BOTTI, 1970; PASTENES et al., 1972; SUDZUKI, 1969, 1973 y 1982; ACEVEDO, 1977; FELKER et al., 1983; CORFO, 1983 d; MOONEY et al., 1980) y a la salinidad (FELKER et al., 1981; INSTITUTO FORESTAL (INFOR), 1983); no obstante las referencias específicas sobre mejoramiento genético y técnicas implicadas en el mismo, son escasas: FELKER (1980) alude a la gran variabilidad del tamarugo, que achaca a la posible existencia de un alto grado de heterocigosis y propone el establecimiento de un banco de germoplasma y la propagación de individuos seleccionados; LAILHACAR (1983) se refiere a la diversidad genética del algarrobo, a la vista de la gran variedad de formas existentes; SIMPSON (1977) y CONTRERAS, B. (1983) aluden a su diversidad morfológica; INFOR (1981) hace referencia a la existencia en Texas de un huerto semillero de Prosopis sp. con clones que incluyen ocho procedencias. Asimismo, la conveniencia o necesidad de abordar estudios de esta índole es recomendado por ARMITAGE et al. (1980) y considerada por la Comisión Chilena de Prosopis (1984). También existe alguna alusión puntual al establecimiento de rodales seleccionados para la recogida de semilla (WRANN et al., 1983) o a la necesidad de llevar a cabo una selección con vistas a la resistencia frente a los parásitos más comunes; y asimismo, a su propagación vegetativa por injerto y enraizamiento de estaquillas (HABIT, 1981; FELKER y CLARK, 1981; INFOR, 1983; WRANN et al., 1983), y a su cultivo in vitro (GOYAL, 1981). En todo caso, esta informa

ción trata de aspectos puntuales, en forma las más veces de propósitos y no contempla una panorámica global de su posible mejora genética.



2. OBJETIVOS

En términos generales, el objetivo general pretendido es el mejoramiento genético de las especies autóctonas del género Prosopis, con especial énfasis en P. tamarugo y P. chilensis, a través de la consecución de genotipos con alto grado de resistencia a las inhóspitas condiciones abióticas y a los agentes bióticos dañinos, a la vez que con la mayor productividad posible, que conduzca a optimizar los principales aprovechamientos de que son objeto en Chile.

Este objetivo, por su amplitud, requiere un desglose en objetivos parciales más concretos, en buena parte susceptibles de una secuenciación en el tiempo, que cubran en gran medida las posibilidades de acciones futuras; las cuales solamente se inician en el reducido marco temporal del Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017. En éste sólo se contemplarán aquellas líneas de investigación y desarrollo consideradas como más relevantes y viables en una primera etapa; y de las que puedan derivarse otras, tanto de índole genética como silvícola.

En suma, los objetivos pretendidos en un ámbito amplio de mejoramiento genético de P. tamarugo y P. chilensis son los siguientes:

1. Delimitación, tanto en su área natural y potencial, como en las plantaciones existentes, de zonas con características ecológicas (acuíferos, suelos, salinidad, precipitaciones, humedad ambiental, altitud, temperatura) diferenciales; y estudio de su correlación con la capacidad de supervivencia, grado de desarrollo y regeneración natural de ambas especies.
2. Definición de criterios de selección en función de las características que se pretenden mejorar.
3. Selección masal de fenotipos sobresalientes y estimación de la variabilidad existente para cada uno de los caracteres manejados en la selección.
4. Desarrollo de los métodos de propagación vegetativa convencionales -injerto y enraizamiento de estaquillas- y cultivo "in vitro".
5. Instalación de huertos semilleros clonales.
6. Establecimiento de ensayos de las progenies de los fenotipos seleccionados.
7. Establecimiento de ensayos de progenie con las familias que constituyan la primera generación obtenida en el huerto (huertos) semillero clonal primeramente instalado y eliminación de las familias, e individuos dentro de las mismas, no deseables en el huerto (huertos) en bá

se a los ensayos de progenie y al análisis de la heredabilidad de los distintos caracteres que definieron la selección.

8. Análisis de la posible mejora de estos caracteres no manejados en la primera selección concernientes a la producción de madera (obtención de grandes y medianas escuadrías, peso específico aparente, madera de reacción, capacidad de combustión y transformación en carbón), a la producción de biomasa leñosa como combustible, a la obtención de tanino, al uso de la pulpa de los frutos para su incorporación a harinas para la alimentación humana y a su condición de planta melífera.
9. Instalación de huertos semilleros de segunda generación con los genotipos que superaron las cribas selectivas anteriormente realizadas y realización de polinizaciones controladas.
10. Conservación de diversidad genética.
11. Realización de hibridaciones interprocedencias e interespecíficas dentro del género.
12. Investigaciones paralelas conducentes a un mejor conocimiento de la economía del agua en ambas especies y definición de posibles parámetros hídricos para una selección de genotipos de alta tolerancia a un bajo contenido de humedad del suelo.
13. Experimentación sobre la influencia de determinados tratamientos culturales -podas drásticas- en el rejuvenecimiento de árboles maduros; lo que unido a ensayos de reducción de la fracción de cabida cubierta, conduzca -a través de la disminución de la superficie foliar- a un menor consumo de agua por unidad de superficie de suelo.
14. Experimentación en campo e invernadero de los requerimientos nutritivos de ambas especies, de su capacidad de absorción selectiva de iones y de su tolerancia (o evitación) a las concentraciones salinas elevadas; con vistas a la prospección y evaluación del componente genético de dicha capacidad.
15. Investigación sobre su capacidad de fijación de nitrógeno a fin de evaluar su variabilidad y estimar su heredabilidad.
16. Mantención de la variabilidad genética en el género Prosopis, conjuntamente con tratar de obtener genotipos mejorados.

3. ACTIVIDADES IMPLICADAS EN LA REALIZACION DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

3.1 Delimitación de zonas con ecología diferente

La diferenciación y delimitación de zonas ecológicamente distintas dentro del área natural de ambas especies, permitirá caracterizar unas posibles procedencias para cuya definición más precisa puede recurrirse después al estudio comparativo de caracteres morfológicos, anatómicos y, en último término, electroforéticos, ya usados por SOLBRIG (1975) en el género Prosopis.

Asimismo es pertinente realizar una zonificación en las plantaciones existentes en los salares, prestando máxima atención a las diferencias en la configuración de la costra salina, especialmente patentes entre los salares de Pintados y Bellavista, así como a la profundidad de la capa freática, sus fluctuaciones anuales y estacionales y, a ser posible, al estudio de la correlación existente entre el descenso habido y la edad de las plantaciones.

Otros factores climatológicos tales como precipitaciones, humedad ambiental diurna y nocturna, y régimen de temperaturas, estacional y diario, podrán tener importancia respecto a los algarrobales, pero en el tamarugal al ser más homogéneos, aunque no desdeñables, cabe pensar tengan una menor incidencia en la delimitación pretendida que los primero - mente señalados.

En todo caso, la consecución de esta parte del objetivo debe basarse en la información hidrológica, edafológica y climatológica de que se disponga, sin desdeñar la información verbal de los lugareños; pues no puede pretenderse realizar dentro del marco de un programa de mejoramiento genético, las largas y costosas mediciones exigidas para la obtención de la información requerida.

