

Bol INIA
42



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INIA - SAG - INDAP

BOLETÍN INIA N° 42 ISSN 0717- 4829

*P*roposiciones Tecnológicas para un Desarrollo Sustentable del Secano



Editor:
Claudio Pérez C.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Quilamapu
Chillán, Chile, 2000.

BOLETÍN INIA N° 42
ISSN 0717- 4829



Proposiciones Tecnológicas para un Desarrollo Sustentable del Secano.



Editor:
Claudio Pérez C.

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Quilamapu

Chillán, Chile, 2000.

Editor
Claudio Pérez Castillo

Director Regional
Hernán Acuña Pommier

Edición
Hugo Rodríguez Alister

Boletín INIA N°42

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial, citando la fuente y editor.

Cita bibliográfica correcta:
Pérez C., Claudio (Ed.). 2000.
Proposiciones Tecnológicas para un Desarrollo Sostenible del Secano. Chillán, Chile.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
Boletín INIA N° 42, 250 p.

Diseño y diagramación:
Ricardo González Toro

Impresión:
Impresora Trama

Cantidad de ejemplares:
1000

Chillán, 2000.

Nota:
Esta publicación fue financiada con fondos de
INDAP Prodecop - Secano.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1	7
Evaluación de sensibilidad a la erosión planificación indicativa para su control.	
Capítulo 2	43
Manejo y conservación de suelos y aguas en microcuencas hidrográficas.	
Capítulo 3	77
Hidrología del secano.	
Capítulo 4	95
Tecnologías apropiadas para el manejo conservacionista del suelo.	
Capítulo 5	113
Fertilidad de suelos para una producción sostenible de la región de secano de Chile.	
Capítulo 6	131
Alternativas de praderas y sistemas agroforestales en relación con el manejo sostenible de los suelos en el secano interior mediterráneo de Chile.	
Capítulo 7	161
Principios elementales de teledetección.	
Capítulo 8	171
Uso forestal del suelo en el secano interior del centro-sur de Chile: forestación en zonas semiáridas con especial referencia a pequeños propietarios de suelos erosionados.	
Capítulo 9	185
Agricultura orgánica para el secano.	

Capítulo 10 199

Establecimiento y manejo de viñedos modernos en el
secano interior centro sur de Chile.

Capítulo 11 213

Investigación y transferencia tecnológica de leguminosas
de grano en el secano costero e interior de las regiones
del Maule y Bio-Bio.

Capítulo 12 229

El cultivo del trigo en el secano interior.

Capítulo 13 237

Evaluación económica de proyectos silvoagropecuarios.

PRÓLOGO

El desarrollo del secano interior y costero de Chile entre la VI y VIII regiones constituye un gran desafío desde un punto de vista socioeconómico, cultural y agronómico. La escasa disponibilidad de agua, unido a serias limitaciones socioeconómicas, ambientales y de suelos, hacen que este sector agroecológico se vea enfrentado a fuertes procesos de erosión, baja productividad de los suelos y bajos ingresos de los habitantes, lo que ha conformando un círculo vicioso de pobreza y degradación de los recursos naturales.

En respuesta a estas inquietudes, el Indap, entre otras acciones, ha puesto en marcha desde 1996 el Proyecto de Desarrollo de Comunas Pobres del Secano, Prodecop-Secano, el cual busca incorporar con enfoque de sistema las propuestas tecnológicas existentes a objeto de romper este círculo de pobreza y degradación mencionado.

Sin embargo, en el país existe una cierta carencia de propuestas productivas que permitan abordar esta problemática y que se encuentren adaptadas a las condiciones y sistemas agroecológicos de estas zonas. Las propuestas en temas como control de la erosión, manejo de microcuencas, hidrología, fertilidad del suelo, forestación campesina, agroforestería, agricultura orgánica, variedades en cereales y leguminosas, etc., todos fundamentales para el desarrollo integral de la zona, generalmente se encuentran dispersas y poco relacionadas entre sí.

Con el propósito de articular y ampliar la discusión respecto a propuestas productivas para el secano costero e interior, el Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente del CRI Quilamapu – INIA, en conjunto con el Departamento de Protección de Recursos Renovables del SAG, organizaron el Seminario – Taller «Proposiciones Tecnológicas para un Desarrollo Sustentable del Secano». Este se desarrolló en el marco de Prodecop-Secano durante Octubre de 1998.

Para el Prodecop-Secano es de suma importancia efectuar este tipo de actividades que generen la preocupación y discusión técnica en propuestas de desarrollo productivo apropiadas para el secano de la zona central de nuestro país, no obstante, la experiencia de sistematizar esta información a través del presente texto es aún más enriquecedor.

Esperamos que con el presente libro se responda al menos en parte, a la problemática mencionada anteriormente.

JUAN FRANCISCO FERNÁNDEZ

PRODECOP-SECANO
INDAP

CAPÍTULO 1

Evaluación de sensibilidad a la erosión. Planificación indicativa para su control,



Mario Lagos Subiabre
Ingeniero Agrónomo
DEPROREN - SAG
mlagos@sag.minagri.gob.cl

1. EVALUACIÓN DE SENSIBILIDAD A LA EROSIÓN. PLANIFICACIÓN INDICATIVA PARA SU CONTROL.

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La erosión es probablemente la forma más común de degradación del suelo en el país. Los procesos erosivos ya sean de naturaleza hídrica o eólica, junto con generar pérdidas de productividad de los suelos y la disminución de los rendimientos de los cultivos, están asociados a importantes alteraciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

En general puede decirse que los daños que provoca la erosión en un sitio productivo, se relacionan a:

- Disminución en volumen y profundidad efectiva del suelo
- Reducción de la capacidad de retención de agua del suelo
- Pérdida considerable del contenido de materia orgánica del suelo
- Declinación y agotamiento de la fertilidad del suelo
- Cambios en la textura superficial del suelo.

El fenómeno de degradación de suelos por erosión puede producir además una serie de perjuicios extraprediales, como: la sedimentación de lagos, embalses, obras e infraestructura de riego y deterioro de caminos; degradación de la calidad y el abastecimiento de agua; la reducción de vida útil de obras de generación de energía eléctrica; menoscabo de manera directa o indirecta de la biodiversidad y el funcionamiento de ecosistemas frágiles y el empobrecimiento de la calidad de vida de la población rural; la aceleración de los procesos de desertificación y finalmente la migración campo - ciudad, en las áreas con mayor degradación.

El último estudio de carácter generalizado sobre el nivel de erosión de los suelos, lo ejecutó IREN (CORFO) en el año 1979, abarcando un área de 34,5 millones de hectáreas, equivalente al 46% de la superficie de Chile continental. Sus resultados se indican el Cuadro N° 1, donde se observa que sobre un 75% de la superficie estudiada exhibía niveles de erosión significativos. Asimismo se aprecia que las áreas con mayor proporción de terrenos erosionados por efectos de la intervención antrópica, corresponden a la IV Región, en el Norte Chico, y a la VIII, IX y X Regiones en la zona Centro Sur y Sur del país.

Es indudable que las grandes extensiones de terrenos erosionados en las diversas formas y grados indicados, están estrechamente ligados a la fragilidad de los ecosistemas. Entre los factores naturales que inciden en este deterioro cabe destacar, la topografía de lomajes, cerros y montañas que se extienden sobre la mayor proporción del territorio nacional.

Por otra parte, a pesar del desarrollo del rubro forestal, una proporción importante de terrenos en uso agropecuario continúan siendo destinados a la siembra o establecimiento de cultivos tradicionales o específicos, para la satisfacción de necesidades básicas y económicas de corto plazo, sin considerar las variables de sostenibilidad ambiental que demanda el uso de tales recursos.

En este contexto, la pérdida o destrucción parcial de las cubiertas vegetales protectoras, tanto por sobrepastoreo como por la realización de cultivos sin la adopción de medidas o prácticas preventivas, así como, la quema de rastrojos e incendios forestales y la extracción indiscriminada de madera y leña; no solamente han provocado una disminución creciente de los rendimientos, aumento de los costos de producción y la pérdida de opciones de uso del suelo, sino que también, han originado un círculo vicioso que articula el deterioro del suelo por erosión y la profundización de la pobreza rural.

Cuadro N° 1. Nivel de erosión de los suelos de Chile (en miles de ha).

Región	Superficie	Nivel de Erosión				% Regional Erosionado
		Grave	Moderada	Leve	Total	
I Tarapacá	5.807,2	1.066,1	1.116,1	356,8	2.539,0	43
II Antofagasta	12.530,6	1.435,2	1.120,1	126,3	2.681,6	21
III Atacama	7.826,8	1.208,4	809,3	630,4	2.648,1	35
IV Coquimbo	3.964,7	654,3	1.425,7	1.379,6	3.549,6	85
V Valparaíso	1.637,2	282,9	146,8	464,0	893,7	55
Metropolitana	1.578,2	483,0	58,8	17,1	558,9	36
VI O'Higgins	1.595,0	742,8	210,6	20,0	973,4	61
VII Maule	3.051,8	814,8	686,6	36,6	1.538,0	51
VIII Bío-Bío	3.600,7	994,2	1.167,5	200,4	2.362,1	66
IX Araucanía	3.247,2	875,2	1.533,3	69,6	2.478,1	76
X Los Lagos	6.903,9	1.022,8	1.628,4	2.194,9	4.846,1	66
XI Aysén	10.715,3	1.055,1	2.179,5	1.389,9	4.624,5	45
XII Magallanes	11.231,0	900,0	3.463,5	524,2	4.887,7	44
Total País	75.490,6	11.139,0	15.546,2	7.409,6	34.490,8	46

Fuente: Adaptado de "Fragilidad de los Ecosistemas Naturales de Chile", IREN, CORFO, 1979.

Esta realidad nos lleva a considerar que para controlar o revertir los procesos de degradación por erosión y obtener el mejoramiento del recurso suelo, deberán promoverse:

Soluciones tecnológicas como parte integrante de sistemas de manejo productivo adaptados al estado y condición que actualmente exhiben los recursos básicos disponibles.

Reconocer las interrelaciones existentes entre la degradación del medio ambiente y las circunstancias sociales y económicas que condicionan las decisiones que adoptan los usuarios de la tierra.

Asegurar la efectiva participación de los agricultores afectados por procesos de degradación, en la búsqueda de las soluciones prácticas sostenibles en el tiempo, a la pérdida de calidad de vida.

1.2. PÉRDIDAS FÍSICAS Y DE PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS

Con excepción de estudios aislados en áreas de interés agropecuario, no se dispone en el país de antecedentes básicos sistemáticos respecto a las pérdidas físicas de suelo, provocada por procesos erosivos de diferente origen y magnitud.

Entre los estudios más importantes puede citarse el trabajo de "Control de Erosión mediante Técnicas de Labranza y Conservación" (Peña, 1984), el cual resume varios años de investigación experimental en suelos "trumaos" de lomajes, derivados de cenizas volcánicas, en la Precordillera Andina de la VIII Región. Los resultados se presentan en el Cuadro N° 2.

El análisis de las cifras presentadas indica que, un manejo convencional con 2 años de labranza consecutiva (siembra de cereal seguido de raps) y 2 años de pradera natural, experimenta pérdidas promedios anuales de suelo en ton/ha/año inferiores a la tolerancia estimada de 8 a 10 ton/ha/año, para un suelo trumao (Serie Santa Bárbara) con 6% de pendiente y longitud de ladera inferior a 150 m (las pérdidas más elevadas en los años con cultivo, se compensan con las de años de praderas, en que las pérdidas son menores a 1 ton/ha/año).

Para la misma rotación y suelo, pero con pendientes entre 6 - 10%, la condición de manejo convencional supera los límites de tolerancia a la erosión establecido y, la combinación de una baja cobertura de material vegetal inerte (0,2 ton/ha de paja de trigo) con un adecuado nivel de fertilización y labranza en contorno, produce un efectivo control de la erosión en estas condiciones

En laderas con más de 10% de pendiente y longitudes mayores a 150 m, éstas técnicas no dan una protección adecuada al suelo, resultando en laderas con 16% de pendiente del todo ineficaces. Para esta condición sólo las coberturas de rastrojos muy densas (2 ton/ha) o la cero labranza se muestran útiles.

Cuadro N° 2. Pérdidas de suelo como promedios anuales de rotaciones, calculados para varios sistemas de manejo con diferentes longitudes de ladera y pendientes.

Manejo del Cultivo (P)	Porcentaje de pendiente (S)					
	6%		10%		16%	
	Longitud de la ladera (L)					
	90 m	150 m	90 m	150 m	90 m	150 m
Rotación Trigo Raps	Toneladas/hectárea /año					
P. Natural						
Manejo Convencional	6 (1)	8	13	16	27	35
0,2 ton/ha y alta fertilización	4	5	9	7	15	19
0,2 ton/ha y cultivo en contorno	4	4	6	8	13	17
1,0 ton/ha residuos	2	2	3	4	7	9
2,0 ton/ha residuos	1	1	2	2	4	5
Rotación Trigo Avena Raps						
Manejo Convencional	12	15	24	31	50	65
0,2 ton/ha y alta fertilización	6	8	13	13	28	36
0,2 ton/ha y cultivo en contorno	5	7	12	15	25	32
1,0 ton/ha residuos	1	2	3	4	6	8
2,0 ton/ha residuos	1	1	2	2	3	4

[1] Valores calculados con la ecuación de predicción de erosión $A = RKLSP$ (Wischmeier y Smith, 1978); utilizando valores de R, K y C obtenidos en el lugar de la experiencia entre los años 1977 y 1981.

Cuadro N° 3. Tolerancia de erosión estimada en suelo trumao Santa Bárbara.

Pendiente	Tolerancia estimada (ton/ha/año)
4 - 7	8 - 10
8 - 12	7
13 - 18	5

Fuente: Peña, 1984.

Por otra parte, cuando se está en presencia de una rotación más intensa con 3 labranzas consecutivas (siembra de cereal, seguido de avena y luego raps), bajo manejo convencional en laderas con 6% de pendiente, se experimentan pérdidas de suelo que sobrepasan el límite de tolerancia. La aplicación de bajas densidades de residuos (0,2 ton/ha) con un adecuado nivel de fertilización y cultivo en contorno, proporciona un buen control de erosión en estas pendientes. Para pendientes mayores se requiere un mínimo de 1 ton/ha de residuos. Para la rotación indicada en laderas con 16% de pendiente y longitudes mayores a 90 m, debe considerarse la aplicación de la práctica de la cero labranza.

Las mediciones experimentales de pérdidas de suelos efectuadas por el proyecto "Riego y Conservación de la Cuenca del Río Bío - Bío" (Ibarra, 1977), en relación a las características de duración e intensidad de las lluvias erosivas más largas ocurridas en el invierno de 1977, coinciden en gran medida con antecedentes citados precedentemente. Sus resultados se indican en el Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4. Pérdidas físicas de suelo por erosión hídrica erosión causada por la lluvia más larga en los meses de mayo a julio. Cuenca del Bío - Bío, 1977.

Suelo	Cubierta Vegetal	Pendiente %	Duración Lluvia hr	Rango/intensidad mm/hr	Precipitación mm	Pérdida de Suelo	
						m ³ /ha	t/ha
Santa Bárbara	Trigo	1 - 15	25	1,4 - 1,6	126	7,35	5,88
Rapelco	Suelo Desnudo	25	15	0,5 - 1,2	116	18,6	26,04

En el Cuadro N° 5 se muestran las pérdidas físicas de suelo en áreas representativas en meses de mayo a julio en la cuenca del Bío - Bío, 1977.

Cuadro N° 5. Pérdidas físicas de suelo en áreas representativas en meses de mayo a julio. Cuenca del Bío - Bío, 1977.

Suelo	Subcuenca ha	Cubierta Vegetal	Pendiente %	Erosión m ³ /ha	Pérdida de Suelo	
					ton/ha/° meses	mm/° meses
Santa Bárbara	4,28	Trigo	1 - 15	20,24	16,19	2
Rapelco	6,35	Suelo Desnudo	25	118,02	165,23	12

Fuente: Ibarra, 1977.

Es posible citar otras investigaciones realizadas principalmente por INIA, como la de Ormeño (1994), sobre evaluación productiva de la cero labranza como alternativa para la producción de trigo en el seco costero e interior de la V Región y RM; la investigación de Sandoval (1993), que comparó la quema de rastrojo y labranza convencional con rastrojo enterrado y siembra convencional y sistema de cero labranza, en la precordillera andina del VIII Región; el trabajo de Rodríguez (1993), que

evaluó la erosión del suelo en tres sistemas de producción de trigo, en la precordillera andina de la Zona Centro - Sur. Todas estas experiencias demuestran que la erosión del suelo aumentó en la siguiente secuencia: labranza convencional > labranza vertical (mínima labranza) > cero labranza > pradera natural.

En los resultados de las mediciones experimentales analizadas surgen elementos repetitivos relacionados, que condicionan el proceso de degradación de suelos por erosión, entre los cuales pueden citarse:

- El origen, tipo y condición del suelo donde está ocurriendo el deterioro

- Las características de la topografía predominante respecto al grado de inclinación y largo de la pendiente

- Las características de duración e intensidad de las lluvias erosivas ocurridas

- La cobertura vegetal existente (ya sea sobre la forma de cultivos o residuos) que se interpone a la energía cinética de la lluvia

- La existencia de prácticas simples de manejo y conservación de suelos capaces de reducir las pérdidas por erosión

Sin perjuicio de lo anterior, subsiste una interrogante que muy pocos estudios abordan. Esta es la pérdida de productividad del sitio que experimenta pérdidas físicas de suelo a causa de la erosión, o dicho en otras palabras, la pérdida de fertilidad inherente que experimenta anualmente el espacio productivo del agricultor a causa de la erosión, aspecto que incidirá negativamente en los rendimientos y rentabilidad de su gestión productora futura.

Una importante contribución a este conocimiento es el que realiza el SAG, a partir de 1994, en el “Centro de Medición de Pérdida de Productividad de Suelos por Erosión Hídrica”, instalado con apoyo inicial de FAO y que se mantiene en funcionamiento en el Fundo Chequén, Comuna de Florida, Provincia de Concepción, VIII Región.

Los resultados de las mediciones obtenidas para los años 1994 y 1995 se presentan en los Cuadros N° 6, N° 7 y N° 8 respectivamente.

Cuadro N° 6. Pérdida de suelos y escorrentía anual (% del total de la precipitación) en un suelo haploxeralf, bajo diferentes coberturas y lluvia natural (Chequén, Concepción, Chile).

Tratamientos	ton/ha/año		mm (% de agua lluvia)			
	1994	1995	1994	%	1995	%
T1	31.38	28.07	133.8	14,46	171.1	19,3
T2	1.59	37.4	48.47	5,24	238.93	26,96
T3	0.17	3.83	8.79	1,00	42.00	4,70
T4	1.53	3.70	24.14	2,60	65.26	7,37
T5	0.29	0.10	37.00	4,00	1.95	0,20
T6	0.23	0.15	11.47	1,24	3.19	0,36
Precipitación Total			925 mm		886 mm	

T1: Suelo arado sin cobertura

T2: Suelo arado con malla plástica 18% cobertura (apertura mesh 7 mm x 3 mm)

T3: Suelo arado con malla plástica 30% cobertura (apertura mesh 1 mm x 1 mm)

T4: Barbecho y siembra trigo tradicional

T5: Siembra trigo Cero Labranza

T6: Pradera permanente existente por más de 25 años

Con relación a los nutrientes perdidos anualmente, tanto los que se encuentran contenidos en los sedimentos erodados, como los que van disueltos en agua de escorrentía captada, en términos generales tienen una estrecha relación con la cantidad de suelo perdido y los volúmenes de agua de escorrentía medidos. Especial mención debe realizarse de los altos tenores de materia orgánica y nitrógeno total perdidos, cuyos promedios anuales fluctúan entre las 1,7 a 1,9 ton/ha/año para la M.O. y los 45 a 82 kg/ha/año para el N, en los tratamientos más desfavorables.

Cuadro N° 7. Pérdida anual de nutrientes. Chequén, Florida, VIII Región.

Nutriente	Kg/ha/año											
	Trat. 1		Trat. 2		Trat. 3		Trat. 4		Trat. 5		Trat. 6	
	1994	1995	1994	1995	1994	1995	1994	1995	1994	1995	1994	1995
Pérdida anual de nutrientes en el sedimento erodado por tratamiento y año de medición												
M.O.	1977	1600	102	3685	11	467,7	93	270,7	18	7,8	n.d.	8,7
N	82	81,9	5	90	1	11,6	4	10,9	8	0,3	n.d.	0,4
P	n.d.	0,2	n.d.	0,3	n.d.	0	n.d.	0	n.d.	0	n.d.	0
K	n.d.	4,2	n.d.	6,6	n.d.	0,9	n.d.	0,8	n.d.	0	n.d.	0
C.O.	1145	856	59	1238	5	149,3	54	146,4	11	3,6	n.d.	5,2
Ca int.	61,2	76,7	2,7	106,5	0,29	15,2	3	13,2	0,6	0,1	n.d.	0
K int.	7,2	9,8	0,4	14,72	0,04	2,09	0,37	2,01	0,07	n.d.	n.d.	n.d.
Mg int.	10,9	12,9	0,47	16,87	0,05	2,42	0,54	2,13	0,1	n.d.	n.d.	n.d.
Na int.	1	0,9	0,4	1,51	0	0,18	0,04	0,2	0,01	n.d.	n.d.	n.d.
Al int.	n.d.	0,3	n.d.	0,23	n.d.	0	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Zn	0,31	7,1	0,92	11,28	0,12	2,03	0,92	1,69	0,18	n.d.	n.d.	n.d.
Fe	0,88	0,86	0,02	1,28	0	0,05	0,02	0,12	0	n.d.	n.d.	n.d.
Cu	0,05	0,05	0	0,07	0	0	0	0,01	0	n.d.	n.d.	n.d.
Mn	n.d.	5,75	n.d.	7,26	n.d.	0,38	n.d.	0,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pérdida anual de nutrientes en el agua de escurrimiento por tratamiento y año de medición												
N - NO ₃	2,14	1,94	1,52	4,15	0,35	1,63	0,58	4,21	0,17	0,19	0,58	0,28
N - NH ₄	1,84	2,42	0,02	0,55	0,08	1,12	0,01	0,39	0,01	0,08	0,04	0,06
Ca	4,62	3,77	1,77	3,28	0,54	1,83	0,6	3,3	0,42	0,09	0,73	0,21
K	6,34	4,02	3,07	4,12	0,76	1,15	1,1	3,72	0,42	0,11	1,64	0,22
Mg	1	0,6	0,36	0,42	0,09	0,09	0,18	0,26	0,06	0,01	0,15	0,03
Na	4,35	2,36	1,61	2,47	0,38	0,8	0,68	1,58	0,17	0,06	0,49	0,13

Fuente: Raggi, 1996.

Existe el convencimiento que la recuperación total de un suelo degradado no siempre es una tarea técnicamente y/o económicamente viable. Lo que existe es una respuesta diferenciada, de suelo a suelo, teniendo en consideración las propiedades físicas y químicas que presenta el suelo remanente. En zonas templadas el nitrógeno y el fósforo parecen ser los principales factores limitantes al rendimiento de los cultivos. Por eso, en casos de erosión leve la aplicación de los nutrientes indicados en cantidad apropiada, normalmente recupera la producción; mientras que en caso de erosión moderada a fuerte, ante la significativa pérdida de materia orgánica, es necesario considerar además la adición de abonos orgánicos (Prado y Veiga, 1992).

Cuadro N° 8. Valoración económica anual por hectárea pérdidas nutricionales. Chequén. promedios años 94/95

COSTOS	TRAT. 1		TRAT. 2		TRAT. 3		TRAT. 4		TRAT. 5	
	\$	%	\$	%	\$	%	\$	%	\$	%
Inorgánicos	53.904	37	32.819	22	10.187	38	11.352	43	1.707	47
Orgánicos	23.504	15	19.804	14	2.552	10	2.674	10	156	4
M.de Obra	3.817	3	7.565	5	942	4	441	2	56	2
Aplicación	33.333	23	60.672	42	7.951	29	4.633	19	628	18
Transporte	18.519	13	11.780	8	2.690	10	1.463	17	711	20
Financieros	13.311	9	13.263	9	2.432	9	2.357	9	326	9
TOTAL	146.428	100	145.903	100	26.754	100	25.920	100	3.584	100

Fuente: Lara y Verdugo, 1997.

Nota: Valoración según modelo optimizado de menor costo para reponer M.O y nutrientes perdidos, expresados en término de compost y fertilizantes inorgánicos comerciales y uso de excedentes de residuos vegetales disponibles en el predio.

Otra consideración de importancia la constituye el análisis de los volúmenes de escorrentía expresada en porcentaje de la precipitación anual registrada para cada año. Los resultados indican que los tratamientos más desfavorables experimentaron pérdidas por escorrentía superficial, entre el 15% y 25% del total de la lluvia caída. Al respecto, cabe formularse la pregunta de cual podría ser el resultado en términos de mayor rendimiento y productividad susceptible de obtenerse en terrenos similares de secano, a los que por medio de prácticas de manejo y conservación de suelos, fuera posible mejorarles el balance hídrico edáfico de período otoño - primavera, introduciendo la mayor parte de esta escorrentía superficial a nivel de profundidad de raíces, y de paso evitar el arrastre de sedimentos.

El corto período de experimentación en Chequén, no es suficiente para establecer correlaciones de mayor base científica, no obstante, de los resultados obtenidos se perfila claramente que (Raggi, 1996):

La conservación del suelo como recurso productivo fundamental, pasa necesariamente por mantener una adecuada cubierta vegetal en el período de máxima erosividad de las lluvias.

Tanto los rastrojos (material vegetal inerte) como las plantas vivas, contribuyen eficientemente a la protección del suelo contra la erosión.

Dicho material vegetativo tiene el denominador común de estimular una mayor actividad biológica en el perfil, lo que en definitiva genera, mantiene y mejora la estructura del suelo, otorgando la estabilidad necesaria para su resistencia a la erosión.

Además, se favorecen las relaciones físico - químicas de los procesos internos que ocurren en el suelo.

1.3. ACTUALIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES EROSIONADAS

Como es de conocimiento general, los trabajos de evaluación de la sensibilidad potencial de suelos a la erosión por teledetección y SIG que desarrolla actualmente el SAG, cumplen el objetivo de perfeccionar la información sobre procesos de erosión y proporcionar antecedentes jerarquizados para el conocimiento del estado y condición en que se encuentran los recursos de suelo y vegetación en el ámbito agropecuario, sobre todo en aquellas áreas más degradadas o de mayor riesgo de erosión.

Dicha información elaborada mediante análisis multicriterio, dirigida a establecer una planificación indicativa del uso de dichos recursos, permite elaborar términos de referencia y recomendaciones para priorizar y dimensionar el tipo y grado de intensidad en que deberán ser aplicadas las medidas y prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas, relevantes a promover para el desarrollo sostenido de tales áreas.

Para abordar dicha tarea, el SAG ha recibido cooperación y asistencia técnica internacional, para evaluación de la sensibilidad de los suelos a la erosión por teledetección multitemporal y SIG, a través del Bureau des Recherches Géologiques & Minières (BRGM), empresa semiestatal especializada en el manejo de ciencias de la tierra y uso de información satelital, de Francia.

Los criterios utilizados en la ejecución de la actualización (Ver Figura N°1):

- a) **1^{er}. Criterio:** que se considera por experiencia como el más importante corresponde al tipo y a la densidad de la cubierta vegetal, la que tiene un rol fundamental en cuanto a la protección de los suelos contra el impacto de las lluvias erosivas, limitando el escurrimiento superficial de las aguas, ayudando a mantener la estabilidad y propiedades del suelo.
- b) **2^{do}. Criterio:** se relaciona con las pendientes que afectan a la superficie del suelo; ellas controlan la velocidad de las aguas de escorrentía y en consecuencia su agresividad y capacidad de transporte de sedimentos.
- c) **3^{er}. Criterio:** corresponde a la densidad del drenaje natural, que refleja en cierta medida las características del paisaje y la resistencia del suelo al arrastre de partículas por las aguas que escurren por su superficie, e indica la forma en que los espacios productivos han sido sometidos a la acción del hombre.

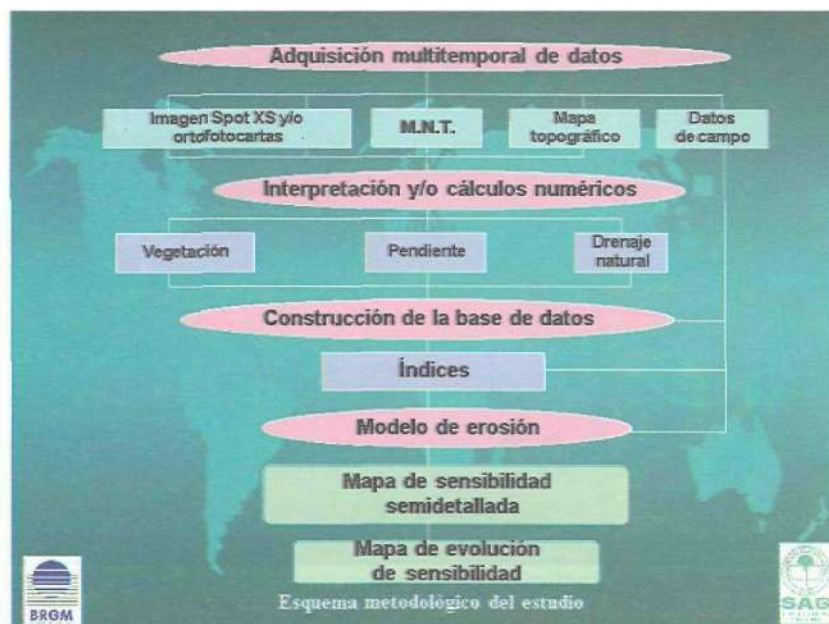


Figura N° 1. Adquisición multitemporal de datos.

Observaciones detalladas de campo (proceso de validación de información en terreno) permiten transformar los criterios señalados en los respectivos índices de protección de los suelos, de agresividad del agua de escurrimiento y de incisión del paisaje; los cuales introducidos por digitalización a un Sistema de Información Geográfico (SIG); constituyen una base de datos georeferenciados para determinar la sensibilidad de los suelos a la erosión (Ver Figuras N° 2, N° 3 y N° 4).

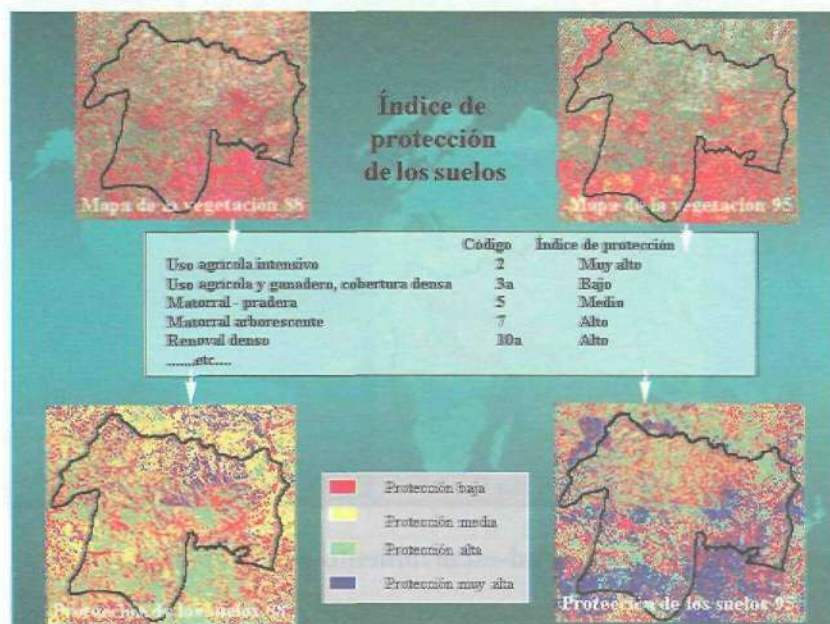


Figura N° 2. Índice de protección de los suelos.

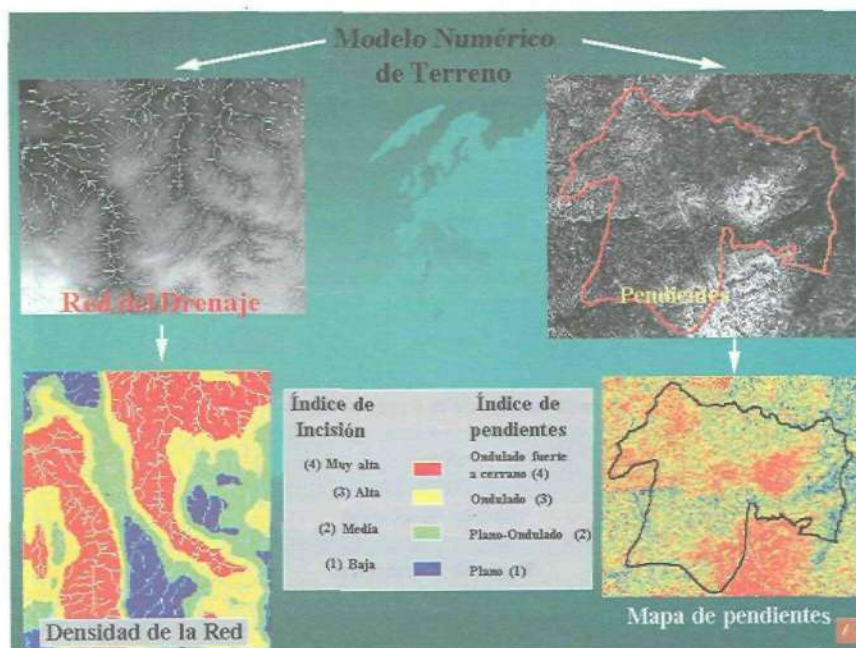


Figura N° 3. Modelo numérico de terreno.

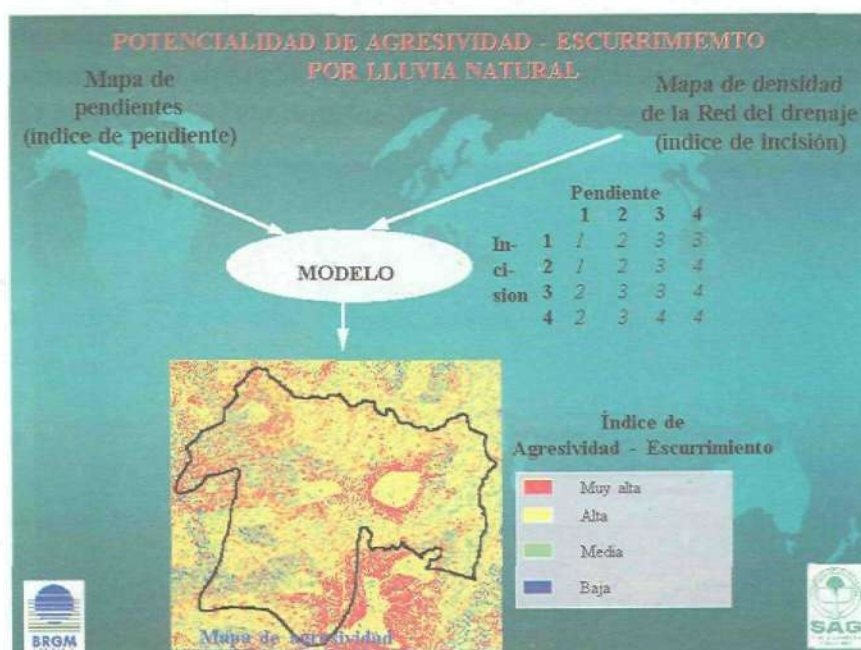


Figura N° 4. Potencialidad de agresividad-escurrimiento por lluvia natural.

Los estudios semidetallados a escala 1: 50.000 y menor, corresponden a un procesamiento numérico preponderante de la información y para tales efectos se utilizan imágenes SPOT multiespectrales procesadas por software ERDAS, junto con un modelo numérico de elevación de terreno (MNT).

El MNT se fabrica a partir de pares estereocópicos adicionales de imágenes SPOT pancromáticas. Su resolución permite calcular por estereocomparación numérica un modelo de elevación, con precisión de 20 x 20 m en el eje de las XY y de 10 m en el eje de las Z; dando en la práctica valores altitudinales cada 10 m. Proporciona además, una ortoimagen multiespectral que tiene la precisión de un mapa topográfico.

El modelo permite calcular el mapa de pendientes, mediante la definición de rangos de acuerdo al grado inclinación de los suelos, del cual se obtiene el índice de pendiente. También permite calcular en forma automática la red de drenaje natural presente, que una vez convertida en mapa de densidad de drenaje superficial, correlacionado con observaciones de campo, se obtienen los índices de incisión. La combinación de ambos índices genera el índice de agresividad y escurrimiento de la geomorfa. Del mismo modo el MNT permite efectuar la localización de eventuales embalses de temporada para fines de regadío, donde exista una configuración topográfica capaz de reunir volúmenes significativos de caudales con origen en precipitaciones invernales y, estimar la superficie beneficiada individual o colectiva en áreas de pequeños a medianos productores, con objeto de diversificar la producción agrícola.

La clasificación supervisada a través de imágenes satelitales de la cubierta vegetal, de acuerdo a las clases de uso observadas en el terreno, permite a su vez establecer índices agrupados de protección de los suelos.

La combinación de estos tres criterios permite finalmente definir áreas de mayor o menor sensibilidad a la erosión como resultado de una adición estadística de píxeles (unidad básica mínima de 20 x 20 m de resolución, según el satélite utilizado), clasificados según una matriz de valores crecientes que se entregan en los Cuadros N° 9 y N° 10.

Con el objeto de ejemplificar el tipo de información obtenida, a continuación se presentan resultados alcanzados en el estudio de caso desarrollado para la microregión de Portezuelo, VIII Región, en el marco de acción del Proyecto de Desarrollo de Comuna Pobres del Secano Costero, VI, VII y VIII Regiones o PRODECOP - SECANO, que lleva a cabo INDAP a partir de 1996. Con los antecedentes reunidos es posible afirmar con certeza que (Ver Figuras N° 5 y N° 6).