Establecida una separación de zonas con algún carácter diferencial, procederá analizar en las mismas, mediante muestreo, la capacidad de supervivencia, el grado de desarrollo -a igualdad de edad- y, en el área natural (pues en las plantaciones sobre salares, como resulta obvio, no existe), la capacidad de regeneración natural, así como acometer el estudio de la fenología de la foliación, la floración y la fructificación; el análisis del hábito de crecimiento de la variación de algunos caracteres morfológicos, como la presencia y naturaleza de espinas; variación de forma y tamaño de frutos, foliolos y pinas, así como de consistencia, grosor y color de la corteza del tronco. Se podrán así definir unas plausibles procedencias y tal vez poner de manifiesto la variación clinal de algunos caracteres, teniendo presente la normativa recogida por BURLEY y NIKLES (1973).

Respecto a las áreas potencialmente susceptibles de reforesta -

ción con estas especies, deberá también realizarse dicha delimitación ecológica, aunque sólo se cuente para ello con la simple división en zonas de salares y zonas que no lo son (pero que bien pudieran haber estado pobladas en otro tiempo); zonas, éstas últimas, en las que cabe presumir se concentren las actuaciones futuras, en evitación de graves riesgos de su pervivencia en los salares, cuando las plantas alcanzan edades maduras.

Finalmente, establecida la diferenciación zonal, puede procederse a la delimitación de rodales semilleros, constituidos por árboles en plena producción de fruto, que revistan la mayor homogeneidad posible y se acerquen, como promedio, al ideotipo definido para la selección masal considerada en un epígrafe posterior. La selección de individuos y rodales que sirvió de base a las plantaciones existentes deben ser tenidas en cuenta, aunque cabe presumir tuvieron una reducida base genética.

Asimismo la delimitación mencionada permitirá, sobre todo, llevar a cabo una selección masal en cada una de las zonas diferenciadas y también hará posible la evaluación de las interacciones genotipo y ambiente.

3.2 Definición de criterios de selección en función de las características que se pretenden mejorar

Constituye el aspecto más crítico y de mayor trascendencia, pues condicionará la selección posterior y, a la postre, la ganancia genética obtenida. Dichos criterios deben atender a los caracteres que se pretende mejorar, definidos a su vez por los distintos aprovechamientos del tamarugo y del algarrobo, prácticamente comunes; teniendo además presente la capacidad de supervivencia en unas condiciones ecológicas muy precarias.

Ambos condicionantes, el mejor aprovechamiento en cantidad y calidad de unos productos, y la capacidad de resistencia a condiciones de habitabilidad adversas, parecen a primera vista antagónicas y, por ello, de problemática optimización conjunta. De ahí que el mejorador deberá buscar un compromiso entre ambos, expresable en la consecución de un nivel mínimo de ganancia en los caracteres deseados, compatible con un razonable grado de resistencia -tolerancia, evitación- a las imposiciones ecológicas.

La capacidad de resistencia a una extrema sequía, salinidad y otros factores edáficos, a las temperaturas más bajas de la región y, tal vez, al fuego y al viento, junto con la resistencia al ataque de las principales plagas de que son objeto (Cryptolebia carpophagoides, Leptotes trigenatus e Ithome sp. en el tamarugo y Heteropsylla texana en el algarrobo, todos ellos insectos que producen daños considerables en distintos órganos de la planta), y algún roedor, constituyen parámetros a tener presente en la selección.

La capacidad de resistencia a la sequía se configura como el carácter de mayor importancia en la selección. La conocida ausencia de precipitaciones en dichas zonas obliga al árbol a usar del agua de los acuíferos, como ha sido bien sustentado por ACEVEDO (1984); y, tal vez, en alguna medida, tenga lugar foliarmente una absorción nocturna de agua, en circunstancias de elevada humedad atmosférica, según ha sostenido SUDZUKI (1969, 1973).

Los bosques artificiales exigen en sus primeros meses de implantación en el terreno de riegos periódicos, que favorecen el desarrollo del incipiente sistema radical, el cual desarrolla, ya en su primer año, una larga raíz pivotante que supera los 60 cm de longitud. Al suprimir el riego, no tiene otra forma de seguir creciendo sino que por la existencia en el suelo de agua que, de acuerdo con ACEVEDO (1984), procede de la capa freática. El agua así absorbida (y, si cabe, foliarmente), es traslocada en el interior de la planta hacia el sistema de raíces secundarias que se extienden por una capa de suelo, siempre más húmeda que las contiguas, situada entre los 50 y 90 cm de profundidad y que cubre una superficie, que viene a corresponderse, con la proyección de la copa del árbol sobre el suelo.

Los árboles maduros alcanzan un gran desarrollo y configuran copas de gran superficie foliar cuya proyección sobrepasa los 100 m² de superficie de suelo que, inevitablemente, acarrearán unas elevadas pérdidas de agua por transpiración, aún contando con la indudable adaptación de la especie, que opondrá una resistencia máxima a la pérdida de vapor de agua por difusión estomática. Entonces, cabe suponer que el mayor consumo de agua, parejo a la mayor edad y envergadura de los árboles de las plantaciones, podría provocar un descenso en la capa freática que, aunque de pequeña cuantía dada la recarga de los acuíferos con las lluvias del llamado invierno altiplánico procedentes de la cordillera de Los Andes, repercuta sensiblemente en el agua disponible por las raíces de unos árboles con mayores necesidades hídricas, provocando en muchos de ellos un stress hídrico. Este ocasionaría una competencia por el agua disponible entre las diversas porciones de la copa, provocando la obstrucción del xilema y posterior muerte de las ramillas y ramas con menor conductividad hidráulica, es decir, las menos competitivas. El proceso, en marcha irreversible a lo largo de los años, provocaría la pérdida de vigor vegetativo de los árboles afectados, la reducción de su fructificación y, en último extremo, la muerte del árbol.

La existencia de una abundante superficie, que se extiende a lo largo de unos seis kilómetros en dirección sur desde el poblado del fundo El Refresco 1/ ocupada por tamarugos de edades superiores a los 30 años,

1/ El fundo El Refresco está en proceso de ser incorporado al Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas (SNASP) administrado por CONAF, bajo el nombre de Reserva Nacional Pampa del Tamarugal.

correspondientes a las primitivas plantaciones realizadas por Junoy que presentan en un 80% sus copas parcial o totalmente secas, hace sugerir que su situación corresponda a la descrita en el párrafo anterior, es decir, que su manifiesto deterioro tenga por causa principal un stress hídrico.

Posiblemente, la poda baja de que fueron objeto los mencionados árboles hace unos 20 años, al desproverlos de la maraña de ramas que sombreaban el suelo bajo la copa, haya contribuido también parcialmente a provocar su actual situación.

La lozanía y vigor de los árboles, de mayor edad, presentes en el recinto del poblado del fundo El Refresco, pero que se benefician del agua de riego de las zonas ajardinadas del mismo; y la ausencia, o al menos, la muy reducida manifestación del fenómeno descrito, tanto en las plantaciones del propio Salar de Pintados y, más patentemente, del Salar de Bellavista, todas ellas posteriores a 1966, es decir, constituidas por árboles más jóvenes, provistos de copas más reducidas, con menor superficie transpirante y generalmente, no sometidas a podas; como -lo que es especialmente significativo- en la masa natural de tamarugo de La Tirana, no instalada en un salar, constituyen hechos que armonizan con los anteriores y abogan en favor de la hipótesis sustentada.

En todo caso, y tal ha sido el objeto fundamental pretendido con esta disgresión, existen árboles dentro de la masa afectada por la mortandad de ramas y copas enteras, que no presentan el aspecto ceniciento del resto; árboles, que con la misma edad y sufriendo las mismas condiciones de habitat, parecen mostrar una mayor resistencia, con un presumible importante componente genético, a las causas -las que fueren- de la acusada mortandad de ramas y árboles enteros. A ellos debe ir encaiminada, en parte, la selección.

La posible correlación del fenómeno anteriormente descrito con la mayor abundancia y grosor de la costra salina que recubre los salares podría tenerse en cuenta en la selección, aunque en principio no parece fácilmente detectable y fácil de manejo como carácter de selección.

En segundo lugar debe atenderse a la resistencia a las plagas de insectos antes referenciadas, aunque es bien conocida la dificultad que entraña el desarrollo de cepas resistentes a los ataques de insectos en especies leñosas; por lo cual en la práctica solo cabe recomendar que los individuos seleccionados en función de otros caracteres, no estén dañados perceptiblemente, bien en sus brotes o, lo que es más importante, en su capacidad de florecer y fructificar; hecho sólo apreciable por la existencia de cosechas abundantes, a ser posible en años sucesivos, y por la ausencia o la menos reducción de frutos taladrados por el huesped. Tal vez los individuos con mayor abundancia de "kinos", cuya secreción

es muy patente en algarrobo en forma de grandes manchas negras sobre el tronco, pueden mostrar una resistencia "diferente"; asimismo la existencia de una corteza más gruesa puede ir asociada a una mayor resistencia frente al ataque en los brotes. Sin embargo, puede presumirse que dichos caracteres sean ajenos a la incidencia de los nocivos efectos de los insectos que se alimentan de frutos y semillas.

Cabe señalar que se ha estimado que de cada 10.000 flores de Prosopis, sólo una se convierte en fruto viable (CONTRERAS, B., 1983). To que ha sugerido que dicha profusión floral sea un mecanismo adaptativo del hospedante en favor de la atracción de insectos, dada la condición de especies de polinización entomófila. Cabría entonces pensar que los insectos causantes de daños en la producción de frutos jueguen también un papel beneficioso en el proceso de polinización, llegándose a un equilibrio natural cuya, por otra parte difícil ruptura por el hombre, tuviese a la postre efectos contrarios a los pretendidos. El buen sentido tanto del mejorador como del silvicultor, deben estar presentes a la hora de decidir las acciones a ejecutar y tener presentes estas circunstancias.

La jerarquización de los caracteres mejorables con vistas a los aprovechamientos obtenibles, es también un tanto problemática. Podría configurarse, en base al orden de importancia que de los mismos vienen siendo objeto tamarugo y algarrobo: producción de frutos en cantidad y calidad (ambas muy mermadas por el supuesto stress hídrico y por el ataque de algunos de los insectos antes referenciados) para la alimentación del ganado, producción de forraje foliar (mediatizada por una buena y amplia formación de brotes anuales con elevada tasa de crecimiento) y producción de madera para postes y pequeñas escuadrías (parquets para pisos) y, como combustible, dado su alto poder calorífico. El uso de los frutos para obtención de harinas susceptibles, por mezcla con otros ingredientes, de ser utilizados para la alimentación humana, y una selección encaminada a tal fin, exigiría una información bromatológica de la que se está lejos de poseer. 1/

De ellos, producción de fruto y tasa de crecimiento vegetativo, son los más relevantes, toda vez que la compleja y variable configuración de troncos y ramas puede ser modificada por tratamientos silvícolas; y que, en cualquier caso, debe considerarse carácter secundario, subsidiario a la producción de forraje.

1/ En Brasil se han realizado investigaciones sobre el uso de harina de Prosopis para consumo humano. En tal sentido sería muy beneficioso establecer contactos con las instituciones brasileñas que efectúan estos estudios.

Un último condicionante para la selección es que los clones po sean una buena capacidad de propagación vegetativa; pero el testado correspondiente requiere poner a punto la metodología experimental conside rada en el objetivo 4.

3.3 Selección de fenotipos sobresalientes

Tras la delimitación de zonas ecológicamente diferentes procede, en cada una, llevar a cabo una selección masal fenotípica, poniendo en juego los criterios de la selección previamente definidos. Esto permi tirá disponer de material fenotípicamente superior a la media poblaci ón, respecto a la cual se estimará el diferencial de selección para ca da uno de los caracteres elegidos.

La enorme variabilidad existente en cuanto a forma y hábito de crecimiento, fructificación y edades (en el bosque natural), predispone favorablemente a la obtención de un diferencial de selección elevado; pe ro también hace difícil la definición del árbol medio, que debería pre sentarse con una mayor frecuencia, pero que en la práctica "es inexisten te".

La uniformidad de edades en las plantaciones elimina un factor de variación, pero no así el riesgo de seleccionar genotipos emparenta dos en el caso de que las semillas originalmente utilizadas en las mis mas tuvieran un origen reducido a pocos árboles. En todo caso, procede hacerla teniendo presente dichas reservas y tomando, como carácter de se lección prioritario, la existencia de una copa ampliamente poblada de ho jas al inicio de la foliación masiva que tiene lugar al final del invi erno (septiembre); condición de especial importancia en los rodales con mortandad manifiesta.

En lo que a producción de fruto se refiere es aconsejable proce der, por una parte, a una evaluación cuantitativa mediante muestreo en cada uno de los rodales previamente delimitados, evaluación que dada la vecería (añerización) existente, y la incidencia de las plagas en la pro ducción, debe prolongarse al menos durante tres cosechas consecutivas. Y para ello teniendo muy presente factores como edad del árbol, tamaño y configuración de la copa, ausencia de ramas secas, incidencia de los daños por insectos (que debe procurarse sea nula) y otros.

Paralelamente debe procederse a una selección previa utilizando para ello los datos de evaluación de cosecha hechos por INFOR, Sociedad Agrícola CORFO Ltda. (SACOR) y CONAF, "marcando a priori" unas ganancias exigibles a los árboles seleccionados respecto a los valores supuesta mente medios de las cosechas de que se dispone. Esta selección debe ex tenderse al bosque natural, usando en principio los mismos criterios que en las plantaciones: copas bien pobladas de hojas, carentes de ramas se

cas, y con fructificación abundante o al menos moderada.

Otro tanto puede decirse de la evaluación de la biomasa determinada por los diversos tipos de copa, cuyo diámetro guarda una estrecha relación con la producción de fruto. Su configuración puede presentar tendencia a formar un tronco principal diferenciado, que se ramifica por encima de 1 a 3 metros (más frecuente en el algarrobo); o, por el contrario, ser proclive a un hábito de crecimiento con varios troncos, en número común de 4 a 6 emergiendo del suelo, que configuran una copa abierta casi desde la base con pérdida de la dominancia apical y gran capacidad de producir abundante número de brotes anuales, típica de tamarugo, aunque también presente en algarrobo, especialmente en sus manifestaciones de la I Región.

Su posible relación con las condiciones de plantación (distancia) y con la ausencia de precipitaciones, y su papel como medio de reducir la evaporación del suelo mediante la formación de una maraña de ramas bajas con hábito de crecimiento horizontal, deban tenerse en cuenta, especialmente a efectos de tratamientos culturales.

La biomasa, aunque objeto de posible evaluación, no parece oportuno sea manejada como carácter a tener en cuenta en una primera selección.

En todo caso, el manejo secular de que vienen siendo objeto ambas especies hace presuponer que las formas existentes, aún en las masas consideradas como bosque natural se encuentren muy alteradas por acción humana y no sean estrictamente naturales. De hecho es frecuente su tratamiento como monte bajo, para la obtención de leña, que propicia la formación de abundante número de rebrotes sobre las cepas primitivas; o, en el extremo opuesto, la poda dirigida a la formación de un tronco principal y copa extensa que suministre amplia sombra al ganado.