Cuadro N° 9. Índices primarios

a: Índice de protección de los suelos

Clase	Uso del Suelo (por interpretación visual)	Índice de Protección 1 Bajo	Índice de Protección 2 Medio	Índice de Protección 3 Alto	Índice de Protección 4 Muy Alto
1	Zona poblada				X
2	Uso agrícola intensivo				X
3a	Uso agrícola y ganadero, cobertura densa	x			
3b	Uso agrícola y ganadero, cobertura poco densa	x			
4	Uso agrícola extensivo, sobreutilizado	x			
5	Matorral - pradera		x		
6a	Matorral denso			x	
6b	Matorral poco denso		x		
7	Matorral arborescente			x	
8	Bosque artificial			x	
9a	Bosque nativo denso				X
9b	Bosque nativo degradado		x		
10a	Renoval denso			x	
10b	Renoval abierto		x		
13	Playa y dunas	x			
14	Mar				
15	Río				
17	Víña de secano	x			

b: Índice de Pendiente

Clase	Pendiente	Valor límite de clase
1	Plano	0 a 2.5%
2	Plano - ondulado	2.6 a 10.5%
3	Ondulado	10.6 a 18.5%
4	Ondulado fuerte a Cerrano	> 18.6%

c: Índice de Incisión

Clase	Densidad de la red	Longitud en m/ha (promedio por clase)
1	Baja	1 - 10 (3)
2	Media	11 - 30 (21)
3	Alta	31 - 50 (42)
4	Muy alta	> 51 (67)

Cuadro N° 10. Índices secundarios

a: Índice de agresividad - escurrimiento

		PENDIENTE			
		Plano	Plano ondulado	Ondulado	Ondulado fuerte
INCISIÓN	Baja	1	2	3	3
	Media	1	2	3	4
	Alta	2	3	3	4
	Muy Alta	2	3	4	4

b: Índice de sensibilidad a la erosión

		PROTECCIÓN			
		Bajo	Medio	Alto	Muy alto
AGRESIVIDAD - ESCURRIMIENTO	Bajo	3	2	1	1
	Medio	3	2	2	1
	Alto	4	3	2	1
	Muy alto	4	4	3	2

a) El tamaño de la microregión alcanza a las 13.956,84 hectáreas y que al interior del perímetro que la limita, existe una infraestructura vial y de caminos secundarios que alcanza aproximadamente a 136,42 kilómetros, lo que se determina, excepto en algún período invernal, aceptable para fines de accesibilidad y desarrollo productivo (en promedio 102,3 ha/km).

b) Que la evolución de la sensibilidad a la erosión en el período 1988 - 95, no es uniforme al interior de la microregión, por lo que se detectan en 1995 áreas que:

Han mejorado su condición de sensibilidad a la erosión, en relación a 1988.

Otras que han mantenido la misma sensibilidad a la erosión que en 1988.

Otras en que se han degradado en su condición de sensibilidad a la erosión, con respecto a 1988.

Este análisis es particularmente importante junto a la ponderación de diversas variables socio - económicas, al momento de establecer la priorización y capacidad de respuesta de las distintas áreas a intervenir.

c) El perímetro de la microregión comprende la existencia aproximada de 362 predios de uso silvoagropecuario, los que agrupados según tamaño se ordenan por estratos, según se muestra en el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11. Número de predios de la microregión según tamaño y superficie.

N° de Predios	Tamaño en has	Sup. Total en has	%	Promedio en has
131	< de 5	308,93	2,21	2,36
67	5 - 10	459,18	3,28	6,85
56	10 - 20	778,83	5,58	13,91
30	20 - 30	758,81	5,44	25,29
24	30 - 50	891,43	6,39	37,14
22	50 - 100	1.632,61	11,70	74,19
32	> de 100	9.031,55	65,18	282,24
Caja de río		95,50	0,22	
Total 362		13.956,84	100,00	

- d) Que invocando el perímetro de la microregión en el SIG y efectuando la correlación correspondiente con la información precedente, es posible determinar la siguiente distribución total en superficie y porcentaje de los distintos tipos de sensibilidad a la erosión existente a Mayo de 1995. Cuadro N° 12.

Cuadro N° 12. Superficie total de hectáreas según sensibilidad a la erosión.

Sensibilidad a la Erosión	Superficie Total en has	%
Muy Alta	3.961,36	28,38
Alta	3.522,10	25,24
Media	3.818,91	27,36
Baja	2.654,47	19,02
Total	13.956,84	100,00

- e) Que invocando en el SIG cualquier límite individual predial, compatible con la resolución de las herramientas aplicadas y conforme a los atributos conferidos, es posible disponer de una información referencial sobre el tipo, forma, tamaño y distribución de las distintas sensibilidades a la erosión que afectan a cada predio. Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13. Sensibilidad a la erosión.

Predio N°	Sensibilidad a la Erosión en has								Sup. Total has
	Muy Alta	%	Alta	%	Media	%	Baja	%	
1	164,84	22,76	145,36	20,07	182,96	25,26	231,20	31,91	724,36
2	57,48	28,68	46,32	23,31	80,56	40,19	16,08	8,02	200,44
3	67,64	45,07	36,92	24,60	11,04	7,36	34,48	22,97	150,08
4	34,04	45,51	24,40	32,62	14,20	18,98	2,16	2,89	74,80
5	9,44	25,87	12,71	34,83	10,55	28,91	3,79	10,39	36,49
6	0,80	3,15	1,90	7,50	19,12	75,36	3,55	13,99	25,37
7	3,05	22,54	3,62	26,76	6,86	50,70	-	-	13,53
8	1,45	21,26	0,87	12,76	4,50	65,98	-	-	6,82
etc.									

- f) Efectuada la modelación para distintas subcuencas aportantes de volúmenes significativos de excedencia de la precipitación efectiva invernal (obtenido del MNT y respectivas coberturas vegetacionales), correlacionada con restricciones de accesibilidad, tamaño predial (propiedades medianas a pequeñas), mayor superficie potencial individual y colectiva susceptible de ser beneficiada y características de eficiencia de la obra; es posible determinar el eventual emplazamiento para análisis de factibilidad de obras de acumulación estacional de agua para fines de diversificación de la producción.

Obviamente el determinar un mapa de sensibilidad de suelos a la erosión por medio de imágenes SPOT, con auxilio de un Modelo Numérico de Terreno (MNT), no constituye el objetivo final de la línea de acción descrita. Sólo corresponde a una etapa de organización más eficiente de la información para orientar y asistir oportunamente, la toma de decisiones que pudieren adoptarse en la ejecución de proyectos de inversión que contemplen variables de sustentabilidad ambiental y estén destinados a mejorar la calidad de vida rural.

En esta perspectiva, es posible señalar que tanto el MINAGRI en general, como el SAG en particular, disponen actualmente de la orientación metodológica, las herramientas y la capacidad técnica e implementación necesaria para generar productos destinados a:

- Identificar el estado actual y tendencia de la degradación por erosión que exhiben áreas de interés agropecuario en ecosistemas frágiles.
- Recomendar la priorización de áreas para la aplicación de planes y programas para el mejoramiento de la calidad de vida rural.
- Cuantificar el ámbito en que diferentes soluciones tecnológicas o la combinación de ellas, deberán ser aplicadas para minimizar, detener y revertir los procesos de degradación por erosión.
- Dimensionar el tipo de incentivos necesarios a implementar, para promover el uso sostenible de tierras y la aplicación de medidas y prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas.



Figura N° 5. Sensibilidad de los suelos a la erosión.

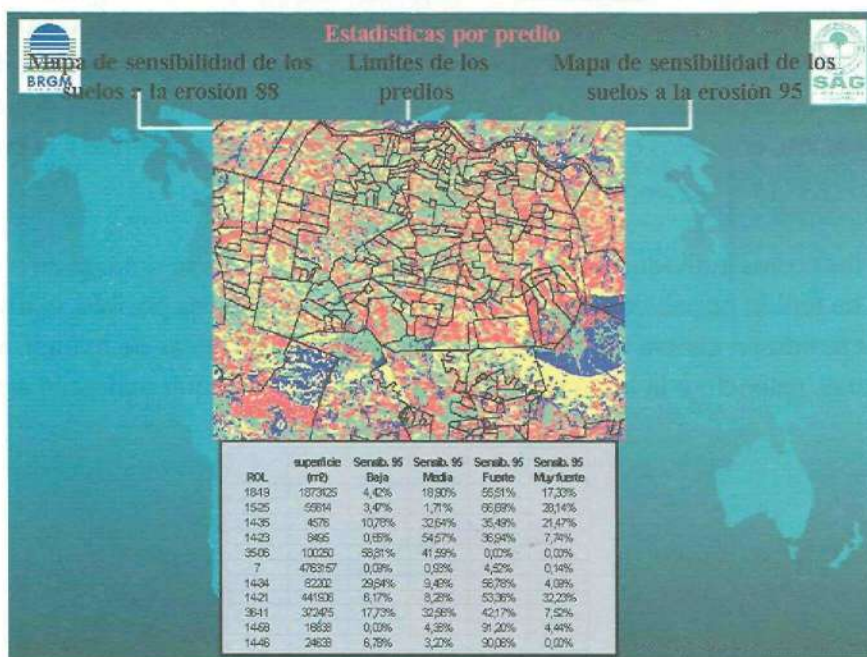


Figura N° 6. Estadística por predio.

1.4. PRÁCTICAS DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

A través del presente documento técnico se ha establecido la importancia que reviste el control del escurrimiento superficial de las aguas lluvias, para minimizar o detener la degradación del suelo por erosión hídrica. A dicho proceso de control contribuye en forma significativa la protección del suelo que otorga una adecuada cubierta vegetativa en época de máxima erosividad de la lluvia, así como, el estimular una mayor actividad biológica en el perfil del suelo para mantener y mejorar su estructura, otorgando la estabilidad necesaria para su resistencia a la erosión.

Por otra parte en el secano chileno, llueve en abundancia durante algunos meses (otoño - invierno) dejando el suelo con humedad e incluso saturado. Luego la lluvia disminuye para suspenderse por completo y la humedad disponible para las plantas va decreciendo lenta pero constantemente hasta llegar a su agotamiento (primavera - verano). Durante este último período las plantas florecen, fructifican, maduran, semillan y se secan. En el patrón climático descrito las prácticas de "cosecha de aguas lluvias", es decir, la introducción de la mayor proporción posible de aguas de escurrimiento superficial a nivel de profundidad de raíces en el perfil del suelo, reducen el período de falta de humedad, proporcionando agua a las plantas hasta más tarde en su correspondiente período vegetativo.

En el Cuadro N° 14, se proporciona un resumen descriptivo de algunas prácticas simples de manejo y conservación de suelos y aguas, que cumplen los objetivos antes señalados, y que son efectivas, sencillas y de bajo costo. Ellas en su conjunto se han estimado adecuadas para ser propuestas para su ejecución a pequeños y medianos productores del secano interior de la Cordillera de la Costa, con objeto que sean incorporadas en forma permanente como parte integrante de los sistemas productivos en aplicación, en suelos que por sus características de susceptibilidad a la erosión así lo requieran.

Una estimación de los costos individuales de cada una de estas prácticas se entrega en el Cuadro N° 15. Esta valoración ha tenido por objeto identificar en la forma más precisa posible, el diferencial de costos que debe ser tenido en cuenta cuando se aplica una o más prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas, respecto a la labranza y agricultura tradicional que realiza el agricultor.

Cuadro N° 14. Resumen descriptivo de algunas prácticas simples de manejo y conservación.

PRÁCTICA	DEFINICIÓN	PROPÓSITO PARA EL SUELO	CONDICIONES PARA SU UTILIZACIÓN	FRECUENCIA	TIPOS
L- AGRONÓMICAS					
Rotación de Cultivos	Sucesión de cultivos diferentes en forma de ciclo	• Mantener su fertilidad y condiciones físicas. • Disminuir la erosión a valores tolerables de pérdida. • Controlar la incidencia de enfermedades y plagas. • Conservar la humedad del suelo entre temporadas • Limitar requerimientos de riego en áreas regadas	En tierras arables <u>Precaución</u> Tener presente los hábitos radiculares de plantas a emplear, observar limitaciones a la penetración de raíces en suelos delgados o de texturas densas o livianas	En función de los años que dure la rotación	a) Agotantes (< de 25% con pasturas) b) De conservación (40-60% con pasturas) c) De rehabilitación (> de 60% con pasturas)
Cultivos en Fajas	Cultivar en fajas alternadas con ancho variable, cultivos tupidos o empastados y cultivos escardados	• Disminuir la velocidad de escorrentía del agua • Aumentar la infiltración del agua en el suelo • Retener pérdidas de suelo en fajas de pasto o de cultivos densos • Mantener o aumentar la fertilidad del suelo • Disminuir el impacto erosivo de la lluvia • Controlar la erosión eólica	En tierras arables con limitaciones por pendiente, textura y permeabilidad <u>Precaución:</u> Emplear solas en terrenos < 8 a 10% de pendiente Emplear combinadas en terrenos > 10% de pendiente	Anual o permanente según tipo de rotación o uso del suelo	a) Fajas en contorno b) Fajas de contraviento c) Fajas de contención d) Fajas fraccionadas

PRÁCTICA	DEFINICIÓN	PROPÓSITO PARA EL SUELO	CONDICIONES PARA SU UTILIZACIÓN	FRECUENCIA	TIPOS
Coberturas vegetales y abonos verdes	Cualquier vegetal vivo o muerto que cubre y protege el suelo de la acción del viento o del agua	Reducir energía del impacto de la gota de lluvia Controlar el flujo del agua de escurrimiento Reducir la influencia del viento sobre la superficie Proteger el suelo de pérdidas de nutrientes por lixiviación Incrementar el contenido de materia orgánica Favorecer la estructura y capacidad de retención de humedad del suelo	En suelos de cultivo y de plantaciones permanentes (entrelineas de frutales), con precipitaciones entre 500 a 1500 mm/año con pendientes variables Precaución: Elegir especies cuyos residuos o material Vegetativo tenga una mejor relación C/N	Anual o de más años	a) Vegetales vivos a.1) Cobertura de altura media (cereales y leguminosas ejercen > protección del suelo) a.2) Cobertura de altura alta (arbustos y otras especies ejercen < protección del suelo) b) Vegetales muertos 2 a 4 ton/paja/ha
Labranza o surcos en contorno	Labranza en forma continua o separada entre sí, según tipo de cultivo o plantación efectuada en curva de nivel	Reducir la velocidad del escurrimiento superficial del agua Favorecer una mayor infiltración del agua y aumentar su disponibilidad para las plantas Disminuir las pérdidas por erosión hídrica Facilitar las labores en suelos con pendientes	En suelos con precipitaciones iguales o menores a 1000 mm/año, para siembra de cereales y pasturas en lomajes Precaución: En pendientes uniformes: líneas guías perpendiculares a pendientes medias En pendientes compuestas: proceder a separar sectores de pendientes similares, estratificando el área	Anual a la siembra de cereales leguminosas o pasturas	

PRÁCTICA	DEFINICIÓN	PROPÓSITO PARA EL SUELO	CONDICIONES PARA SU UTILIZACIÓN	FRECUENCIA	TIPOS
L- AGRONÓMICAS					
Mínima labranza	Sistema que emplea arado cincel que efectúa labor de tipo vertical, sin invertir y mezclar capas del suelo	No remover el horizonte o capa superficial Evitar la compactación o pie de arado que origina el uso de arado de vertedera Favorecer una mayor protección contra la erosión hídrica y eólica Aumentar la infiltración del agua en el suelo Suprimir la práctica del barbecho	En tierras arables y suelos de aptitud ganadera para la siembra de cultivos, pero con pasturas permanentes posteriores	Aplicable a la siembra de cereales y leguminosas en secano, en función de la duración de la rotación de cultivos	
Cero Labranza	Sistema de cultivo que elimina el laboreo del suelo utiliza herbicidas y maquinaria que introduce insumos en el suelo con rastrojos o vegetación en superficie.	Eliminar el movimiento e inversión del suelo Otorgar una mayor protección contra la erosión hídrica y eólica por presencia de residuos vegetales Conservar una mayor humedad en el suelo Mantener condiciones favorables de aireación para una mayor actividad microbiológica Facilitar el uso de terrenos con pendientes Realizar siembra de cultivos con inclemencias del tiempo desfavorables	En tierras arables y suelos de aptitud ganadera para la siembra de cultivos y pasturas. Precaución: Mantener una adecuada cantidad de residuos muertos sobre la superficie del suelo para evitar dificultades a la penetración de implementos y eventuales efectos de alelopatía entre la cubierta muerta, malezas y el nuevo cultivo	Aplicable a la siembra de cereales, leguminosas y pasturas en secano	

PRÁCTICA	DEFINICIÓN	PROPÓSITO PARA EL SUELO	CONDICIONES PARA SU UTILIZACIÓN	FRECUENCIA	TIPOS
Subsolado	Práctica de rotura del suelo	Romper estructuras endurecidas Facilitar la penetración y acumulación del agua Facilitar la penetración de las raíces de las plantas Aumentar la aireación del suelo	Puede utilizarse sola o combinada con otras prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas según la profundidad radicular de la rotación de cultivos Precaución: Por potencia de tracción requerida, realizar apropiada selección de subsolado	Anual o periódica según diferentes rotación de cultivos	a) Arado cincel, penetración hasta 0,30 m b) Subsolador, penetración hasta 0,70 m
Canales o Surcos de Desviación	Estructura destinada a evitar el escurrimiento superficial de las aguas	Interceptar escurrimiento superficial de las aguas Obtener mayor humedad del suelo bajo el canal Desviar excesos de agua mientras crece el cultivo hacia desagües protegidos Proteger suelos de áreas planas del escurrimiento proveniente de partes altas	En tierras arables, con una pendiente mínima del canal y en forma perpendicular a la inclinación general del terreno Precaución: Pendiente del canal no superior a 0,5% ni longitud mayor a 100 m.	Anual a la siembra de cereales y leguminosas y periódica según rotación con pasturas	a) simples b) complementarios a: b.1) Estanques cisterna b.2) Terrazas de absorción, de desagüe o mixtas

PRÁCTICA	DEFINICIÓN	PROPÓSITO PARA EL SUELO	CONDICIONES PARA SU UTILIZACIÓN	FRECUENCIA	TIPOS
Cordones de vegetación permanente	Hileras de vegetación permanente destinadas al Control del escurrimiento superficial del agua	Interceptar escurrimiento superficial de las aguas Aprovechar la vegetación para alimento humano (p.ej. alcachofas) o animal (p.ej. arbusto forrajero) Obtener mayor humedad del suelo bajo el cordón Retener carga de sedimentos transportados por el flujo de agua	En tierras arables y de aptitud ganadera asociadas a surco de infiltración a nivel Precaución: Utilizar especies de sistema radicular profundo, que no compitan con cultivo principal, no sean invasoras, de preferencia leguminosas y soporten podas frecuentes	Permanentes	A similar pendiente a) Para cultivos densos: > distancia entre hileras b) Para cultivos poco densos: < distancia entre hileras



II.- ESTRUCTURAS FÍSICAS					
PRÁCTICA	DEFINICIÓN	PROPÓSITO PARA EL SUELO	CONDICIONES PARA SU UTILIZACIÓN	FRECUENCIA	TIPOS
Pozos cisterna	Estructura excavada en parte alta de terreno con pendiente para captar aguas lluvias de surco o canal con 1% de desnivel	Acumular aguas lluvias para uso en verano (aprox. 6.000 lts) Realizar en lugares marginales o alejados Contribuir al proceso de reactivación ecológica en pequeñas áreas Generar gradiente hidráulico suficiente para el empleo de métodos eficientes de riego	Agregar capa aislante para evitar evaporación (aislapol) Tapa de madera para evitar accidentes Si agua de escurrimiento contiene sedimentos usar filtros o desarenador	En número necesario según configuración del terreno (batería de pozos)	
Diques de madera	Estructura que cruza un curso de agua o conducto para disminuir poder erosivo	Restituir la socavación del lecho de una cárcava Moderar y estabilizar la pendiente del lecho de una cárcava Preparar condiciones para plantación en el lecho de una cárcava	Efectuar sondaje para detectar estrata impermeable en el suelo Usar postes sulfatados o tratados con aceite quemado Combinar con otras prácticas agronómicas sobre y bajo el dique	En número necesario según tamaño de la Cárcava	
Zanja de Infiltración o desagüe	Estructura perpendicular a la Mayor pendiente con inclinación de 2% para infiltrar o trasladar agua a baja velocidad	Desviar escurrimiento hacia cabecera de la cárcava e impedir su progreso Reducir longitud de la pendiente Drenar áreas inundadas por fuentes naturales	Ubicar canal a apropiada distancia de la cárcava en terreno consolidado y evitar nuevos desmoronamientos Tener capacidad para recibir el máximo del escurrimiento esperado Complementar con cerco para aislar la cárcava	Una o dos en forma divergente	

PRÁCTICA	DEFINICIÓN	PROPÓSITO PARA EL SUELO	CONDICIONES PARA SU UTILIZACIÓN	FRECUENCIA	TIPOS
Terrazas	Estructura que constituye obstáculo contra acción erosiva del agua produciendo transformación morfológica en la superficie del suelo	Controlar el escurrimiento superficial Parcelar la longitud de la pendiente del terreno Disminuir la velocidad del agua Orientar el flujo superficial para infiltrarlo en el suelo o dirigirlo hasta un lugar estable de drenaje natural Retener la carga de sedimentos transportados por el escurrimiento	Recomendables en terrenos con pendientes entre 4 y 20% Tomar precaución sobre un espaciamiento correcto con asesoría técnica Adecuado dimensionamiento del canal y camellón	Número según diseño técnico	a.- Según destino de las aguas interceptadas: a.1) De absorción a.2) De drenaje a.3) Mixtas b.- Según sección transversal b.1) De base ancha b.2) De base angosta

Fuente: Manual de Conservación de Suelos. (Peralta, 1996) complementado con Manual Integrado de Prácticas Conservacionistas. (FAO Docto. de Campo 10, 1995).

Cuadro N° 15. Estimación costos prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas agricultura campesina.

PRÁCTICA	ESPECIFICACIÓN	COSTOS EN \$ (al 30/09/97) *
1.- Rotación de cultivos	100 m/ha Sólo costos correspondientes a una mayor sistematización por cercos	46.613
2.- Cultivos en fajas	100 m/ha Sólo costo correspondiente al trazado de líneas guías	904
3.- Cubiertas vegetales 3.1.- Muertas	2 - 4 ton/ha Sólo costos acondicionamiento, acopio, traslado y colocación. Material sin valor económico por estar disponible en el predio	16.668
3.2.- Abonos verdes	1 ha Incluye preparación de suelos, siembra fertilización e insumos	97.494
4.- Surcos a nivel	100 m/ha Sólo costos correspondientes al trazado de líneas guías	8.329
5.- Cordón vegetal	100 m/ha. Incluye trazado líneas guías, preparación de, plantación, riego, podas, adquisición de plantas y flete	52.470
6.- Labranza en contorno	100 m/ha Sólo costos correspondientes al trazado de líneas guías	913

PRÁCTICA	ESPECIFICACIÓN	COSTOS EN \$ (al 30/09/97) *
7.- Subsolado		
7.1.- Arado cincel	1 ha Sobre base de arriendo de equipo 75 HP, 3 puntas a 0,3 m profundidad	31.640
7.2.- Subsolador	1 ha Sobre base de arriendo de equipo 90 HP, 1 punta a 0,7 m profundidad	38.137
8.- Dique de postes	1 unidad Incluye 35 postes, disipador, mano de obra y otros materiales	65.540
9.- Zanja de infiltración	10 m Sólo costo correspondiente a mano de obra	4.500
10.- Pozo cisterna	1 unidad Incluye 45 tapas, manga plástica y mano de obra	39.550
11.- Terrazas		
11.1.- Base ancha	1 ha Incluye arriendo equipo 65 HP, 3 discos, con redto. de 166 m/hr, 36 pasadas, con sección transportada de 0,60 m ²	40.098
11.2.- Base angosta	1 ha Incluye arriendo equipo 65 HP, 3 discos, con redto. de 460 m/hr, 10 pasadas, con sección transportada de 0,90 m ²	22.035
12.- Mínima labranza	1 ha Sólo costo de preparación de suelos con equipo arrendado de labranza vertical	31.640
13.- Cero labranza	1 ha Sólo costo de siembran con equipo arrendado que incluye tractor de apoyo	18.657
PRÁCTICA	ESPECIFICACIÓN	COSTOS EN \$ (al 30/09/97) *
14.- Acondicionador de rastrojos	1 ha Incluye arriendo de equipo 65 HP e implemento de corta, pica y distribución	9.586
15.- Aplicación de herbicida	1 ha Incluye arriendo de equipo 65 HP y pulverizador de herbicidas	3.050
16.- Aplicación de compost o estiércol	1 ha Incluye arriendo de equipo 65 HP y equipo de distribución y aplicación	15.839

• 1US\$ = \$ 415

1.5. CUANTIFICACIÓN DE UN PLAN INDICATIVO DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

Todo plan indicativo de manejo y conservación de suelos y aguas para un área determinada de cierta significancia, debe contemplar a lo menos la definición de una estrategia a seguir con sus correspondientes líneas de acción y, la propuesta de soluciones técnicas valoradas económicamente para minimizar, detener o revertir los problemas de la degradación del suelo por la erosión. Estos aspectos deberán ser concordantes con la realidad e intereses locales y haber sido obtenidos de procesos previos participativos efectivos de agricultores, con el objeto de obtener una más fácil aceptación del plan por parte de los potenciales beneficiarios.

Para el ejemplo de la microregión de Portezuelo que se ha venido siguiendo, la estrategia y propuesta de soluciones técnicas han sido obtenidas de la documentación oficial preparada por grupos profesionales interdisciplinarios relacionados al PRODECOP - SECANO (Informe N° 14.894 - CH. Banco Mundial, 1995). Un resumen de dichas estrategias y propuestas de soluciones técnicas que no pretende ser exhaustivo, sino que cumple el objetivo de acotar para fines de valoración económica a nivel de área, parte del total de las soluciones susceptibles de ser aplicadas, se indica en el Cuadro N° 16.

Cuadro N° 16. Estrategia y propuestas técnicas para el manejo y conservación de suelos y aguas en secano interior cordillera de la costa.

OBJETO	ESTRATEGIA	PROPUESTA TÉCNICA	RESTRICCIONES
A. Manejo del suelo	Rotaciones con rubros integrados a plan de desarrollo predial a mediano plazo para proveer de alimentos básicos para el sustento familiar Proveer excedentes monetarios para satisfacer otras necesidades del grupo familiar	A.1.- Predios exclusivamente de secano a) Rotación a 3 años sólo con cultivos (leguminosa de grano c/ barbecho cubierto/ cereal / gramínea) b) Rotación a 5 - 6 años con cultivos y praderas (leguminosa de grano c/barbecho cubierto/ cereal/ pradera de leguminosa por 3 - 4 años) c) Rotación a 10 años con cultivo, pradera y silvopastoreo (cereal asociado c/ pradera mixta y plantación de árboles/ pradera mixta y silvopastoreo por 7 años)	- Limitada a pequeñas superficies con capacidad para la intensificación de cultivos - Producción más extensiva para áreas c/vocación agrícola que incluyen ganadería en el sistema de producción - Para predios de mayor tamaño en suelos con pendientes > al 15%
		A.2.- Predios con alguna disponibilidad de riego a) Áreas de secano con rotaciones ya indicadas b) Áreas de riego con rotación anual de chacarera/ hortalizas de invierno	- Limitada a pequeñas superficies según condiciones de mercado - Evitar repetir cultivos parecidos por razones sanitarias

OBJETO	ESTRATEGIA	PROPUESTA TÉCNICA	RESTRICCIONES
B. Labranza del suelo	Labranza convencional restringida sólo a suelos con baja sensibilidad a la erosión Cero Labranza, labranza vertical (mínima labranza) en suelos con media y alta sensibilidad a la erosión Cero labranza en suelos con alta y muy alta sensibilidad a la erosión Reemplazar la acción de aradura cava y recava en viñas de secano por labranza vertical, siega y control químico de malezas en suelos de media a muy alta sensibilidad a la erosión	B.1.- Para siembra de cereal. Cero Labranza (ó concluir preparación de suelos con terrones no superiores a 3 - 5 cm y combinar con otras prácticas) B.2.- Para siembra de leguminosa de grano. Cero Labranza (ó concluir preparación de suelos con terrones no superiores a 3 - 5 cm y combinar con otras prácticas) B.3.- Para siembra de praderas. Cero Labranza. (ó concluir preparación de suelos con terrones no superiores a 1 - 2 cm previa eliminación de residuos vegetales y combinar con otras prácticas) B.4.- En viñas establecidas (replantación o mugronaje en curva de nivel, espaciándolas para facilitar labor de control de malezas y uso de abonos verdes) B.5.- En viñas a establecer (plantación en curva de nivel c/ surcos en contorno, control químico de malezas sobre la hilera y siega en la entrelinea)	- Disminución del número de labores y cambio en época de rotura - Disminución del número de pasadas de implemento de acuerdo a la condición del suelo, distribución de lluvias locales y fecha de siembra - Iniciar labores después de primera lluvia efectiva y terminar las labores con rastra de clavos o cultivadora - Labores en contorno para suelos con pendientes > al 3% - Agricultores más progresistas - Control químico de malezas - Agricultores más progresistas - Control químico de malezas - Readecuar implementos para la cava y recava a fin de reducir profundidad de labor - De ser necesario la labranza emplear arado cincel y cultivadores
C.- Manejo de la vegetación	Racionalizar el uso del bosque nativo para asegurar su conservación y revertir su explotación incontrolada para obtener leña y carbón	C.1.- Recuperación de especies nativas (alcanzar la densidad natural replantando lugares descubiertos del bosque) C.2.- Forestación con especies exóticas (combinar con otras prácticas de manejo y conservación de suelos)	- Uso de especies predominantes del lugar e impedir acceso de animales - Control químico y biológico de plagas y enfermedades
D.- Manejo del agua	Cosecha de aguas de escurrimiento superficial, introduciéndolas en el perfil del suelo con fines productivos directos	D.1.- Empleo de prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas D.2.- Construcción de pozos cisterna y pequeños embalses para excedentes	- Empleo de una adecuada eficiencia de riego

Fuente: Propuestas Técnicas para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables. Documento de trabajo PRODECOP - SECANO.

El resultado de esta cuantificación por índice de sensibilidad a la erosión, contrastado con las diferentes soluciones técnicas propuestas, debidamente valoradas según costo individual de cada una de las prácticas propuestas, permite finalmente estimar una valoración de los recursos económicos necesarios para implementar el plan indicativo de uso, manejo y conservación de suelos y aguas propuesto, tal como se indica en el Cuadro N° 17.

Cuadro N° 17. Valoración plan indicativo de manejo y conservación suelos y aguas. Microregión de Portezuelo. (\$ al primer semestre de 1997).

Predios	Sup.Total ha	Sensibilidad Muy Alta		Sensibilidad Alta		Sensibilidad Media		Sensibilidad Baja	
		%	Sup. Ha	%	Sup. ha	%	Sup. ha	%	Sup. ha
32	9.031,55	25,72	2.322,92	21,69	1.958,94	32,73	2.956,03	19,86	1.793,66
22	1.632,61	45,51	743,00	32,62	532,56	18,98	309,87	2,89	47,18
24	891,43	25,87	230,61	34,83	310,49	28,91	257,71	10,39	92,62
30	758,81	3,15	23,90	7,50	56,91	75,36	571,84	13,99	106,16
56	778,83	22,54	175,55	26,76	208,41	50,70	394,87	-	
67	459,18	21,26	97,62	12,76	58,59	65,98	302,97	-	
Total 231	13.530,41		3.593,60		3.125,90		4.793,29		2.039,62
131	308,41	(sin solución de prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas)							
Caja de Río	95,50								
Total 262	13.956,84	(sin prácticas conservación)							

Plan Indicativo de CSA	Miles \$	Sup./Práct.	Miles \$	Sup./Pract.	Miles \$		
	894,40 ha	309.399	1.562,95 ha	477.999	1.198,32 ha US\$ 286/ha	142.346	
	US\$ 833/ha	\$ 346/ha	US\$ 737/ha	\$ 305/ha		\$ 119/ha	
	Forestación	-----	Forestación	-----	Cereal	-----	
	Diques (2)	117.238	diques (1)	204.871	Cincelado	37.915	
	Zanjas inf. (20)	80.496	Zanjas inf. (20)	140.666	Cero labranza	37.499	
	Subsolado	34.110	Subsolado	59.606	Surcos a nivel	9.981	
	Terrazas base	35.864	Cercos (1)	72.854	Labranza en contorno	1.094	
	Ancho (2)						
	Cercos (1)	41.691			Cercos (1)	55.857	
	1.796,80 ha	589.288	781,50 ha	99.341	1.198,32 ha US\$ 174/ha	86.489	
	US\$ 790/ha	\$ 328/ha	US\$ 306	\$ 127/ha		\$ 72/ha	
	Forestación	-----	Cereal asoc.	-----	Leguminosa	-----	
	Diques (2)	235.525	Cincelado	24.727	Cincelado	37.915	
	Zanjas inf. (20)	161.712	Labranza en cont.	713	Cero labranza	37.499	
	Subsolado	68.525	Cero labranza	24.455	Surcos a nivel	9.981	
	Terraza b. ang.	39.592	Surcos nivel (2)	13.018	Labranza en cont	1.094	
	Cercos (1)	83.754	Cercos (1)	36.428			
	894,40	104.606	781,45 ha	92.832	2.396,65 ha US\$ 176/ha	175.997	
	US\$ 282/ha	\$117/ha	US\$ 286/ha	\$ 119/ha		\$ 73/ha	
	Cereal asoc.	-----	Leguminosa	-----	Cereal	-----	
	Subsolado	34.110	cincelado	24.725	Cincelado	75.830	
	Labranza contor.	817	cultivo en fajas	706	Cultivos en fajas	2.167	
	Cero labranza	27.988	surcos a nivel	5.509	Surcos a nivel	19.962	
	Cercos (1)	41.691	cordon vegetac.	41.003	Mínima labranza	75.830	
			mínima labranza	24.725	Labranza cont.	2.188	
					Pozos cist. (50)	1.978	
Total Plan		1.003.213		670.172		406.810	\$ 2.080.195

No incluye subsidio a la forestación ni bonificación a la recuperación de suelos degradados

(!): Número de veces que se repite la unidad de costo determinada. US\$ = \$ 415

La valorización global obtenida cercana a los 2.000 millones de pesos, con costos unitarios variables entre US\$ 833/ha y US\$ 73/ha, no incluye incentivos a la forestación ni de bonificación a la recuperación de suelos degradados, por lo que el costo estimativo promedio por unidad de superficie, para la aplicación de prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas alcanzaría a un promedio de \$150.000/ha, para el área considerada a recibir dichas prácticas.

Obviamente las cifras presentadas podrán sufrir variaciones, si se considera que parte de las prácticas e intervenciones propuestas pudieran ser objeto de subsidio o bonificación, por medio de la aprobación de planes de manejo, tanto de índole forestal (DL 701, de 1975 y sus modificaciones), como en el ámbito agropecuario a través del Programa de Recuperación de Suelos Degradados (DS N° 24, de 1997 y sus modificaciones), como así también por eventuales costos adicionales que impliquen acciones para el mejoramiento de la viticultura de secano, la construcción de infraestructura mediana a mayor de riego para fines de diversificación de la producción y de asistencia técnica y transferencia de tecnología.

Finalmente conforme a los antecedentes expuestos, para promover el uso sostenible de suelos y aguas en un área determinada, los elementos de planificación indicativa que debieran estar disponibles, a lo menos debieran corresponder a:

- ✱ Un diagnóstico actualizado del estado condición y tendencia de los recursos de tierras existentes, con su correspondiente base de datos predial (todos los predios), en que se expresen las distintas sensibilidades o susceptibilidad de los suelos a la erosión.
- ✱ Una estrategia de manejo y conservación previamente definida para el área, con identificación clara de un conjunto de técnicas y prácticas a incentivar su aplicación, valoradas económicamente y obtenidas por medio de un efectivo proceso participativo de los potenciales beneficiarios.
- ✱ La existencia de organismos del Estado o estrechamente vinculados a él, con competencia para administrar incentivos específicos que faciliten la incorporación de prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas, con capacidad para controlar y fiscalizar su cumplimiento.
- ✱ La suficiente organización con una adecuada representatividad de los potenciales beneficiarios para recibir los incentivos propuestos (Municipio).
- ✱ La presencia en el área de empresas privadas de asistencia técnica, de transferencia de tecnología y de ONGs, con una adecuada especialización para los fines de sustentabilidad perseguidos.
- ✱ La debida internalización de cualquier programa de manejo y uso sostenible de tierras, por parte de las instituciones dependientes del Ministerio de Agricultura o afines, en especial de aquellas que otorgan asistencia crediticia y fomento.

CAPÍTULO 2

Manejo y conservación de suelos y aguas en microcuencas hidrográficas.



Daniel Jeldres Velásquez
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.
danieljeldrez@entelchile.net

2. MANEJO Y CONSERVACION DE SUELOS Y AGUAS EN MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

2.1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de degradación de tierras tienen su raíz en factores económicos, sociales y culturales que se traducen en la sobreexplotación de los recursos y en prácticas inadecuadas de manejo de suelos y aguas. Sus consecuencias más evidentes son la pérdida de fertilidad del suelo, la reducción de la productividad y un empobrecimiento generalizado de los sistemas de producción agropecuaria.

La actividad humana promueve cambios en la capa de vegetación que cubre la superficie del suelo que posibilitan la compactación del suelo, rompe sus agregados estructurales y lo hacen transportable. Esto contribuye a reducir la permeabilidad de la capa superficial, afectando la capacidad del suelo para dejar entrar y almacenar el agua, dificultando la penetración de las raíces en el suelo y obstaculizando la captación de nutrientes para el desarrollo de las plantas.

Al romperse el equilibrio existente en el sistema se puede dar inicio a un proceso acelerado de degradación, en el que el desgaste supera la capacidad de mantenimiento y recuperación de los ecosistemas. Los efectos nefastos de estos procesos son muy conocidos y a veces hasta espectaculares. Es común ver tierras totalmente destruidas por cárcavas, perfiles de suelos truncados, frecuencia y severidad aumentadas de inundaciones y sequías, destrucción del bosque, aguas superficiales contaminadas, colmatación de cauces y represas, etc.

El objetivo principal de los sistemas de manejo conservacionista de suelos y aguas, es incrementar o por lo menos mantener la productividad de la tierra, deteniendo o revirtiendo los procesos de degradación que las atacan. Esta productividad dependerá en gran parte de las condiciones físicas, químicas y biológicas del perfil del suelo, donde deberán penetrar, crecer y cumplir sus funciones las raíces de las plantas.

Uno de los factores principales que limitan los rendimientos de los cultivos son las condiciones deficitarias y/o muy cambiantes de la humedad en el perfil del suelo. Las probabilidades de falta de agua para el crecimiento del cultivo aumentan cuando disminuye la velocidad, y volumen, de infiltración de agua en el suelo por lo que el desarrollo radicular es escaso y poco profundo.