La capacidad de resistencia al medio va intrínsecamente implícita, a efectos de selección fenotípica, en la selección basada en los caracteres que condicionan los aprovechamientos mencionados para cada zona ecológica diferente. Cabe insistir en la necesidad de ausencia de daños bióticos por insectos y posibles roedores; y en la ausencia -debe recalcarse- de ramas y ramillas secas, daño de posible origen fisiológico por presunta obstrucción de los haces vasculares por stress hídrico y que origina una elevada mortandad.

En principio, la evaluación de la tasa de crecimiento expresable a través de la medida periódica del alargamiento de brotes muestreados a lo largo del período vegetativo durante varios años, así como -con efectos retrospectivos- la medida de las "metidas" anuales, si perceptibles en base al modelo de ramificación de la especie (si se elucida) y asimismo la información derivada de la altura del árbol y su diámetro

normal, constituyen parámetros indudablemente relacionados con la eficiencia en el uso del agua que presenten los diferentes genotipos y con su disponibilidad. Tal vez la relación entre área basimétrica, proporción de albura y volumen de copa deban ser tenidas en cuenta en etapas avanzadas del programa de mejoramiento.

El número de árboles seleccionados dependerá de las plausibles procedencias previamente definidas y del diferencial de selección pretendido y susceptible de conseguir. A título orientativo cabría pensar, para una primera etapa, en un número mínimo de 20 a 30 árboles sobresalientes para cada procedencia y especie, suficientemente distantes para evitar los inciertos perjuicios de la endogamia. A dicho número habría que añadir otros 80 a 120 (4 por 20-30) que sirviesen para estimar el diferencial de selección.

3.4 Desarrollo de métodos de propagación vegetativa

Dada la reconocida dificultad y la escasez de información existente respecto a los métodos convencionales -injerto y enraizamiento de estaquillas- y cultivo in vitro, aplicables a la propagación de estas especies, se requiere una intensa experimentación que conduzca al desarrollo de metodologías de ejecución estandarizada.

Siendo el fin último pretendido la consecución de genotipos elite, principalmente a través del establecimiento de huertos semilleros clonales, resulta prioritaria la puesta a punto de las técnicas de injerto más adecuadas para estos materiales vegetales. Con tal propósito y poniendo en juego la edad del patrón y de la planta donante de las púas, la época de realización, el tipo de injerto y las condiciones de recogida y situación de las púas en el árbol, la preparación del patrón y cuidados posteriores del injerto, deben conducirse las actividades de investigación. Los ensayos realizados al respecto por INFOR (1984), ponen de manifiesto los buenos resultados conseguidos en tamarugo con el sistema de injerto de corteza frente a otras formas como injertos de hendidura y de tocón de mara.

Paralelamente debe abordarse una experimentación concerniente a la inducción de raíces adventicias en esquejes, poniendo asimismo en juego los factores más importantes que tradicionalmente condicionan el enraizamiento, tal como edad y condición de la planta donante, época del año, tratamientos hormonales y de otra naturaleza aplicables a las estacas, condiciones ambientales -humedad relativa y del sustrato- composición de éste, así como poner especial énfasis en la etapa de post-enraizamiento y la configuración del sistema radical obtenido, factores que condicionarán en buena medida la debida implantación y ulterior desarrollo de las plantas conseguidas.

A este respecto, resulta de especial interés, la capacidad mostrada por ambas especies de emitir brotes de cepa o, en la propia copa, a partir de yemas adventicias cuando aquella es sometida a poda o las ramas son forzadas a la posición horizontal. Los brotes así formados son de condición juvenil y, en consecuencia, con presumible capacidad de formación de raíces adventicias al ser escindidos del árbol y convenientemente tratados.

En todo caso, si el enraizamiento no diera los resultados apetecidos, convendría ensayar también el acodo aéreo.

La propagación clonal masiva por cultivo in vitro de genotipos élite, tanto utilizando árboles maduros como especialmente plantas jóvenes vocacionalmente plus, tras una selección temprana, requiere la puesta a punto del método experimental con un material cuya extrema variabilidad lo configura, como singularmente difícil. Su consecución, a largo plazo, incidiría muy favorablemente en el fin último propuesto y contribuiría, sin duda, a conocer mejor el modelo de crecimiento y desarrollo de estas singulares especies. En principio es recomendable seguir las pautas, ya clásicas, comenzando por la utilización de segmentos nodales de tallo de plantas muy jóvenes a fin de provocar en los mismos el desarrollo de abundantes primordios vegetativos, susceptibles de un posterior alargamiento y enraizamiento. La utilización de material tomado de árboles adultos en el monte entrañará, sin duda, problemas de esterilización y, sobre todo, de respuesta a la inducción, perfilándose, en principio, las yemas y tal vez los pecíolos de los folíolos y raquis de las pinas como posibles explantos capaces de originar respuestas morfogenéticas. Hablar de embriogénesis somática, en este momento, referida a este material y propósitos del programa, parece prematuro; pero debe tenerse presente su posible utilización cuando las investigaciones básicas llevadas a cabo con otros especímenes leñosos permitan estandarizar dicha metodología.

3.5 Instalación de huertos semilleros clonales

Desarrollada la técnica de injerto más adecuada y obtenidas las plantas injertadas requeridas, procede iniciar la etapa conducente a la instalación de un huerto semillero clonal o, en función de la variabilidad encontrada entre posibles procedencias, así como del plan de forestación previsto, de varios huertos.

Su ubicación, dimensiones y configuración deben ser cuidadosamente analizadas por el investigador, que deberá conjugar los principios básicos que las deben presidir -condiciones edáficas y climatológicas propicias a una floración y subsiguiente fructificación intensas, topográficas y geográficas, número de clones y su distribución (FAULKNER,

1975; ZOBEL y TALBERT, 1984). Dado el carácter de plantas con flores hermafroditas de polinización principalmente entomófila, no parece en principio que los diseños clásicos de distribución de clones puedan ser efectivos con el fin de evitar la endogamia, cuya frecuencia y efectos negativos en las poblaciones naturales son por otra parte, aspectos totalmente desconocidos, que requieren las pertinentes investigaciones de apoyo. Cabe, no obstante, recomendar un diseño simple por bloques completos al azar, sin tratar de evitar la contigüidad de pies del mismo clon pertenecientes a bloques vecinos y analizar cuidadosamente la incidencia de dicha circunstancia en la producción de flores, posterior cuajado del fruto, viabilidad de las semillas y desarrollo de las plántulas obtenidas. Asimismo resulta problemático definir la mínima distancia geográfica conveniente para evitar contaminación del polen con el bosque y plantaciones existentes, al desconocer "las posibilidades" de los insectos polinizadores; pero la abundancia de terrenos sin duda aptos para la instalación del huerto, aconseja su alejamiento de aquellas, aunque la mayor proximidad posible a alguna zona en que la gestión posterior del huerto -riego, fertilización, cuidados fitosanitarios (que sin duda revestirán especial importancia)- sea lo más económica y viable posible.

La distancia de plantación es factor especialmente determinante de la capacidad de fructificación, al que debe prestarse una atención especial. Es recomendable basarse en la información procedente de las plantaciones realizadas por CORFO, en que se manejaron diferentes marcos y, en que las evaluaciones de cosechas se correlacionaron con los mismos. En principio no parece aconsejable usar distancias de plantación inferiores a los 13 metros ó 15 metros, adecuado para que se formen copas amplias, bien soleadas, en que se facilite una homogénea y profusa floración.