Las prácticas de manejo de suelos, aguas y cultivos, en especial las labranzas, deben orientarse a mantener y/o mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. Ello permitirá proteger la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia, aumentar la infiltración de agua en el perfil, mantener un ambiente favorable para la penetración y desarrollo radicular, y también reducir los volúmenes de escorrentía y erosión.

Dentro del contexto de una población creciente y áreas limitadas de expansión agrícola, el desafío es cómo incrementar la producción por unidad de superficie sin destruir el suelo como recurso básico para la producción vegetal.

2.2. EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico se compone de diversas formas que representan las diferentes vías por las que el agua circula y es transformada en la naturaleza (Figura N° 7). Este ciclo penetra tres zonas del sistema terráqueo: atmósfera, hidrosfera y litosfera. La hidrosfera está compuesta por los cuerpos de agua que cubren la superficie de la tierra, la litosfera comprende la parte sólida como rocas y suelo de la corteza terrestre y la atmósfera es el espacio gaseoso sobre la hidrosfera y litosfera.

Los cambios de estado y circulación del agua, representados por el ciclo hidrológico, se desempeñan en el espacio comprendido entre una profundidad media de poco menos de 1 km en la litosfera, hasta una altura de unos 16 km en la atmósfera.

Se estima que del volumen total de agua en el planeta el 97 % se encuentra en los océanos. Del 3% restante, de agua dulce, aproximadamente un 75% se encuentra en las capas de hielo polares y glaciales, 14% en el acuífero subterráneo entre 750 y 3750 m, 11% como agua subterránea a una profundidad inferior a 750 m, 0.3% en lagos, 0.06% como humedad del suelo, 0.035% en la atmósfera y 0.03% en ríos.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin. La precipitación puede ser interceptada y transpirada y/o evaporada por las plantas, escurrir sobre la superficie del suelo y cursos de agua o puede infiltrarse en el suelo.

Una buena parte del agua interceptada por las plantas y la escorrentía superficial puede retornar a la atmósfera por evaporación. El agua infiltrada en el suelo puede almacenarse en la zona de las raíces o penetrar al subsuelo para ser almacenada como agua subterránea, la que puede aflorar nuevamente a la superficie en las vertientes o llegar a alimentar las corrientes de agua.

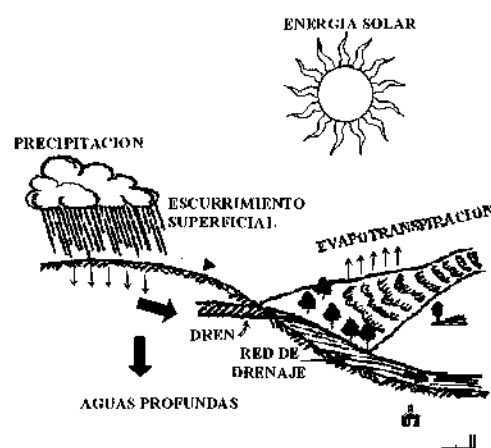


Figura N° 7. El ciclo hidrológico

Cuando la precipitación se produce sobre la tierra, el agua está destinada a seguir una o más de las siguientes rutas:

- Evaporación mientras cae
- Intercepción y evaporación desde las plantas
- Evaporación desde la superficie del suelo
- Infiltración y almacenamiento en la zona de las raíces
- Infiltración y percolación al subsuelo y/o drenes
- Transpiración por las malezas
- Transpiración por el cultivo

Una estrategia conservacionista buscaría incrementar la infiltración del agua en el suelo, para beneficio de los cultivos, disminuyendo al mismo tiempo la escorrentía superficial y, al mismo tiempo, su potencial erosivo.

Además de la cantidad de agua aportada por las precipitaciones, la gran limitante en el aprovechamiento del agua de lluvia para fines productivos y uso doméstico es su patrón de distribución en el espacio y en el tiempo. Los volúmenes de precipitación, evaporación, escorrentía y otros parámetros hidrológicos no están distribuidos en forma equitativa geográficamente sobre la tierra, ni tampoco en el transcurso del año.

Asegurando una buena infiltración y retención del agua en el suelo es de vital importancia para que los cultivos puedan sobrevivir períodos cortos de ausencia de precipitación. Esta capacidad de almacenamiento de agua en el suelo podría llegar a satisfacer las necesidades de agua de los cultivos por períodos de unas pocas semanas y hasta algo más de un mes.

2.3. MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS

La degradación de los recursos naturales se ha tratado de detener, en un esfuerzo por lograr un desarrollo sostenible de estos recursos, adoptando un enfoque de microcuenca. En este enfoque, el desarrollo no se limita a las tierras agrícolas solamente sino que cubre toda el área de la microcuenca, desde las partes más altas, en la divisoria de las aguas, hasta la salida del desagüe natural. Esto implica la implementación de medidas conservacionistas en las pendientes más altas, tierras marginales, tierras agrícolas y en cárcavas y quebradas.

Al adoptar la microcuenca como una unidad de planificación y desarrollo, diferentes medidas son planificadas y ejecutadas cuidadosamente en cada una de las diferentes zonas ecológicas de la microcuenca. Este esfuerzo incluye el manejo suelos y aguas, pero integra también actividades como agricultura, forestería, leña, forraje, animales y otros componentes de relevancia en las condiciones locales específicas.

2.3.1. Definición de microcuenca

Una microcuenca hidrográfica es una unidad física determinada por la línea divisoria de las aguas, que delimita los puntos desde los cuales toda el agua escurre hacia el fondo de un mismo valle, río, arroyo o vegas (Figura N° 8). En las microcuencas se inician las nacientes de pequeños cursos de agua, los que al unir su caudal y superficie drenada con otras microcuencas conforman cuencas hidrográficas de mayor tamaño.

Las microcuencas son caracterizadas conforme al orden de ramificación de su red de drenaje (Figura N° 9). En análisis hidrológico se considera microcuencas aquellas que presentan una red de drenaje de primer o segundo orden, con un área drenada que puede ir de 1 - 100 ha.

2.3.2. La microcuenca como unidad hidrológica

Una microcuenca hidrográfica es una unidad topográfica/hidrológica de terreno que es drenada por una misma corriente de agua. Las características de esta corriente de agua están en gran parte determinadas por el uso y manejo de la tierra y la vegetación en esta microcuenca. Todas las actividades desarrolladas por el hombre en una microcuenca están relacionadas por el ciclo del agua. Las actividades a desarrollar en las parcelas individuales serán en gran parte determinadas por el manejo de los suelos, el agua y los cultivos en las partes más altas de la microcuenca y tendrán a su vez importantes repercusiones sobre los recursos suelo y agua de las propiedades ubicadas aguas abajo.

Un manejo mejorado, además de incrementar la estabilidad y productividad general de la microcuenca, puede mejorar la regularidad del flujo de los cursos de agua durante el año. Esto ayudará a disminuir los picos de caudal, reduciendo por un lado la severidad de las inundaciones y destrucción de obras infraestructurales, y por el otro lado podrá asegurar una mayor disponibilidad de agua, en los periodos de escacés de lluvia.

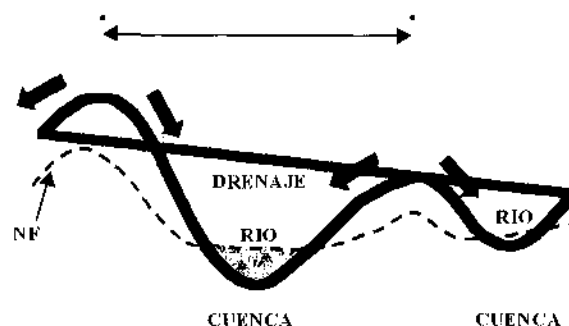


Figura N° 8. Límites topográficos de una cuenca hidrográfica



Figura N° 9. Orden de drenaje de microcuencas hidrográficas

Asegurar una buena cobertura vegetal en toda la microcuenca significa que el agua es retenida por más tiempo sobre el terreno lo que favorecerá su infiltración de agua en el suelo. Esto implica que se reduce la escorrentía superficial y se aumenta la disponibilidad de agua en el perfil del suelo, pozos y vertientes.

Se puede argumentar que al incrementar la cobertura viva el agua disponible en la microcuenca será menor pues las plantas utilizan agua para satisfacer sus necesidades evapotranspirativas. Pero esto no será tan importante como los beneficios de una buena cobertura para retener una mayor proporción del agua caída en la microcuenca, protección del suelo, asegurar cierto nivel de agua en vertientes y arroyos en la época seca, etc. En suma casi siempre habrá mayor disponibilidad de agua en la microcuenca con buena cobertura vegetal, que sin ella. También el valor económico y de uso que representan las especies sembradas, será de gran importancia para los sistemas de producción campesina.

2.3.3. Microcuenca como unidad social

En términos de un buen manejo de la tierra, la microcuenca puede tener mayor relevancia como unidad de planificación desde un punto de vista social, que desde un punto de vista técnico. La situación ideal se da cuando los límites reconocidos por una comunidad coinciden con los límites topográficos de una microcuenca. En situaciones en que estos dos no coincidan, los límites de la comunidad pueden constituir una unidad de planificación más aceptable que los límites topográficos de la microcuenca.

Muchas experiencias en diferentes países señalan que los cambios ocurren relativamente fácil cuando una comunidad campesina, con algún apoyo de consejeros confiables para ellos, elaboran sus propios planes de acción a nivel de microcuenca. Por otro lado la implementación de cambios ha resultado dificultosa y hasta imposible, cuando los planes para el manejo de la microcuenca son impuestos desde fuera.

Al utilizar la microcuenca como unidad de planificación se facilita la planificación, trazado y construcción de las prácticas conservacionistas, dado que los campesinos están familiarizados sus vecinos, las condiciones agroecológicas imperantes y las interacciones entre éstos.

Cuando un grupo de campesinos que manejan una proporción importante de una microcuenca implementa mejoramientos, los productores restantes de la microcuenca pueden percibir una significativa mejora en las condiciones hidrológicas superficiales y subsuperficiales de sus terrenos, lo que los llevaría a adoptar más fácilmente las innovaciones introducidas. El área se puede además usar como microcuenca demostrativa para productores de otras áreas más distantes.

El trabajo de extensión se hace, también más efectivo y barato porque los campesinos de la microcuenca pueden recibir la asesoría en conjunto y se hace posible compartir recursos escasos o muy costosos, como maquinaria agrícola, por ejemplo. El grupo puede desarrollar conciencia de

que un manejo conservacionista de la microcuenca es un objetivo común, lo que lo llevará a brindarse aliento y apoyo mutuo en la implementación de las acciones acordadas. También el financiamiento de los trabajos del grupo puede facilitarse, ya que el grupo puede proveer garantías para obtener préstamos, que individualmente no se podría lograr.

2.3.4. Microcuenca como unidad de planificación

Los programas de manejo y conservación de suelos y aguas han adoptado tradicionalmente como unidad de trabajo el municipio (unidad política) o la comunidad (unidad sociológica), o también la propiedad agrícola aislada. Pero el trabajo en estas unidades no ofrece base suficiente para enfrentar los problemas de degradación de los recursos naturales que nos preocupan.

La microcuenca es la unidad territorial de trabajo más pequeña que mejor se ajusta a los objetivos de la planificación del manejo conservacionista de suelos y aguas, ya que engloba todas las modificaciones que puedan sufrir los recursos naturales. Las tierras altas y bajas de la microcuenca, independientemente de las divisiones de propiedades y caminos, están íntimamente ligadas por el ciclo del agua.

En la práctica puede ser necesario a veces considerar cuencas hidrográficas de mayor tamaño, pero se debe tener presente que estas serán más complejas desde el punto de vista geomorfológico e hidrológico, y también de los sistemas de producción dominantes. Esto dificultará la planificación y ejecución de prácticas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Al enfatizar el uso de la microcuenca como la unidad más “lógica” de planificación, se puede correr el riesgo que los planificadores adoptan un enfoque “top down”, implicando que se espera que la gente que vive en el área ajuste sus prácticas, incluyendo su distribución espacial, en vistas a lograr una microcuenca completamente conservada. Desde este punto de vista los campesinos pueden ser vistos como una molestia, estorbando la implantación de elegantes soluciones técnicas para problemas considerados puramente técnicos

En las microcuencas las propiedades, las actividades productivas y las de protección, no siempre están ubicadas y distribuidas conforme a un modelo que se aproxime al uso más adecuado de la tierra. Es común que la siembra ocurra en bloques cuadrados o rectangulares, sin tomar muy en cuenta las formas del relieve y pendientes del terreno.

Una planificación a mediano plazo de la parcela y de la microcuenca hidrográfica, que reorganice espacialmente algunas actividades, aunque mantenga los mismos sistemas de producción, puede favorecer el ordenamiento para un uso más adecuado de la tierra. La capacidad de uso de la tierra debe servir como guía para la reorganización espacial. Sin embargo también deben ser tomados en cuenta otros factores importantes, desde el punto de vista del agricultor. Como por ejemplo, sus necesidades de auto consumo, experiencia, conocimientos, destrezas, facilidad de comercialización, rentabilidad, etc.



2.4. PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS

En condiciones naturales los suelos están sometidos permanentemente a procesos de cambios, de tal manera que se puede decir que constituyen una especie de equilibrio en movimiento. El accionar del hombre puede acelerar los procesos naturales y/o modificarlos radicalmente, especialmente por medio de las actividades agrícolas. Si estos cambios afectan negativamente las condiciones del suelo como medio para la producción vegetal se habla de un proceso de degradación.

La degradación de tierras es el principal factor responsable de la falta de sostenibilidad los niveles de producción agropecuaria y conduce a grandes dificultades para poder satisfacer las necesidades alimentarias de la población, sobre todo en los países de menos recursos. La degradación de tierras provoca además un notable incremento de catástrofes “naturales”, como inundaciones, deslizamientos de tierras, colmatación de reservorios y canales, destrucción de puentes y caminos, etc.

Aunque el grado y celeridad de la degradación de tierras es en parte determinada por las características específicas de los suelos y clima en una región determinada, está generalmente asociada a un uso y manejo incorrecto del suelo y agua.

Se pueden distinguir diversos tipos de procesos de degradación, con una importancia que variará de acuerdo con las condiciones locales específicas y el uso y manejo que se les da a los recursos. Generalmente se incluyen dentro de los procesos con mayores consecuencias sobre la producción agropecuaria la erosión hídrica, el sellado y encostrado superficial, y la compactación del suelo.

Todo comienza con la lluvia que cae sobre la tierra, destruyendo los agregados del suelo, los que a la vez de quedar fácilmente transportables, sellan los poros de la superficie limitando la infiltración y causando que una mayor proporción del agua caída escurra por la superficie, la que a su vez provoca erosión y destrucción a su paso.

2.4.1. Precipitación

La precipitación además de determinar en gran parte las posibilidades de los cultivos en una zona específica, puede constituir también una importante amenaza para los cultivos, suelos y obras infraestructurales. Principalmente la intensidad de la lluvia, constituye uno de los peligros mayores: una tormenta de corta duración pero de alta intensidad puede causar enormes daños, pero si la misma cantidad de agua cae en un período de tiempo mucho más largo, lo más probable es que el agua no cause daños de importancia y sólo se experimenten sus efectos beneficiosos para la producción.

Además de la cantidad de agua aportada por las precipitaciones, la gran limitante en el aprovechamiento del agua de lluvia para fines productivos y uso doméstico es su patrón de distribución en el espacio y en el tiempo. Los volúmenes de precipitación, evaporación, escorrentía y otros parámetros hidrológicos no están distribuidos en forma equitativa sobre el planeta, ni tampoco en el transcurso del año. Esto provoca que en muchas partes del mundo a la vez de sufrir consecuencias desastrosas

por exceso de agua, también se tenga que soportar graves períodos de sequías, en los que por falta de agua se haga imposible todo tipo de producción vegetal.

Asegurando una buena infiltración y retención del agua en el suelo es de vital importancia para que los cultivos puedan sobrevivir períodos cortos de ausencia de precipitación. Esta capacidad de almacenamiento de agua en el suelo podría llegar a satisfacer las necesidades de agua de los cultivos por períodos de unas pocas semanas y hasta algo más de un mes.

Desde el punto de vista de la conservación de suelos, la mayor amenaza lo constituyen lluvias de alta intensidad, en la que las gotas de agua tienen energía suficiente para destruir los agregados superficiales del suelo, los que una vez dispersos pueden taponar los poros sellando la superficie. Una vez que la intensidad de la lluvia excede la capacidad (disminuida) de infiltración de agua en el suelo, el agua escurre por la superficie con las nefastas consecuencias ya conocidas.

2.4.2. Compactación

La estructura del suelo está compuesta por los agregados y la conformación espacial de las partículas del suelo. Esta estructura afecta la velocidad de infiltración de agua en el suelo, la repartición de la precipitación entre infiltración y escorrentía (Figura N° 10) y es también de particular importancia para facilitar o dificultar el crecimiento de las raíces de las plantas.

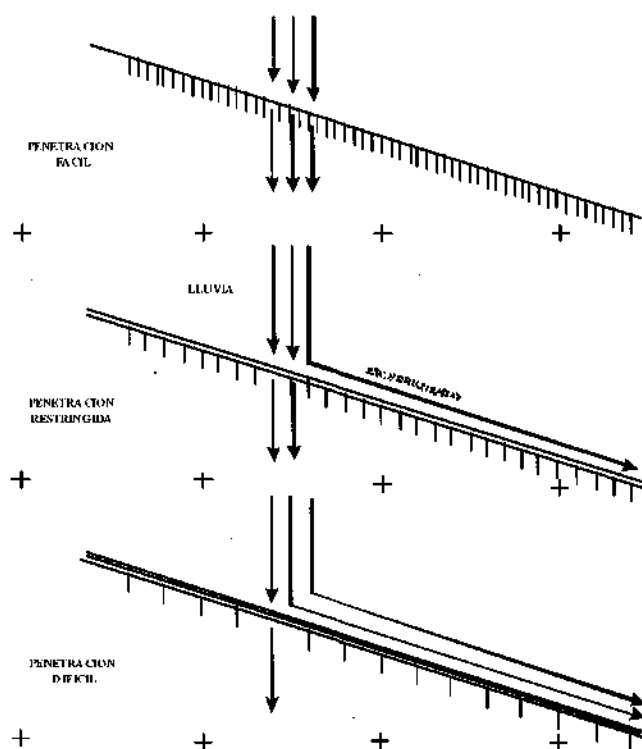


Figura N° 10. Precipitación, infiltración y escorrentía.

Más que las partículas sólidas, son los espacios dentro y entre agregados estructurales del suelo de importancia básica. Estos son esenciales para la ventilación e intercambio de gases en la zona de las raíces, para la retención de humedad para el cultivo, para el drenaje del exceso de agua y para facilitar el crecimiento y función eficiente de las raíces.

La pérdida de poros en el suelo es probablemente más importante que la pérdida de partículas sólidas del suelo. Los poros y la disposición espacial de las partículas del suelo se pueden perder como consecuencia del colapso de los agregados estructurales por pérdida de materia orgánica (pegamentos), compactación por pisoteo de animales o maquinaria agrícola, bloqueo de los poros por partículas finas disgregadas, pulverización por inadecuada labranza, etc. (Figura N° 11).

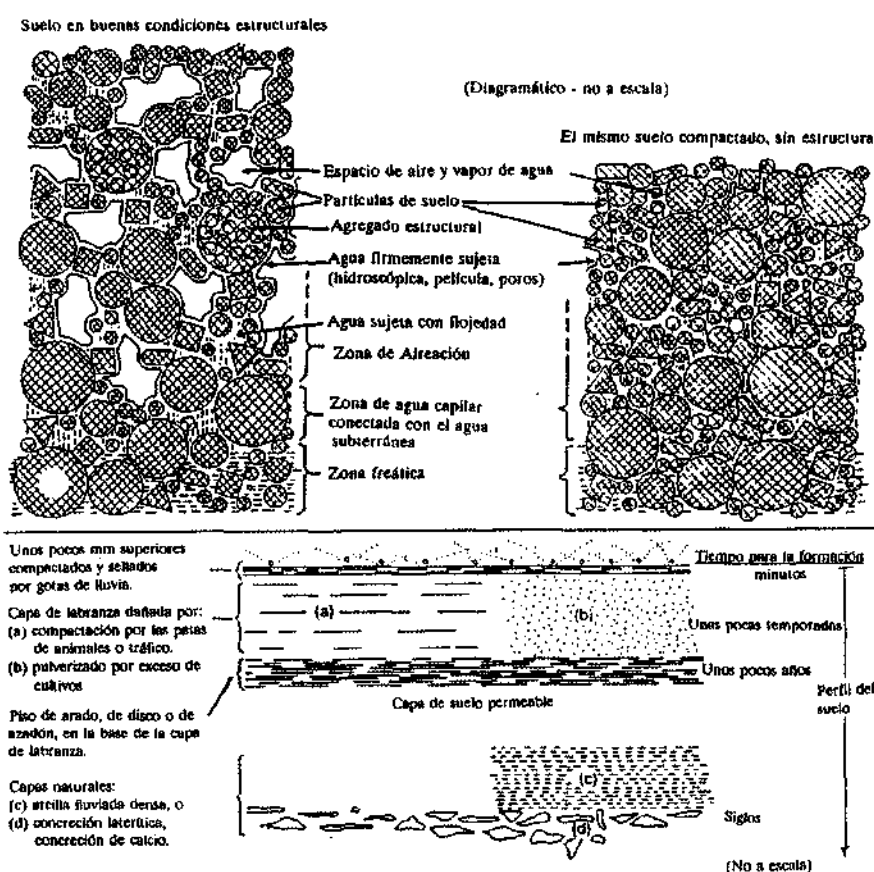


Figura N° 11. Efectos de la compactación de la estructura.

Cuando el suelo se encuentra sin estructura, como en el caso de arcilla densa e impermeable, la productividad puede ser muy baja ya que ni el agua, ni el aire, ni las raíces pueden penetrar fácilmente en él. Cuando el suelo se encuentra pulverizado, puede ser improductivo a causa de la baja capacidad de retención de agua, o porque las capas superficiales, generalmente las más fértiles del suelo, han sido removidas por la erosión.

Tierras no perturbadas por la acción humana raramente muestran evidencia de erosión acelerada, excepto cuando han sido sometidas a fenómenos climáticos relativamente severos de ocurrencia no frecuente. Esto indica que en estado no perturbado los suelos tienen la capacidad de infiltrar y absorber una precipitación considerablemente mayor que la que presentan en condiciones de producción agrícola y otros usos.

Se puede comparar, por ejemplo, la estabilidad de los suelos bajo foresta no perturbada con la de los mismos suelos de un campo agrícola de baja productividad que han sido desmontados de la misma foresta. Los cambios más significantes generalmente son la naturaleza y grado de cobertura provista por las plantas y su residuos, y la naturaleza y estabilidad de la estructura del suelo y su capacidad de infiltración y retención de agua.

El impacto de las gotas de agua de la lluvia sobre el suelo rompe los agregados superficiales del suelo y dispersa las partículas, las que quedan disponibles para ser transportadas y/o pueden taponear los poros de los primeros milímetros de la superficie del suelo. Esta pérdida de poros en la capa superficial se puede producir en unos pocos minutos y puede ser suficiente para disminuir significativamente la proporción de la lluvia que infiltra en el suelo, incrementando así los volúmenes de escorrentía superficial y las posibilidades de formación de surcos y cárcavas, y transporte de sedimentos.

La pérdida de espacios dentro y entre agregados del suelo puede ser causada también por otras práctica y/o manejos inadecuados. La capa arable puede ser compactada por excesivo pisoteo de los animales y maquinaria agrícola, y también por pulverización debido a una labranza excesiva.

2.4.3. Escorrentía superficial

Cuando la intensidad de la lluvia excede la capacidad de infiltración, el agua que no se puede infiltrar de inmediato, empieza a acumularse sobre la superficie del suelo. Primero se van llenando de agua pequeños huecos y depresiones del terreno, luego estas pequeñas lagunas se van uniendo y empiezan a moverse, buscando las partes más bajas, sobre la superficie del suelo.

Si esta escorrentía superficial sigue creciendo, a la vez de aumentar su volumen y velocidad, aumenta su energía, pudiendo arrastrar suelo y cultivos, y también obras infraestructurales que encuentre a su paso. El flujo de escorrentía al concentrarse va abriendo surcos y cárcavas cada vez más grandes en el terreno, las que además las pérdidas directas, significan una enorme reducción de la productividad y mayores dificultades para el acceso y manejo del terreno.

Al llegar a tierras más planas, la escorrentía puede llegar a desbordar los cursos de agua, provocando graves inundaciones con graves consecuencias para la infraestructura, personas, cultivos y animales. Al perder su velocidad en la llanura la escorrentía va depositando sedimentos sobre los terrenos inundados, lo que puede llevar a la colmatación de acequias, canales y reservorios, lo que tendrá importantes consecuencias ambientales y económicas.

2.4.4. Erosión

En lugar de causas primarias de la degradación de suelos y tierra, escorrentía y erosión son consecuencias ecológicas previsibles de un uso y manejo inapropiado de la tierra. Combatir directamente la erosión sin incluir sus causas de fondo no podrá producir soluciones adecuadas.

El proceso erosivo puede ser dividido en tres categorías, erosión entre surcos, erosión en surcos y formación de cárcavas. Erosión entre surcos es aquella provocada por el impacto de las gotas de lluvia que rompen los agregados superficiales del suelo y esparce estas partículas dejándolas fáciles de transportar por la escorrentía. La erosión en surcos ocurre por acción de un flujo de escorrentía superficial, capaz de transportar las partículas de suelo disgregadas en la primera fase del proceso y también capaz de provocar erosión durante su movimiento.

La erosión en cárcavas es consecuencia de un flujo concentrado de escorrentía superficial que en su movimiento va abriendo zanjones que cortan el terreno. Por su envergadura, este proceso es uno de los que causan mayores daños al suelo, cultivos y medio ambiente en general.

Incluso siendo moderada, la erosión puede reducir significativamente la capacidad productiva del suelo, puesto que ésta se lleva a cabo en forma selectiva. Las fracciones más finas del suelo, como arcillas y materia orgánica, son acarreadas preferentemente fuera del terreno, siendo éstas las que determinan en gran parte la capacidad del suelo de retener nutrientes y agua, su fertilidad, y también la estabilidad de los agregados estructurales.

Aunque no tan espectacular la erosión laminar, o entre surcos, significa anualmente enormes pérdidas de la capa superficial del suelo, la más rica en nutrientes y compuestos orgánicos de todo el perfil del suelo.

Una pérdida de una lámina de 1 mm de terreno significa una pérdida de unas 15 t/ha/año. Aunque esto no parece mucho, significa la pérdida de 15 toneladas de la capa del suelo más fértil de la parcela. Si se quisiera reponer esta pérdida aplicando materia orgánica y fertilizantes, los costos llegarían a cifras realmente difíciles de cubrir con la producción de la parcela.

2.4.5. Contaminación

El uso indiscriminado de agroquímicos en la agricultura, como algunos fertilizantes, herbicidas, pesticidas y fungicidas, presenta un grave problema para la salud humana en muchos lugares del mundo. Tanto durante su manipulación y aplicación, como en el consumo de los productos tratados con ellos exponen a los usuarios al contacto o ingestión de estos compuestos, con consecuencias no siempre conocidas.

El agua al escurrir por la superficie del terreno puede acarrear, además de partículas de suelo, todo tipo de contaminantes biológicos, agroquímicos y nutrientes que llegarían a contaminar los cuerpos



de agua superficiales. Estos compuestos pueden llegar incluso a penetrar hasta el acuífero subterráneo, inhabilitando el agua de nacientes y pozos, para consumo humano y/o animales.

La carga de sedimentos transportada puede llegar a depositarse en las partes más bajas y planas de la zona, pudiendo llegar a colmatear acequias, canales y reservorios, reduciendo así su vida útil.

2.5. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

Consciente de las graves evidencias de los efectos de la degradación de la tierra, el ser humano ha tratado de frenar o revertir estos procesos, aunque sin mucho éxito hasta hoy. Dada la productividad decreciente, nueva tierra se está poniendo producción, la que a menudo es crecientemente marginal y problemática para producción agrícola, siendo propensa a una degradación más acelerada que las tierras tradicionalmente cultivadas, al ser puestas a tratamiento similar.

La grave y a veces espectacular evidencia de los daños físicos producidos por los procesos de degradación, ha causado la tendencia a centrar la atención en medidas físicas de conservación, distrayendo nuestra atención de factores agroecológicos y socioeconómicos que están detrás de estos problemas.

En este capítulo trataremos separadamente dos importantes enfoques en la búsqueda de soluciones aceptables a los problemas que estamos enfrentados. Convencionalmente se trató de enfrentar el problema con prácticas físicas de conservación de suelos y aguas y más recientemente se está hablando de manejo integrado y conservación de suelos y aguas.

2.5.1. Prácticas físicas de conservación de suelos y aguas

En el enfoque convencional de conservación de suelos y aguas la erosión hídrica es considerada desde un punto de vista más hidráulico y de ingeniería, que bajo un enfoque antrópico y agronómico de uso y manejo de las tierras. Este centra su accionar sobre el control de la erosión hídrica, a través del control de la escorrentía superficial, sin considerar mayormente las causas primarias de este proceso. Esto ha llevado al uso prioritario de estructuras físicas en sus acciones.

La presencia de cárcavas, barrancos y corrientes cargadas de sedimentos ha llevado a pensar que la escorrentía superficial es la principal causante de los problemas. Por ello el control del volumen y velocidad de la escorrentía convencionalmente ha conformado la mayoría de los esfuerzos de conservación de suelos y aguas.

Comúnmente se ha asumido que la erosión ha causado una significativa disminución de los rendimientos. La conservación de suelos vendría a aumentar los niveles de producción. Similarmente, se ha asumido que controlando la escorrentía y su erosión asociada, se controlaría la baja de productividad.

Lo anterior ha conducido al desarrollo de sistemas de uso de la tierra que desde un punto de vista técnico son capaces de controlar efectivamente la escorrentía y mantener el suelo en su lugar.

El desarrollo, diseño y trazado en contorno de prácticas físicas de conservación de suelos y aguas se ha centrado particularmente en medidas para acortar la longitud de la pendiente y para aminorar su inclinación (Figura N° 12). Asociados con éstas se ha diseñado acequias en contorno, o con muy poco gradiente, para evacuar de manera segura el exceso de escorrentía de las áreas amenazadas. Se ha dado también atención a labranza tosca/gruesa para, al aumentar la rugosidad de la superficie del terreno, ayudar a controlar la escorrentía.

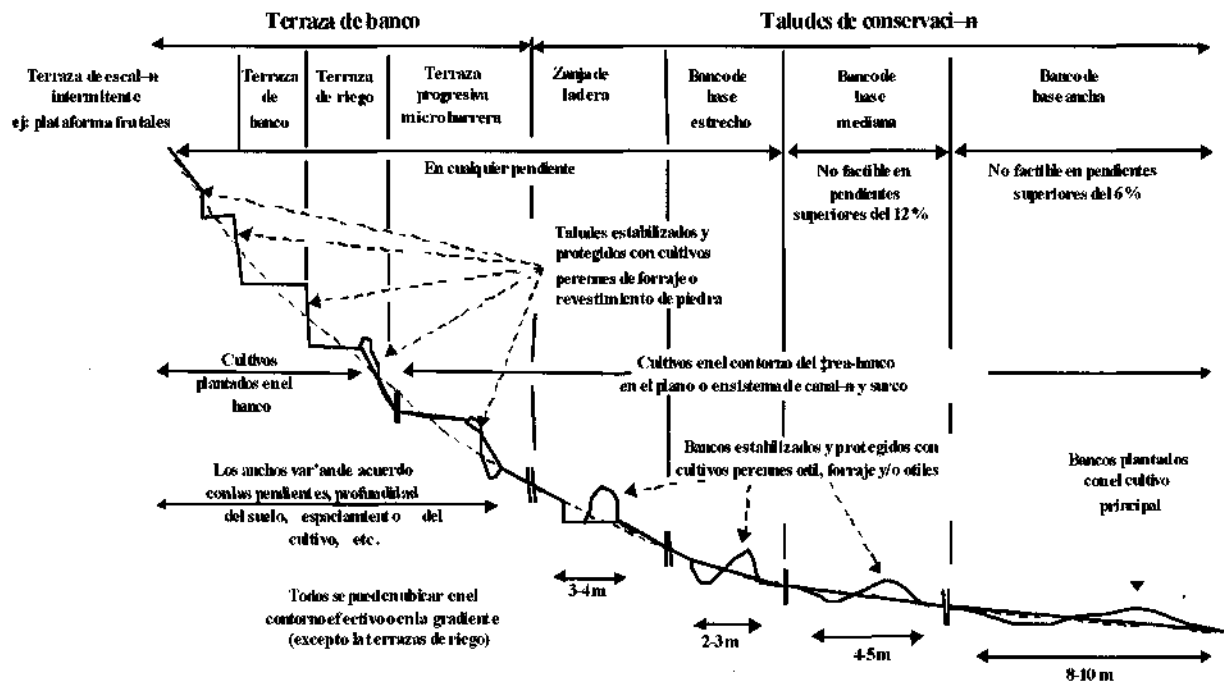


Figura N° 12. Métodos físicos de conservación de suelos.

Después de más de 50 años de trabajo con estructuras físicas en muchos lugares de todo el mundo donde la escorrentía y la erosión han sido percibidos como una amenaza, la situación no ha sido controlada de manera satisfactoria. Escorrentía, erosión laminar y formación de cárcavas continúa teniendo lugar y en contra de lo esperado, en las áreas dañadas la productividad sigue descendiendo, o se mantiene a nivel sólo a costa de crecientes gastos en fertilizantes y otros inputs.

En la mayoría de los casos, los campesinos no adoptan automáticamente prácticas convencionales de conservación de suelos y aguas en el diseño y operaciones de sus parcelas. Esto es aún más evidente en las áreas ocupadas por campesinos de subsistencia. Las recomendaciones y su implementación no son directamente aplicables a sus condiciones agroecológicas y/o socioeconómicas.

El enfoque convencional de conservación de suelos y aguas se ha mostrado limitado e insuficiente para contrarrestar los problemas de degradación de la tierra. Algunas de estas limitantes son:

Este no toma en consideración todas las fases del proceso erosivo y otros procesos de degradación de la tierra, los cuales muchas veces están interrelacionados y son interdependientes.

No da importancia debida y no promueve cambios en la forma de uso y manejo de la tierra, causas primarias de la erosión del suelo.

La conservación de suelos y aguas está casi siempre dependiendo de incentivos permanentes para financiar la construcción y mantenimiento de las obras.

El enfoque convencional de conservación de suelos y aguas no toma en cuenta la complejidad y amplitud de la degradación de las tierras por la acción del hombre, involucrando aspectos agroecológicos y socioeconómicos, y su dinámica en el tiempo.

2.5.2. Manejo integrado y conservación de suelos y aguas

El enfoque moderno de la conservación de suelos y aguas, denominado también Agricultura Conservacionista, dirige sus esfuerzos hacia un mejor manejo de las tierras, que vaya más allá que el retenimiento del suelo erosionado y de la escorrentía.

La erosión se considera como una consecuencia previsible del mal manejo de las tierras, antes que como una causa primaria de los daños. Los organismos del suelo conjuntamente con los materiales y procesos orgánicos, son esenciales para la restauración de la estructura, una vez ocurridos los daños.

Las buenas condiciones de la estructura del suelo y una cobertura protectora adecuada de su superficie, son esenciales para mantener el suelo en buenas condiciones, para que constituya un ambiente favorable tanto para el crecimiento de las raíces como para la infiltración del agua. La pérdida de poros en el suelo como consecuencia del daño o colapso estructural, puede ser más importante que la pérdida de partículas de suelo en lo que respecta a su influencia sobre el crecimiento del cultivo (Shaxson, 1994).

Se podrían distinguir tres tipos de intervención para contrarrestar la erosión hídrica:

Actividades para minimizar los efectos del ataque de la lluvia y escorrentía superficial.

Actividades para maximizar la resistencia del suelo contra estos ataques.

Actividades para captar agua y suelo después de la remoción.



En adición a estos tres tipos de intervención disminución de la longitud y ángulo de la pendiente ayudará a reducir la capacidad destructiva de la escorrentía que eventualmente se pueda producir. La implementación de prácticas físicas de conservación pueden ser necesarias para complementar un mejor manejo, pero nunca llegarán a sustituirlo.

La agricultura conservacionista se basa en principios técnicos generales que gobiernan la selección de las tecnologías de cambio en los sistemas de producción y que deben también orientar la generación de tecnología agropecuaria. El extensionista debería tomarlos siempre en consideración al seleccionar tecnologías junto con los agricultores, al igual que los investigadores al producir tecnologías para el mejoramiento de los sistemas de producción. Los principios técnicos de la agricultura conservacionista planteados son los siguientes (Vieira, 1996):

Aumento de la productividad.

Aumento de la cobertura vegetal del terreno.

Aumento de la infiltración del agua en el suelo.

Control de la escorrentía.

Manejo adecuado de la fertilidad del suelo y mantenimiento.

De la materia orgánica.

Evitar o reducir la contaminación.

Al igual que muchos enfoques para contrarrestar problemas complejos como los relacionados al accionar de las gentes en su actividades productivas, la agricultura conservacionista presenta algunas limitaciones. Sobre todo si se piensa que la experiencia hasta ahora desarrollada está basada en las relaciones de producción y conservación a nivel micro, como la parcela, la microcuenca y la comunidad local.

Algunos aspectos como mercado, comercialización, transporte, formas de tenencia y distribución de la tierra, aspectos macroeconómicos, etc. aún no han sido tocados de manera directa. Y estos de seguro serán determinantes para alcanzar la tan ansiada sostenibilidad de los sistemas de producción campesinos.

2.5.3. Importancia de la cobertura del suelo

Reducir o eliminar los efectos salpicadores y de compactación de las gotas de lluvia reducirá la severidad de todos los procesos subsiguientes de la erosión y sus consecuencias de remoción, inundación y sedimentación.

No es posible cambiar la intensidad de la lluvia, pero si se puede reducir su erosividad y aún eliminarla mediante la interposición de una cobertura sobre la superficie del suelo. La protección adecuada puede mantener la porosidad del suelo y sostener las tasas de infiltración.

Una cobertura de materiales finamente divididos y distribuidos de forma pareja, de manera de cubrir un 40 % de la superficie del suelo, puede reducir los efectos de la salpicadura de la lluvia, y la erosión en más de un 90%.

A lo largo de un ciclo anual completo de lluvia, la efectividad de la cobertura del suelo dependerá de su cantidad, distribución, duración y proximidad a la superficie.