Si bien en plantas procedentes de semillas, la edad de iniciación de la fructificación masiva se estima entre el séptimo y octavo año (HABIT, 1981), cabe presumir que el tiempo de espera se acorte sensiblemente en las plantas injertadas. Dado que uno de los caracteres que van a definir la selección es la abundante fructificación, cabe esperar un comportamiento semejante en el huerto clonal, por lo que no es previsible la necesidad en una primera fase de eliminación de clones no deseables por su escasa fructificación. Por ello, a la vista de dicha circunstancia y los costos de plantación, no parece recomendable realizar la plantación del huerto a marcos menores y proceder más tarde a un raleo de la misma, sino como se ha propugnado antes, hacerla con los distanciamientos definitivos entre plantas.

En todo caso la instalación de huertos clonales exige una minuciosa programación de sus diferentes fases y su acoplamiento secuencial. Las numerosas cuestiones planteadas y sus imprevisibles respuestas ante unas especies escasamente conocidas, hacen problemática la fijación de un período para el establecimiento completo del huerto; pero tras la

puesta a punto de una u otra técnica de propagación vegetativa y realizada la selección masal, un período de tres años es previsible para su instalación.

La gestión ulterior del huerto, o huertos, constituye punto esencial del programa al que deberá dedicarse especial atención, teniendo muy presentes las recomendaciones generales establecidas por diversos autores (FAULKNER, 1975).

3.6 Establecimiento de ensayos de la progenie de los fenotipos seleccionados

Paralelamente a las acciones conducentes a la consecución de los huertos semilleros clonales es conveniente planificar y llevar a cabo ensayos en bosque, a fin de estudiar el comportamiento de las progenies -familias de semifratrias- tanto de los árboles fenotípicamente sobresalientes seleccionados como de los muestreados en calidad de controles, que permita evaluar la heredabilidad de los caracteres considerados, en dependencia del lugar de ensayo y de las condiciones intrínsecas de las plantas manejadas. Si la selección masal efectuada afecta a poblaciones de Prosopis bien diferenciadas (procedencias), es aconsejable instalar parcelas experimentales con las progenies obtenidas en tantos lugares y de la misma condición que de aquellas que se hayan delimitado. La heredabilidad estimada, en unión del también estimado diferencial de selección, conducirán al cálculo de la ganancia genética que se derivaría de la utilización de dichas progenies. Las plantaciones derivadas de dichos ensayos pueden asimismo convertirse en huertos semilleros de brinzales en una etapa posterior (WRIGHT, 1976).

En estos ensayos puede abordarse asimismo una experimentación relativa a manejo de semillas y su germinación, así como a cultivo de plantas de vivero, aspectos bien conocidos en la práctica, como lo prueban las 23.000 ha repobladas; pero que, posiblemente, requerirán mayor información debidamente contrastada en base a tratamientos estadísticos rigurosos. En este contexto debe merecer especial atención el comportamiento de las plantas en vivero ante diversos regímenes de riegos y la conformación de su sistema radical bajo la influencia de éstos y de la manipulación del mismo (repicado), que posiblemente servirán para definir una selección temprana de las mejores familias y de los mejores individuos dentro de las mismas.

3.7 Establecimiento de ensayos de progenie con las familias de la primera generación del huerto clonal y selección de genotipos élite

Nuevos ensayos de progenie a partir de las semillas cosechadas en el huerto clonal y planificados de forma semejante al punto anterior

mente tratado, permitirán más tarde la estimación de la ganancia genética obtenida en la primera generación de huertos, conduciendo a la eliminación de aquellas familias no deseables y a una segunda selección intrafamiliar de los genotipos más productivos, con lo que se habrá alcanzado el objetivo pretendido: la consecución de genotipos élite. La abundante bibliografía básica sobre el tema entre la que cabe reseñar, por la amplitud de aspectos tratados y la copiosa literatura citada en las mismas, las obras de WRIGHT (1976), FAO (1980), ZOBEL y TALBERT (1984), deben ser tenidas en cuenta en la planificación y seguimiento de estos ensayos.

3.8 Análisis de la mejora de caracteres no considerados en la primera selección

Supuestamente conseguido un mejoramiento de la resistencia ante condiciones límite del medio y de la producción en cantidad de fruto, convendrá prestar atención a otros caracteres, algunos de los cuales, previsiblemente, habrán sido ya mejorados indirectamente. Procede, sin embargo, analizar la variabilidad de algunos parámetros que definan la bondad de la biomasa leñosa producida, tanto con fines de su uso para combustible directo (leña) o procesado (carbón) (SMITH, 1981), como para la extensión de postes, para la minería o cercos, para la fabricación de parquets y la de pequeños y medianos objetos de madera.

Con estos objetivos presentes la evaluación de la biomasa leñosa total en función de la configuración de la copa (BRYANT, 1979; FELKER, 1983), tipo de ramificación (desde la base o a cierta altura del suelo); rectitud del tronco y, hasta cierto punto, verticalidad de la misma, capacidad de brotación ante el recepe; y la evaluación del peso específico aparente y, tal vez, de la formación de madera de reacción y de la existencia de fibra revirada (cuya presencia se muestra aparentemente de "vireo"); constituyen todos ellos, aspectos que deben considerarse, cuantificarse y, en suma, analizar su variabilidad y la posibilidad de manejarse como parámetros de selección.

La condición de especies taníferas, en especial tamarugo, puede conducir a una investigación que estudie la variabilidad del contenido en tanino y su rendimiento con vistas a su extracción y comercialización.

Finalmente, cabe profundizar en la producción de frutos -respecto a la riqueza bromatológica de su pulpa, su variación y heredabilidad; y en la posible variación de la condición melífera de ambas especies.

3.9 Instalación de huertos de segunda generación y realización de polinizaciones controladas

Constituida una población base con los huertos semilleros esta

blecidos, puede ser procedente llevar a cabo una nueva selección en la misma teniendo en cuenta los caracteres relacionados en el punto anterior. Con el material seleccionado, se establecerá huertos clonales de segunda generación, en que se habrá incrementado la ganancia genética de dichos caracteres.

Asimismo la realización de polinizaciones controladas en el huerto, manejando clones con características complementarias, puede conducir a la obtención de genotipos mejorados.

Actuaciones repetidas de dicho modelo permitirá elevar la ganancia, si bien reducirán la base genética, por lo que el mejorador deberá llegar a un compromiso entre ambas.

Cabe destacar que en un programa de mejoramiento genético, al mismo tiempo que se procura obtener genotipos mejorados para uso inmediato, también se debe conservar la diversidad genética en la población total del género. En otras palabras, no incluir un genotipo en el programa actual de mejoramiento no debe significar su destrucción.

3.10 Conservación de la diversidad genética

La elevación de la ganancia sin detrimento de la base genética puede alcanzarse manteniendo en paralelo poblaciones separadas (BURDON et al., 1977; NAMKONG et al., 1980): unas constituidas por genotipos seleccionados para uso inmediato; las otras servirán para mantener la diversidad genética con vistas a una futura mejora, preservando los genotipos existentes en las poblaciones originales y, si cabe, para mayor seguridad, estableciendo bancos clonales complementarios.

El plan propuesto por COTTERILL (1984) para el mejoramiento del Pinus radiata en Australia, en el que contempla el establecimiento de áreas de conservación que contengan las progenies de todos los árboles plus seleccionados al comienzo del programa de mejora, es una alternativa digna de ser tenida en cuenta para Prosopis; la cual, en cualquier caso, debe complementarse con una conservación in situ.