En la reducción de la erosión por salpicadura, son relativamente pequeños los efectos que se pueden lograr construyendo bancos de conservación a menor distancia, en comparación con la cobertura, (Figura N° 13).

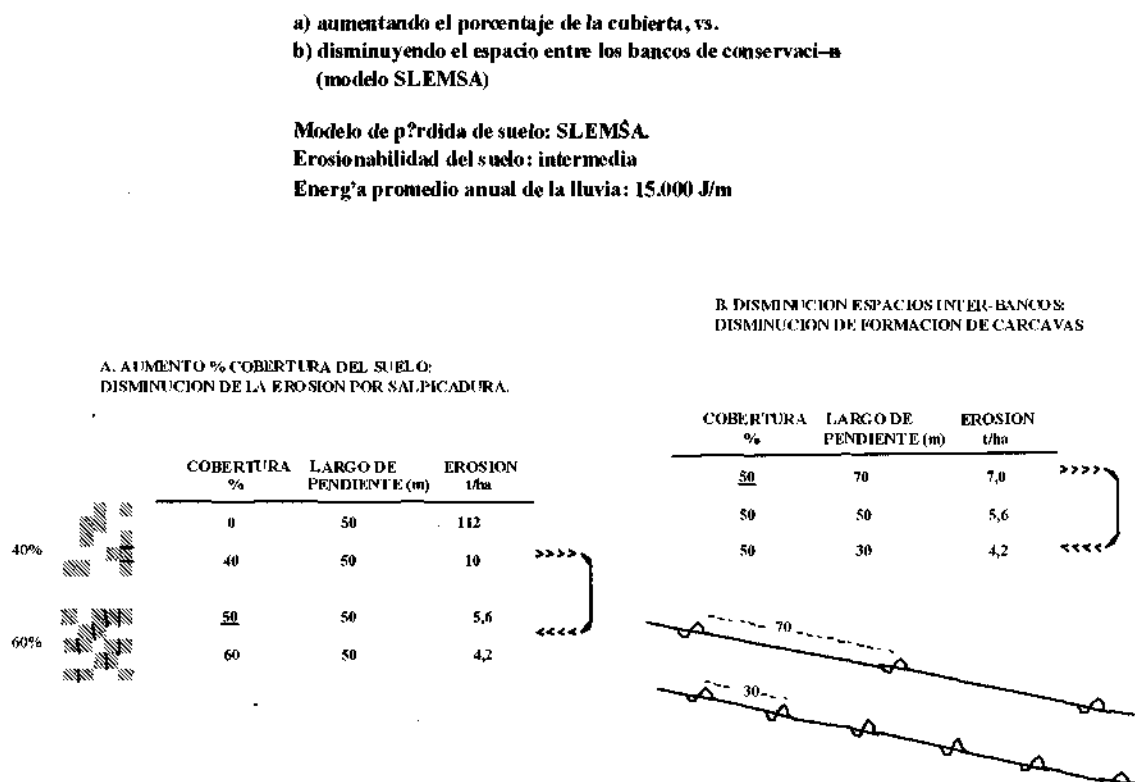


Figura N° 13. Reducción de las pérdidas por erosión.

2.6. PLANIFICACIÓN PARTICIPATIVA DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

En los últimos años mucho se habla de la participación en los proyectos y en el desarrollo rural en general. La causa de esto es que cada vez se hace más evidente que gran parte de los proyectos de desarrollo quedan muy lejos de alcanzar sus metas, por falta de participación real de la gente para quien está dirigido el proyecto.

Existen muchas definiciones de la participación que no vamos a discutir aquí. Por ahora se podría decir que sería suficiente convenir que la participación no es un estado fijo de cosas, sino más bien un proceso mediante el cual los usuarios pueden ir tomando más o menos parte en su propio proceso de desarrollo.

A continuación se presenta la así llamada **Escalera de la participación**, donde se pueden ver diversos grados de participación, yendo desde una pasividad casi completa hasta ser los autores de su propio desarrollo (Figura N° 14).

En esta escalera se puede ver que lo que realmente determina la participación de la gente es el grado de decisión que tienen en el proceso de desarrollo. El éxito en ir subiendo peldaños en esta escalera dependerá en gran parte del grado de organización de la gente, de la flexibilidad de las instituciones involucradas y de la buena disposición de todos los actores para modificar ciertas actitudes y métodos de trabajo.

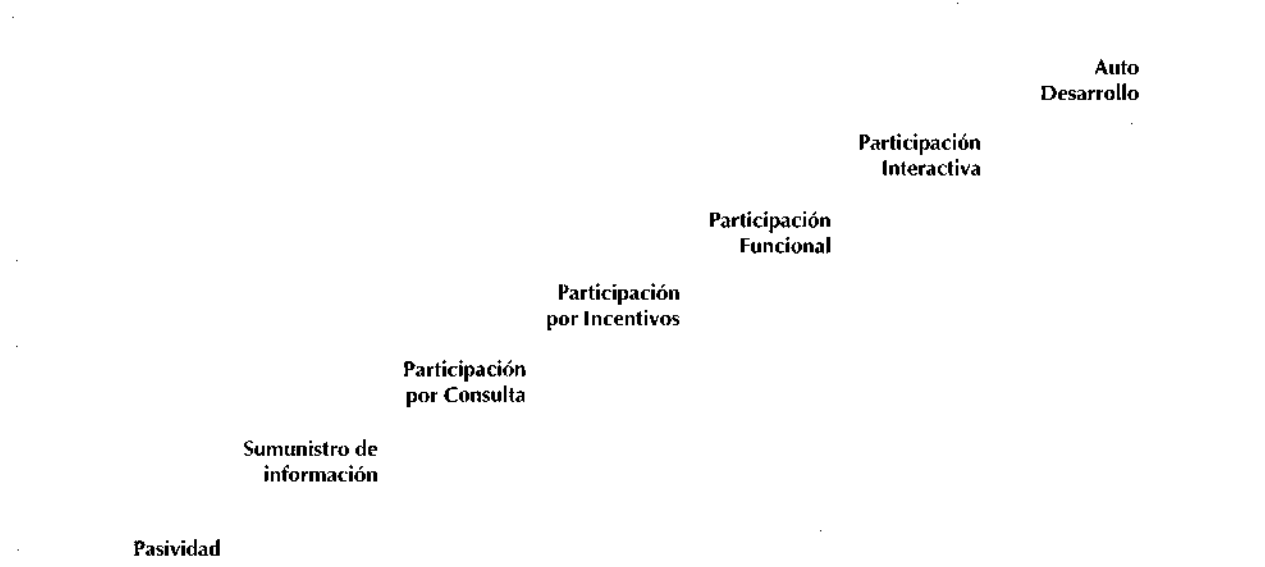
Para la planificación participativa de la microcuenca se puede utilizar algunas "herramientas para el desarrollo participativo". Estas herramientas no eliminan la necesidad de revisar la información ya disponible, previo a cualquier acción de campo, ni de realizar estudios más detallados o profundos, pero sí permiten determinar con mayor precisión dónde se necesitan dichos estudios. Las herramientas tienen en común las características siguientes:

- Están previstas para ser utilizadas en forma grupal.
 - Se adaptan mejor a un enfoque interdisciplinario. Es decir, desde diferentes puntos de vista, reuniendo investigadores, extensionistas y planificadores con los miembros de la comunidad.
 - Están previstas para trabajar directamente en el campo con las comunidades y agricultores (as). Se aprende con y de la gente, enfocando los conocimientos, las prácticas y las experiencias locales.
- Usados correctamente, estas herramientas permiten un aprendizaje rápido y progresivo; profundizando en etapas sucesivas.
- La información que se obtiene representa en forma cualitativa y/o cuantitativa, el rango de todas las condiciones existentes en el campo, y no solamente los promedios que normalmente se calculan en base a las encuestas estadísticas.

La mayor parte de las herramientas proveen información cualitativa, pero muchas permiten obtener también datos cuantitativos en forma confiable y comprobable.

Las herramientas permiten y necesitan la “trangulación” de fuentes, es decir la verificación de resultados a partir de varias fuentes de información, varias herramientas y varios participantes.

A continuación se presenta a manera de ejemplo algunas herramientas para el desarrollo participativo que serán de gran utilidad para la elaboración de un diagnóstico y planificación participativas de las microcuencas.



Pasividad: las personas participan cuando se les informa; no tienen ninguna incidencia en las decisiones y la implementación del proyecto.

Suministro de información: las personas participan respondiendo a encuestas; no tiene posibilidad de influir ni siquiera en el uso que se va a dar de la información.

Participación por consulta: las personas son consultadas por agentes externos que escuchan su punto de vista; esto sin tener incidencia sobre las decisiones que se tomarán a raíz de dichas consultas.

Participación por incentivos: las personas participan proveyendo principalmente trabajo u otros recursos (tierra para ensayos) a cambio de ciertos incentivos (materiales, sociales, capacitación); el proyecto requiere su participación, sin embargo no tienen incidencia directa en las decisiones.

Participación funcional: las personas participan formando grupos de trabajo para responder a objetivos predeterminados por el proyecto. No tienen incidencia sobre la formulación, pero se los toma en cuenta en el monitoreo y el ajuste de actividades.

Participación interactiva: los grupos locales organizados participan en la formulación, implementación y evaluación del proyecto; esto implica procesos de enseñanza-aprendizaje sistemáticos y estructurados, y la toma de control en forma progresiva del proyecto.

Auto-desarrollo: los grupos locales organizados toman iniciativas sin esperar intervenciones externas; las intervenciones se hacen en forma de asesoría y como socios.

Figura N° 14. La escalera de la participación.

2.6.1. Mapa de recursos naturales y uso de la tierra

Objetivo del ejercicio: concretizar en un mapa, la visión que los pobladores tienen de la utilización del espacio y de los recursos, y ubicar las informaciones principales relevantes.

Tiempo requerido: 1 – 3 horas, según la complejidad.

Material necesario: Pizarra y tiza y/o papel o papelones, plumones.

Metodología:

Paso 1: Reunir un grupo de personas (10 max.) de la comunidad y explicarles el objetivo. De ser necesario dividir por grupos (hombres, mujeres, jóvenes).

Paso 2: Discutir con los participantes, cómo se va a hacer el mapa y qué temas van a aparecer (ríos, caminos, casas, bosques, campos cultivados, etc.). Si quieren incluir muchos temas, puede ser útil proponer varios mapas.

Paso 3: Ayudar para el “arranque” (por ejemplo a ubicar los primeros puntos de referencia) y después dejar el grupo trabajar solo, en la pizarra, el papel o en el suelo. Empezar con un “mapa base” con los principales elementos de referencia como ríos y caminos. Después los técnicos no deberían intervenir más en el contenido.

Paso 4: Presentación del mapa por el (los) grupo (s) en plenaria y discusión. Elaboración del mapa final con los comentarios de los diferentes participantes.

Paso 5: Copiar el o los mapas para entregar una copia a la comunidad y una a los técnicos. Discutir el uso que se podrá al mapa.

Nota: El mapa es el punto de partida para el análisis. Sirve para orientar la caminata y el diagrama de corte; puede ser retomado y completado, dividido en diferentes mapas por temas.



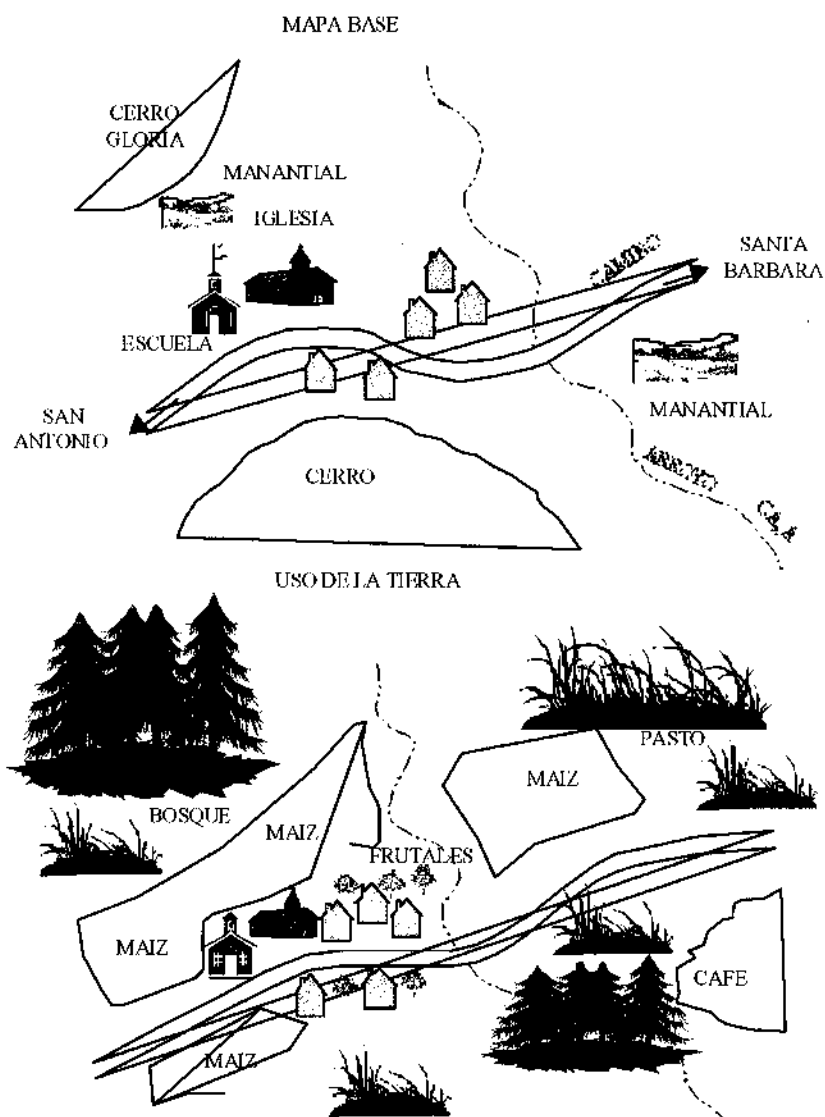


Figura N°15. Mapa base y de uso de la tierra.

2.6.2. Caminata y diagrama de corte o transecto

Objetivo del ejercicio: iniciar en el terreno una discusión, y estructurar en un diagrama, las diferentes áreas (topográficas u otras) dentro de la zona de influencia de la comunidad, con sus diferentes usos, problemas asociados y potenciales de desarrollo. Este diagrama puede servir de punto de partida a la discusión de alternativas; puede ser muy sencillo, para ayudar a la gente a expresarlo que sabe de su medio ambiente; puede completarse con información de otras fuentes e ilustrar grandes cantidades de información.

Tiempo requerido: según las distancias a recorrer. Todo el ejercicio puede hacerse en un día o menos. El taller después del recorrido no debería prolongarse por más de 2 horas.

Material necesario: un mapa de la zona (preferiblemente el mapa participativo), una libreta para tomar notas en el recorrido, un papelón y plumones para el diagrama final.

Metodología: el concepto del corte puede ser extraño tanto para la gente como para los técnicos; una vez ilustrado, el método es sencillo y ofrece una base visual muy clara para discusiones y análisis ulteriores. La idea básica, es representar las diferentes características y cambios que se dan siguiendo un recorrido a través de la zona.

- Paso 1: Seleccionar un pequeño grupo de informantes/participantes (3-5) y explicar al grupo el ejercicio, en base a un ejemplo práctico. Discutir el mejor recorrido a través de la zona: no tiene que ser en línea recta, pero sí debe atravesar la mayor diversidad de terrenos, usos, etc., representados en la zona. En áreas montañosas generalmente se empieza de una cumbre a la otra, atravesando el valle y todos los pisos de vegetación. Es más fácil determinar el recorrido si primero se realizó el mapa participativo.
- Paso 2: Empezar el recorrido por el itinerario escogido, anotando las características principales y los cambios encontrados, usando siempre las denominaciones utilizadas por la gente. Durante el recorrido tomar el tiempo de pararse y conversar con la gente encontrada en el camino.
- Paso 3: (Puede hacerse durante o después del recorrido, dependiendo de la complejidad). Representar la información de los participantes del recorrido sobre un papelón grande, en un diagrama, un perfil del terreno con las diferentes zonas encontradas y su denominación. Chequear con los participantes si están de acuerdo con la clasificación utilizada.
- Paso 4: En base a una discusión (de grupo o individual) con los participantes, indicar sobre el diagrama, informaciones fundamentales sobre el uso y estado de los recursos en cada zona:
- ¿Qué hay en cada zona (uso, vegetación, suelo).
 - ¿Por qué se encuentra específicamente en esta zona?
 - ¿Quién trabaja y se beneficia de estos recursos?
 - ¿Se han dado cambios importantes en el pasado?
- Paso 5: Pedir a los participantes su opinión sobre el ejercicio. Anotar el resultado y entregar el papelón al grupo.

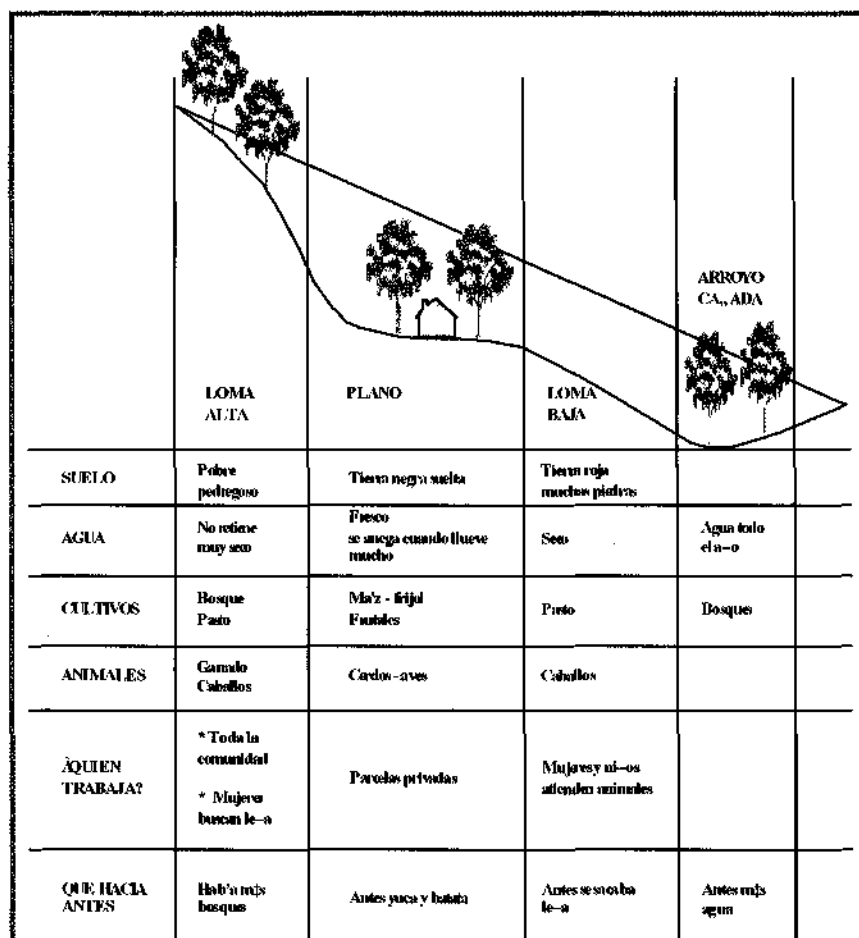


Figura N° 16. Diagrama de corte o transecto.