3.11 Realización de hibridaciones interprocedencias e interespecíficas dentro del género

La posibilidad de conseguir el denominado vigor híbrido, es decir, la consecución de algún tipo de superioridad en el híbrido respecto a los progenitores es, a la postre, el objetivo que pretenden las hibridaciones controladas. La previsible delimitación de varias procedencias en algarrobo resulta propicia a la realización de hibridaciones entre individuos pertenecientes a las mismas. Por otra parte, la señalada existencia de híbridos naturales entre otras especies del género Prosopis, que se manifiesta en la abundancia de individuos con caracteres intermedios, hace previsible el logro de hibridaciones entre tamarugo y algarrobo.

bo. En todo caso, su ejecución debería estar presidida por la existencia de caracteres complementarios de interés en los progenitores, no presentes a la vez en ninguno de ellos.

3.12 Investigaciones sobre el estatus hídrico de ambas especies

Se trata de un tema que, como se ha hecho referencia anteriormente, ha sido tratado brillantemente por varios investigadores, pero que sin duda, requiere más información, especialmente en relación con el fenómeno de desecación de ramas y muerte de árboles en las plantaciones señalado en la Sección 3.2

Por otra parte es conveniente contar con una mayor experimentación concerniente a las necesidades hídricas de las plantas de su etapa de cultivo en vivero y en sus primeros meses -sometidas a riegos periódicos- y años de plantación; así como sobre su influencia en la conformación del sistema radical y presencia e intensidad de ramas con hábito de crecimiento diageotrópico. Y todo ello en conexión con la variabilidad genética, presumiblemente grande.

El estudio de la posible aplicación de parámetros hídricos tales como el potencial hídrico y la resistencia estomática de las hojas a la difusión del vapor de agua, con vistas a la selección de genotipos resistentes a condiciones extremas de aridez del suelo, constituye otro punto de considerable interés en el marco de actividades encaminadas a establecer criterios de selección temprana.

3.13 Experimentación sobre determinados tratamientos silvoculturales

Aunque este punto se aparta de un planteamiento de estricta mejora genética, es oportuno llamar la atención sobre la conveniencia de estudiar los efectos de las podas intensas sobre el rejuvenecimiento de árboles maduros, recuperación de una foliación intensa y efectos sobre la fructificación, así como su correlación con el presunto stress hídrico y su tolerancia genotípica, especialmente en aquellas zonas del tamarugal con abundancia de individuos afectados de ramas y copas enteramente secas.

Asimismo podría revestir interés la realización de ensayos de entresacas en las plantaciones, a fin de reducir la fracción de cubierta vegetal y subsiguientemente la transpiración referida a unidad de superficie de suelo.

También, y de confirmarse la incidencia de stress hídrico en la mortandad de árboles en los salares, sería conveniente realizar un estudio sobre el turno (rotación) óptimo para ambas especies en sus diversas ecologías y, en especial, para las plantaciones.

3.14 Investigaciones sobre su nutrición mineral

Las condiciones edáficas de la Pampa del Tamarugal, entre las que cabe destacar la pétreo costra salina, rica en nitratos (antiguamente explotados) que cubre los salares, la super abundancia de elementos como el boro y el litio y el ión carbonato, frente a la escasez de otros como el zinc y el fósforo; la ausencia de materia orgánica y la existencia de un pH elevado (INFOR, 1983), no constituyen condiciones especialmente favorables para la vida vegetal. Sin embargo, tamarugo y algarrobo, se desarrollan en dichos suelos aparentemente sin grandes problemas nutritivos y los análisis foliares llevados a cabo por INFOR (1983), no revelan la existencia de deficiencias acusadas ni de niveles de toxicidad elevados para ningún elemento. Ello sugiere una capacidad de absorción selectiva de iones que, posiblemente, tenga un componente genético con cierta variabilidad. Por ello es conveniente desarrollar estudios experimentales bajo condiciones rigurosamente controladas, de las exigencias y límites de tolerancia nutritivas de ambas especies, ya iniciados en lo que a la tolerancia a la salinidad se refiere (FELKER et al., 1981).

La posible fertilización, conducente a incrementar la producción del forraje, especialmente de frutos, se presenta muy problemática ante la existencia del factor limitante agua y, en cualquier caso, se presume muy costosa. Sin embargo, a título experimental, los ensayos iniciados por INFOR (1983), pueden proyectar alguna luz sobre tan arduo tema.

3.15 Investigación sobre la capacidad fijadora de nitrógeno

La capacidad de fijación de nitrógeno que muestran estas leguminosas merced a la existencia de nodulaciones radiculares observadas ya en plantas de un año, contribuye en gran medida a explicar la presencia de las especies en la propia Pampa del Tamarugal.

El incremento de investigaciones básicas, que contribuyan al mejor conocimiento de la relación simbiótica, ya iniciadas (FELKER y CLARK, 1980; FELKER et al., 1980; CORFO, 1983) a través del estudio de la capacidad de selección de ambos simbios y de la influencia del genotipo, contribuirán muy favorablemente al mejoramiento integrado de ambas especies.

4. PROGRAMACION DE LAS ACTIVIDADES

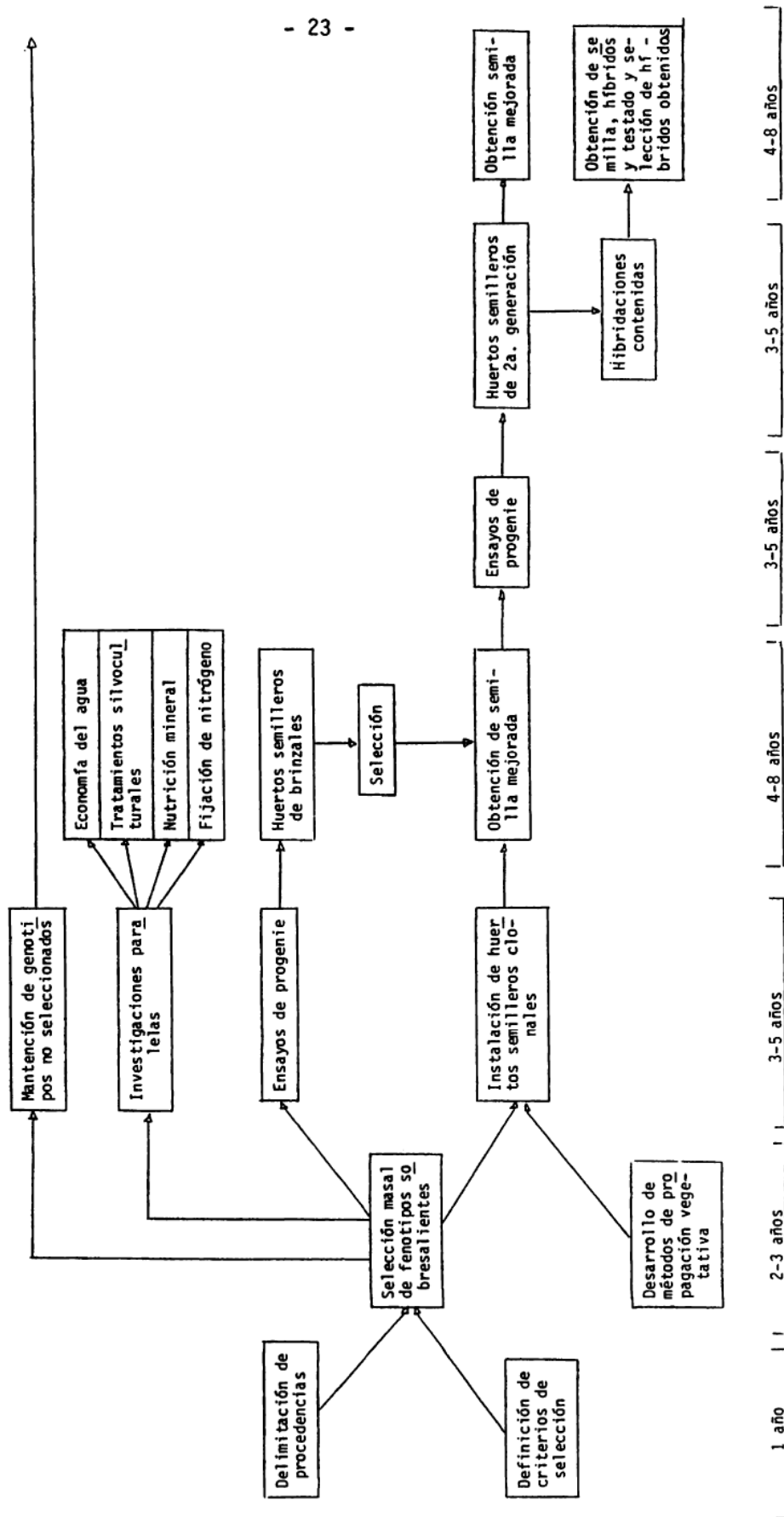
La relación, secuencia y calendario de las actividades indicadas en el Capítulo 3, están resumidas en la Figura 1.

La primera etapa en el programa consiste en la delimitación de procedencias (Sección 3.1) y definición de los criterios de selección (Sección 3.2). Ambas actividades pueden ser realizadas al mismo tiempo y se estima que se requiere un año. Utilizando los resultados de estas dos actividades se puede llevar a cabo la selección masal de fenotipos sobresalientes (Sección 3.3). Al mismo tiempo sería posible desarrollar métodos de propagación vegetativa (Sección 3.4). Una duración de 2 a 3 años sería necesario para las dos actividades. También, sería factible iniciar una serie de investigaciones paralelas sobre economía de agua (Sección 3.11), tratamientos silvoculturales (Sección 3.12), nutrición mineral (Sección 3.13) y fijación de nitrógeno (Sección 3.14). Las investigaciones paralelas, no estrictamente vinculadas al propósito del mejoramiento genético, proporcionarán información adicional que podría ser utilizado en el mejor manejo de las especies. La continuidad de estas investigaciones sería muy flexible y no tendría influencia en la duración del programa de mejoramiento genético.

Después de la selección de fenotipos sobresalientes se llevan a cabo paralelamente las siguientes dos actividades: instalación de huertos semilleros clonales (Sección 3.5) y ensayos de progenies (Sección 3.6), que requerirán aproximadamente de 3 a 5 años. De los resultados de ensayos de progenie se establecerán otros huertos semilleros de brinzales. De estos huertos, más los huertos originales, se podrán obtener semillas mejoradas para el establecimiento de otros ensayos de progenies (Sección 3.7). La realización de estas actividades requerirán entre 4 y 8 años para obtención de semillas mejoradas y otros 3 a 5 años para ensayos de progenie. Utilizando los resultados de los ensayos de progenie se establecerán huertos semilleros de la segunda generación (Sección 3.9), que requerirán 3 a 5 años más. Finalmente, se podrá obtener semillas mejoradas e iniciar un programa de hibridización (Sección 3.10).

Un programa que involucra todas las actividades propuestas tiene que ser de largo plazo. Se estima que el mínimo tiempo requerido para la obtención de semillas mejoradas y de híbridos seleccionados sería entre 20 y 35 años de duración.

Figura 1. DIAGRAMA DE ACTIVIDADES Y SU CALENDARIO ESTIMADO PARA UN PROGRAMA GENETICO DE *Prosopis tamarugo* y *P. chinensis*



5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACEVEDO, E. 1977. Relaciones suelo-planta-agua en estudios relacionados con tamarugo (Prosopis tamarugo).
- ACEVEDO, E. 1984. Comunicación personal.
- ARMITAGE, F.B. et al. 1980. Genetic resources of tree species in arid and semiarid areas. FAO, Rome. 118 p.
- BAILEY, A., ARTHUR, W. 1976. Nitrogen fixation in honey mesquite seedlings. J. Range Manag. 29,479-481.
- BARROS, S., WRANN, J. 1982. Introducción de especies. Manejo de plantaciones de Prosopis. I Región. Forestación de Los Andes altos. Informe forestación zonas altas de Los Andes. Bogotá, Colombia, 15-17 Nov. 1982.
- BOTTI, C. 1970. Relaciones hídricas del tamarugo (Prosopis tamarugo) en la localidad de Canchones. Tesis de Grado. U. de Chile.
- BRYANT, F.C. 1979. Variability in producing edible browse from crown volume. J. Range Mang. 32(2): 144-146.
- BURDON, R.D. et al. 1977. Advanced selection strategies. Proc. 3rd World Consul. For. Tree Breed., Canberra, Australia. 1137-1147
- BURKART, A. 1976. A monograph of the genus Prosopis (Leguminosae subfam Mimosoideae). J. Arnold. Arb. 57, 217-249 and 450-525.
- BURLEY, J., NIKLES, D.G. 1973. Tropical provenance and progeny research and international cooperation. "Proc. Joint Workshop IUFRO in Nairobi, Kenya, Commonwealth Forestry Institute, Oxford, England.
- BURLEY, J., WOOD, P.J. 1976. A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. Department of Forestry, CFI, University of Oxford, England.
- CARVALLO, T. 1983. Reforestación de la Pampa del Tamarugal con Prosopis tamarugo. Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale 77 (2), 197-202.
- CASTILLO, U.S. 1969. El agua subterránea en el norte de la Pampa del Tamarugal. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín N° 5. Santiago, Chile.
- CONTRERAS, D. 1983. Distribuição, produtividade e manejo de ecossistemas naturais e artificiais de Tamarugo e algarroba no Chile. Simpósio Brasileiro sobre Algarroba. Natal, V. 2, p. 25-96.
- CONTRERAS, B. 1983. Diversidad morfológica en poblaciones de algarrobo (Prosopis chilensis) en la IV Región. Tesis de Grado, U. de Chile.

- CORFO. 1975. Aspectos hidrológicos de la Pampa del Tamarugal. División Recursos Hidráulicos. Santiago, Chile.
- , 1982 a. Manejo de plantaciones forestales (Pampa del Tamarugal). Gerencia de Desarrollo. Santiago, Chile. 160 p.
- , 1982 b. Control de plagas en Pampa del Tamarugal. Gerencia de Desarrollo. Santiago, Chile. 65 p.
- , 1982 c. Usos alternativos de tamarugos y algarrobos. Gerencia de Desarrollo. Santiago, Chile. 113 p.
- , 1982 d. Análisis de los ecosistemas de la I Región. Gerencia de Desarrollo. Santiago, Chile. 194 p.
- , 1982 e. Análisis de los ecosistemas de la II Región. Gerencia de Desarrollo. Santiago, Chile. 181 p.
- , 1982 f. Información básica sobre la ganadería de la I y II Región. Santiago, Chile. 84 p. y fotos.
- , 1982 g. Valoración nutricional de tamarugos y algarrobos y perfiles metabólicos de ovinos y caprinos en la Pampa del Tamarugal. Gerencia de Desarrollo. Santiago, Chile. 65 p.
- , 1983 a. Actividades forestales y ganaderas en la Pampa del Tamarugal. Tomo I. Aspectos Generales y forestales. Santiago, Chile. 255 p. y fotos.
- , 1983 b. Actividades forestales y ganaderas en la Pampa del Tamarugal. Tomo II. Aspectos ganaderos. Santiago, Chile. 398 p.
- , 1983 c. Actividades forestales y ganaderas en la Pampa del Tamarugal. Tomo III. Aspectos económicos y evaluación social. Santiago, Chile. 137 p.
- , 1983 d. Fijación biológica de nitrógeno en tamarugo y algarrobo. Gerencia de Desarrollo. Santiago, Chile. 43 p. y anexos.
- COTTERILL, P.P. 1984. A plan for breeding radiata pine. Silvae Genet. 33(2-3), 84-90.
- ELGUETA, S., CALDERON, S. 1971. Estudio de tamarugo como productor de alimento del ganado lanar en la Pampa del Tamarugal. Instituto Forestal, Informe Técnico N° 38. 36 p.
- FAO. 1980. Mejora genética de árboles forestales. Estudio FAO: Montes 20. Roma. 341 p.
- FAULKNER, R. 1975. "Seed Orchards". Forestry Bull N° 54. London.

- FELKER, P., CLARK, P.R. 1980. Nitrogen fixation (acetylen reduction) and cross inoculation in 12 Prosopis (mesquite) species. Plant and soil 57, 177-186.
- FELKER, P. et al. 1980. Screening Prosopis germplasm for biomass production and nitrogen fixation. Int. Congress for study of semiarid and arid zones. La Serena, Chile. 21 p.
- FELKER, P., CLARK, P.R. 1981. Rooting of mesquite (Prosopis) cuttings. J. Range Manag. 34, 466-468.
- FELKER, P. et al. 1981. Salinity tolerance of the tree legumes mesquite (Prosopis glandulosa var. torreyana, P. velutina and P. articulata), algarrobo (P. chilensis), kiawe (P. pallida) and tamarugo (P. tamarugo) grown in sand culture on nitrogen free media. Plant and soil 61, 311-317.
- FELKER, P. et al. 1982. Screening Prosopis (mesquite) for cold tolerance. For. Sci. 28 (3), 556-62.
- FELKER, P. et al. 1983 a. Biomass production of Prosopis species and other leguminous trees grown under heat and drought stress. For. Sci. 29(3), 592-606.
- FELKER, P. et al. 1983 b. Effects of irrigation on biomass production of 32 Prosopis (mesquite) accessions. Expl. Agric. 19, 187-198.
- FFOLLIOT, P.F., THAMES, J.L. 1983 a. Recolección, manipuleo, almacenaje y pretratamiento de las semillas de Prosopis en América Latina. FAO, Roma, 42 p.
- 1983 b. Manual sobre taxonomía de Prosopis en México, Perú y Chile. FAO, Roma, 35 p.
- GOYAL, Y. 1981. Differentiation in cultures of Prosopis cineraria. Current Science 50(10), 468-469.
- HABIT, M.A. 1981. Prosopis tamarugo: arbusto forrajero para zonas áridas. Estudio FAO: producción y protección vegetal, N° 25, 143 p.
- HUNZIKER, J.H. et al. 1975. Cytogenetics of some species and natural hybrids in Prosopis. Argentina J. Genet 17, 253-262.
- INFOR. 1981 a. Estudio de las especies del género Prosopis en la Pampa del Tamarugal. Tomo I. Revisión bibliográfica y actualización de la información existente en el país. Santiago, Chile. 170 p.

- , 1981 b. Estudio de las especies del género Prosopis en la Pampa del Tamarugal. Tomo II. Clasificación, caracterización y cartografía de los bosques de Prosopis. Santiago, Chile. 100 p.
- , 1981 c. Estudio de las especies del género Prosopis en la Pampa del Tamarugal. Tomo III. Análisis dendrológico. Santiago, Chile. 6 p.
- , 1981 d. Estudio de las especies del género Prosopis en la Pampa del Tamarugal. Tomo IV. Análisis foliar y de suelos. Santiago de Chile. 28 p. y anexos.
- , 1981 e. Estudio de las especies del género Prosopis en la Pampa del Tamarugal. Como V. Fisiología y relaciones hídricas del tamarugo. Santiago, Chile. 76 p.
- , 1983. Manejo de plantaciones de Prosopis. Pampa del Tamarugal. Santiago, Chile. 130 p. y anexos.
- , 1984. Informe a "Mesa Redonda Internacional sobre Tamarugo" (Arica). Santiago, Chile. 59 p. (inédito).
- JOHNSON DAN C. 1983. Ecología, control e identificación de insectos del Nuevo Mundo que infestan la semilla de Prosopis (Leguminosae). FAO, Roma. 59 p.
- LAILHACAR, S. 1983. Ecosistemas de la Región de Tarapacá. Seminario de zonas desérticas en Chile. Nov. 1983. CORFO, Tomo I. 29 p.
- MOONEY, H.A. et al. 1980. Further observations on the water relations of Prosopis tamarugo of the Northern Atacama desert. Oecología (Berl) 44, 177-180.
- MUÑOZ, S.C. et al. 1978. Evolución de nutrientes minerales en hojas de tamarugo (Prosopis tamarugo). Agricultura Técnica 38, 61-68. Santiago, Chile.
- NAMKONG, G. et al. 1980. A philosophy of breeding strategy for tropical forest trees. CFI Tropical Forestry Papers N° 16.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (NAS). 1980. Firewoods crops-shrub and tree species for energy production. Wash., D.C. 237 p.
- PALACIOS, R.A., BRAVO, L.D. 1981. Hibridación natural en Prosopis en la región chaqueña argentina. Evidencias morfológicas y cromatográficas. Darwiniana 23(1), 3-35.
- PASTENES, G.J. et al. 1972. Efecto de la aplicación foliar de humedad en plántulas de Prosopis tamarugo. U. de Chile. 75 p.

- PERALTA, F. 1983. Recursos hídricos de la Pampa del Tamarugal. Seminario de zonas desérticas en Chile. CORFO. Tomo I. 24 p.
- SIMPSON, B.B. 1977. Variation in gross morphology. En "Mesquite", its biology in two desert ecosystems (B.B. Simpson ed). p. 45-50. Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pa. 250 p.
- SMITH, H. 1981. Wood: an ancient fuel with a new future. World Watch Inst., Wash., D.C. World Watch Pap. 42, 1-43.
- SOLBRIG, U.T. 1975. Isozyme variation in species of Prosopis. Journal of Arnold Arboretum 56, 398-412.
- SUDZUKI, F. 1969. Absorción foliar de humedad atmosférica en tamarugo. Boletín Técnico N° 30, U. de Chile. 23 p.
- , 1973. Relaciones hídricas del tamarugo en la localidad de Canchones. Boletín Técnico N° 37, U. de Chile. 23 p.
- , 1982. Aspectos fisiológicos de importancia práctica en el cultivo de Prosopis. Simposio Brasileiro sobre algarroba. Natal. V. 1, 55-89.
- WRANN, J. et al. 1983. Forestación en la Pampa del Tamarugal. Seminario de zonas desérticas en Chile. CORFO. Tomo I. 24 p.
- WRIGHT, J.W. 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press, N.Y.
- ZELADA, L., JOUSTRA, P. 1983. Ganadería en la Pampa del Tamarugal. Seminario de zonas desérticas en Chile. CORFO, Tomo I. 56 p.
- ZOBEL, B.J., TALBERT, J.T. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley and Sons. N.Y., 505 p.