2.6.3. Diagrama de microcuenca

Objetivo del ejercicio: en base al mapa de la comunidad, identificar el patrón de drenaje y las microcuencas, como punto de partida para discutir las interacciones ambientales en el área de influencia de la comunidad. El método es sencillo y basado en los conocimientos locales.

Tiempo requerido: 2 – 3 horas

Material necesario: el mapa de la comunidad, papelón, plumones y pizarra.

Metodología: El concepto de microcuenca es el más adecuado para poner de relieve las interacciones ambientales a nivel del territorio de la comunidad, entre aspectos fundamentales como abastecimiento de agua, deforestación, erosión, contaminación, sobrepastoreo, etc.

Paso 1: Reunir un grupo de trabajo, incluyendo las personas que han participado en la elaboración del mapa de la comunidad, y explicar el objetivo del ejercicio. Copiar los elementos base del mapa (ríos, topografía y principales puntos de referencia) en un nuevo papelón.

- Paso 2: Revisar y completar con los participantes, la red de ríos, riachuelos y quebradas existentes, e indicar con flechas la dirección del drenaje. Registrar también la ubicación de vertientes.
- Paso 3: Con flechas más pequeñas o de otro color, indicar en qué dirección se hace el drenaje del agua de lluvia hacia las quebradas y ríos. Esto permite delimitar aproximadamente las microcuencas.
- Paso 4: Indicar con algún símbolo acordado con los participantes, la cantidad y calidad del abastecimiento de agua en cada río y vertiente (por ejemplo usar diferentes colores para las fuentes permanentes y las que se secan durante el verano).
- Paso 5: Empezar el análisis, comparando el mapa de drenaje con los otros aspectos indicados en el mapa de la comunidad. Tratar de identificar relaciones entre problemas identificados y/o problemas potenciales (por ejemplo deforestación y sobrepastoreo de una microcuenca y abastecimiento de agua, uso de agroquímicos y peligro de contaminación de fuentes, etc.).
- Paso 6: Utilizar el esquema como punto de partida para la planificación de acciones.

2.7. IMPLICACIONES ECONÓMICAS DE LA EROSIÓN DEL SUELO Y DEL USO DE PRÁCTICAS CONSERVACIONISTAS

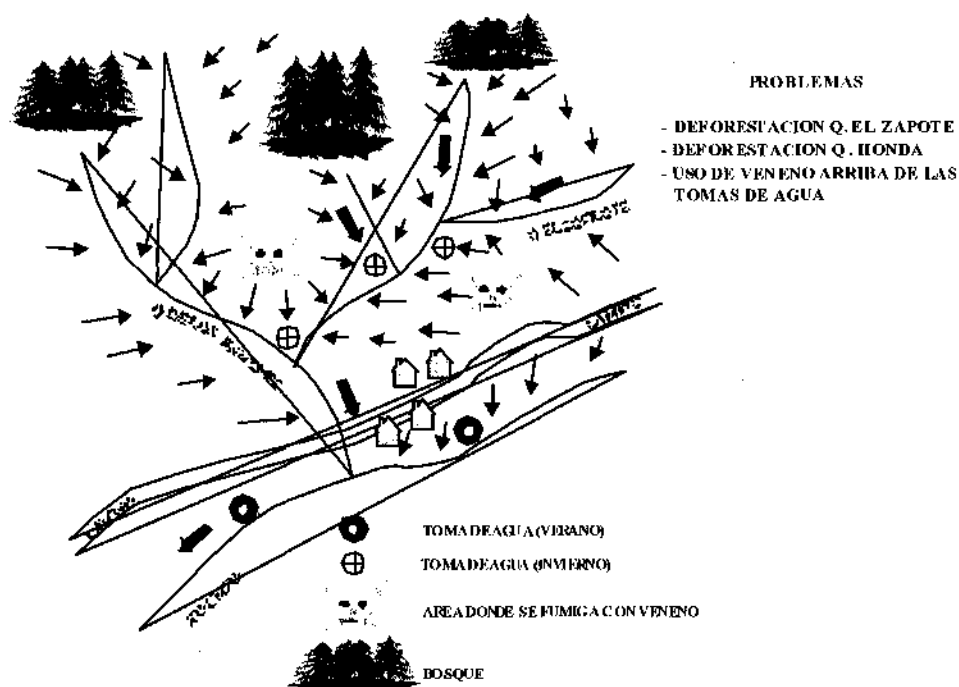


Figura N° 17. Diagrama de microcuenca

Este capítulo presenta una traducción libre del resumen de un documento publicado en 1989 por el Instituto Agronómico de Paraná (IAPAR) conjuntamente con la Organización Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), buscando analizar las implicaciones económicas de la erosión del suelo y de algunas prácticas conservacionistas utilizadas en el Estado de Paraná, Brasil.

Los objetivos principales son abordar aspectos sobre las pérdidas de suelo por erosión, identificar los costos y beneficios de diferentes prácticas conservacionistas, especificar métodos prácticos para cuantificar los costos inmediatos y a largo plazo asociados a la erosión, cuantificar los costos sociales de la erosión, así como desarrollar un análisis global de costos – beneficios de la conservación de suelos en el Estado de Paraná.

La explotación agrícola en el Estado de Paraná, en modo general, ha sido una actividad depredadora en términos de suelo y agua; predominando la obtención de lucro inmediato, la capitalización y la conquista de nuevas fronteras agrícolas. Este proceso ha traído consigo la degradación acelerada de la capacidad productiva del suelo, exponiendo a la erosión áreas altamente productivas, por la devastación poco racional de la vegetación nativa, paso abrupto de áreas de bosque a praderas naturales y sistemas agrícolas de monocultivos continuos, asociados a una mecanización intensiva y desordenada.

Los efectos del proceso erosivo del suelo invalidan, en parte, los esfuerzos gubernamentales y privados en investigación, asistencia técnica, crédito rural y empleo de los insumos necesarios para la producción. Los mayores efectos socioeconómicos de la erosión del suelo incluyen: una disminución de la producción de alimentos y cultivos de exportación, aumento de los costos de producción, sustitución de áreas agrícolas con pastos, aumento del precio de los alimentos, reducción de la importancia económica del sector rural, aumento del éxodo rural y contaminación de las aguas.

La erosión laminar ha sido el tipo de erosión más común a pesar de ser poco notoria, al inicio, esta forma de erosión ocasiona daños considerables a las tierras cultivadas. Removiendo continuamente delgadas capas superficiales del suelo, ocasiona pérdida de nutrientes, materia orgánica y organismos del suelo. El suelo presenta así una rápida degradación y disminución del rendimiento de los cultivos, hecho frecuentemente enmascarado por la utilización creciente de fertilizantes. La erosión en surcos y cárcavas también es muy común en algunas áreas. Cuando las cárcavas alcanzan niveles mayores, la tierra se torna inapropiada para la producción agrícola.

En Paraná la construcción de terrazas a nivel es la práctica conservacionista más utilizada. Desde mediados de la década de los 70, se construyeron terrazas en muchas áreas con cultivos anuales como resultado de programas del gobierno y exigencias de instituciones crediticias para aprobación del financiamiento. Una combinación de terrazas y labranza en contorno es eficaz en la reducción de la erosión del suelo. Entretanto, las pérdidas de suelo son todavía muy altas para que se asegure una fertilidad a niveles adecuados y posibilidades de explotación a largo plazo.

El fenómeno de la erosión u sus efectos se están presentando principalmente en áreas cultivadas con cultivos anuales. En 1980, cerca del 59% de los principales cultivos anuales (maíz, soja, trigo y porotos) fueron sembrados en propiedades con más de 50 ha y es en esas propiedades donde ocurre la mayor parte de las pérdidas de suelo. Sin los procesos de degradación de suelo no fuesen controlados y si no se adoptaran prácticas más adecuadas de preparación y manejo de suelo, se estaría comprometiendo los rendimientos de los cultivos y la representatividad del sector agrícola y sus funciones económicas, social y política en el contexto estatal y nacional.

En Paraná, desde 1974, la fundación IAPAR viene conduciendo experimentos en todo el Estado, con el objetivo de caracterizar las causas y evaluar las pérdidas de suelo por erosión, como base para el desarrollo y adaptación de prácticas mecánicas y procesos de cultivo más eficientes y económicos, con vistas al perfeccionamiento de los sistemas de preparación de suelos y de rotación de cultivos, y consecuentemente aumentar la eficiencia del uso de suelos y aguas. Los resultados de la investigación muestran que las pérdidas de suelo variarán de acuerdo con el tipo y sistema de preparación de suelo, manejo de los cultivos, distancia entre terrazas y pendiente.

Con el objetivo de cuantificar los costos y los beneficios de las diferentes prácticas conservacionistas utilizadas en Paraná, se realizaron análisis económicos desde dos puntos de vista: a nivel de productor (privado) y a nivel de Estado (sociedad).

2.7.1. Costos y beneficios de la conservación de suelos a nivel de productor

2.7.1.1. Inversiones en maquinaria

Los costos e inversiones son un 13% más altos en el sistema de preparación de suelos de siembra directa que en el sistema convencional. Considerando las diferencias en el número de horas de operación y en la vida útil de las máquinas e implementos utilizados en los dos sistemas de preparación, el costo anual de la maquinaria (vida útil/año) en el plantío directo fue 9% más bajo que en la preparación convencional. Se demostró también que el productor puede adaptar su sembradora convencional para siembra directa, a un costo 45% más bajo que una máquina de siembra directa nueva.

2.7.1.2. Costos de producción de los cultivos anuales

Las estimaciones de costos de producción para soja, maíz y trigo en los sistemas de preparación tradicional, convencional, mínimo y siembra directa mostraron que para soja y maíz, en la preparación mínima y tradicional los costos fueron 1 y 2% más bajos, respectivamente, que los costos de estos cultivos en preparación convencional. Los costos de producción en plantío directo fueron 8 y 3% más altos que los costos de la preparación convencional para soja y maíz, respectivamente. Los costos de producción de trigo en labranza mínima fueron iguales a los de labranza convencional,

en tanto que en labranza convencional y siembra directa, los costos operacionales fueron 2% más altos que los de labranza convencional.

2.7.1.3. Pérdida de nutrientes en los diferentes sistemas de preparación de suelos

La erosión causa grandes perjuicios a nivel privado. En base a los precios y contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio en la camada superficial del suelo y las pérdidas relativas de suelo entre los diferentes sistemas de labranza, fueron estimados los costos de las pérdidas de 10, 20, 30 y 40 t/ha/año. Los costos por pérdida de nutrientes calculados para el sistema tradicional varían de US\$ 20 á US\$ 81 y para la siembra directa de US\$ 0,61 á US\$ 2,4. Estos costos pueden ser comparados con el margen bruto de la soja, estimada en aproximadamente US\$ 112/ha, en el mismo período.

Los costos de la erosión de suelos en Paraná, incurridos por la mayoría de los productores en términos de pérdida de macronutrientes, lo mismo evaluados de forma conservadora, fueron extremadamente altos, considerando que alrededor de un 70% de los productores utilizaron labranza tradicional en 1984. Estos costos no incluyen el costo de la pérdida de materia orgánica, de otros nutrientes (entre ellos los micronutrientes), de organismos del suelo y de la degradación física del suelo. Todos estos ítems tienen el efecto de disminuir la productividad de los cultivos.

2.7.1.4. Costos de las terrazas

Los costos anuales de construcción y mantención de terrazas para pendientes medias totalizaron US\$5,95/ha en mayo de 1984, lo que representaba aproximadamente el 2% de los costos operacionales anuales totales de soja, maíz y trigo. Los costos de las terrazas grandes, llamados murumdums fueron de unos US\$ 48/ ha. Uno de los costos indirectos de las terrazas, a nivel de propiedades, es la pérdida de área cultivable. Para una pendiente media de 9% y una distancia media de 22 m entre terrazas (terrazas de base estrecha), el área perdida para la producción agrícola llegó a 11%, con una reducción del lucro por ha de aproximadamente un 12%.

Cuando una terraza de base estrecha fue alternada con murumdums, el área perdida llegó a 17% y a una estimación de reducción del lucro de aproximadamente 18%. El número de terrazas podrá seguramente ser reducido en dos tercios en manejo de suelo con plantío directo, en caso de que un programa de rotación de cultivos ofrece condiciones para que por lo menos 6 t/ha de residuos sean dejados en la superficie del suelo, al inicio de la primavera. La erosión en surcos y cárcavas también provoca una reducción de las áreas cultivables. Se estima que en el Estado, el 1,5% del área plantada en 1980 fue perdida debido a erosión en surcos, que alcanzaban profundidades de 30 cm o más. En base a esa estimación se calcula que la reducción de la producción debido a este tipo de erosión representa unos US\$ 115/ha.

2.7.1.5. Reducción en uso de fertilizante

Experimentos de manejo de suelos en el sistema de siembra directa indican la posibilidad de reducción de un 50% en la utilización de fósforo, debido a menor retención que en labranza convencional. Las economías de fertilizantes, a nivel de productor totalizaron 33 y 86 US\$/ha para fósforo y nitrógeno, respectivamente.

2.7.1.6. Costos de resiembra

Se estima que en la mayoría de los años 5 á 10% del área sembrada con cultivos anuales de verano en Paraná precisan ser replantadas después de lluvias o sequías intensas. La siembra directa elimina este costo y aumenta las posibilidades de sembrar en la época óptima. Los costos referentes a 5% de área resembrada proporcionan una economía de US\$ 2,50/ha y de US\$ 1,10/ha para soja y maíz, respectivamente, en 1984.

2.7.1.7. Costos de horas-máquina y combustible

Para las operaciones de preparación del suelo, siembra y aplicación de herbicidas, se verificó que el número de horas-máquina necesarias en la siembra directa fue la mitad de lo necesario en labranza mínima y menos de la mitad de lo necesario en labranza tradicional y convencional. Para los productores esto significa economía de combustible, así como una reducción de los costos de reposición, reparación y mantención de las máquinas.

2.7.1.8. Reducción de los costos por herbicidas

De los ítems que componen los costos de la siembra directa, en comparación con otros sistemas de preparación de suelos, algunos de los más caros fueron los herbicidas, que alcanzaron alrededor del 25% de los costos operacionales totales de la soja y el maíz. Experimentos realizados por El IAPAR y experiencias de algunos agricultores indican que es posible reducir el uso de herbicidas con determinadas rotaciones de cultivos. Los herbicidas residuales pueden, en determinadas situaciones, ser eliminados y sustituidos por el control manual de malezas.

Los costos del control manual de malezas en siembras de soja y maíz fueron estimados en US\$ 13/ha, mientras que los costos de los herbicidas residuales se calcularon en US\$ 50/ha y US\$ 64 para soja y maíz, respectivamente. Herbicidas de post-emergencia podrían ser necesarios durante los años en que la infestación de malezas fuere excepcionalmente alta.

2.7.1.9. Rendimiento físico de los cultivos en diferentes sistemas de preparación de suelos

El comportamiento del rendimiento físico de los cultivos es una información importante en la evaluación técnica de una tecnología determinada. En Paraná existe un gran banco de datos referente a la productividad de la soja, maíz y trigo, en sistemas de preparación de suelo convencional, mínimo y siembra directa. Comparados con el sistema convencional, la siembra directa y la labranza mínima proporcionan en término medio una productividad 19 y 8% superiores, respectivamente, para soja, y de 8 y 1% para el trigo. En el maíz se observa una productividad del 1% inferior en la siembra directa y 7% inferior en la labranza mínima en relación a la labranza convencional.

Datos limitados sobre el poroto indican que una respuesta 4% superior en la siembra directa. Mayores rendimientos resultan, principalmente, de sistemas de preparación de suelos que proporcionen mayor humedad al suelo, particularmente en los años de precipitación mal distribuida. Aparte de esto, el suelo húmedo proporciona mayor infiltración de agua y menor evaporación, posibilitando una mejoría en la germinación de las semillas y de las condiciones del suelo (temperaturas del suelo más bajas, estructura más desarrollada, niveles más altos de materia orgánica y mayor actividad biológica).

2.7.1.10. Adopción de rotación de cultivos y abonos verdes

La adopción de estas prácticas conservacionistas, tiene como beneficios posibles: reducción de la erosión del suelo y de la lixiviación de nutrientes, mantención de buena cobertura del suelo y mayores contenidos de materia orgánica descompuesta durante todo el año, efecto residual de la rotación en la productividad de los cultivos y en la sustitución de insumos, reducción en la infestación de plagas, enfermedades y malezas.

Los costos asociados al abono verde son los costos de preparación de suelos, semillas, siembra y manejo; aparte del lucro no obtenido por la sustitución de un cultivo por el abono verde. Sin embargo los niveles de lucro serán hasta dos y hasta tres veces más altos, en el cultivo que se siembre después del abono verde.

2.7.1.11. Análisis económico de las diferentes prácticas conservacionistas a nivel de propiedad rural

Estudios hechos con el objetivo de comparar la rentabilidad de prácticas conservacionistas en una hacienda modelo, que incorporan rotación de cultivos, abonos verdes de invierno y labranza reducida de suelos con prácticas tradicionales de labranza y monocultivos, utilizadas por la mayoría de los productores de Paraná, indican que la inversión en las prácticas conservacionistas y siembra directa genera un lucro mucho más alto que el generado por las prácticas tradicionales.

Aparte de lo anterior, la adopción de prácticas adecuadas permite al agricultor el suelo para su familia y para las generaciones futuras, dado que la siembra directa es el método más adecuado y eficaz en el control de la erosión.

Considerando una pérdida de suelos por erosión de 15 t/ha/año y la hipótesis de no obtener ningún aumento en la productividad con la siembra directa comparada con la labranza tradicional, se calcula que la tasa de retorno de la inversión en equipos de siembra directa y de la modificación de los sistemas de labranza sea de un 50% al año. El lucro medio anual adicional del productor, en términos de valor actual, descontados en un 10% al año, necesarios para compensar el valor del capital en el tiempo (time value of capital), es estimado en US\$ 3461. Este lucro representa un aumento de por lo menos 20% sobre el lucro anual obtenido actualmente por la mayoría de los productores de Paraná.

2.7.2. Costos y beneficios de la conservación de suelos a nivel del Estado de Paraná

2.7.2.1. Costos de la erosión

Considerando solo pérdidas de suelo de 10 t/ha/año en los 6 millones de hectáreas ocupados con cultivos anuales en Paraná y los valores de los macronutrientes, se estima que en 1984 los costos de la erosión fueron superiores a US\$ 121 millones. Se calcula que la erosión profunda (cárcavas) cuesta más de US\$ 10.3 millones al año.

2.7.2.2. Reducción en costos de fertilizantes

El ahorro obtenido por la aplicación de menores cantidades de fósforo en el sistema de siembra directa y por el efecto de la mucuna, como fuente de nitrógeno antes del maíz puede representar por lo menos US\$ 29 millones.

2.7.2.3. Eliminación de los costos de resiembra

La eliminación de los costos de resiembra puede representar un ahorro superior a los US\$ 5,6 millones.

2.7.2.4. Ahorro de herbicidas

Se estima que el ahorro potencial en herbicidas en la siembra de avena negra seguida de soja sea superior a US\$ 5.7 millones.

2.7.2.5. Ahorro de combustible

La reducción en los costos de combustibles utilizados en el sistema de preparación de suelos, como reducción de operaciones, en el año 1984, se estimó superior a US\$ 1.9 millones.

2.7.2.6. Costos de las terrazas

El ahorro podría totalizar casi US\$ 1,2 millones en los costos de construcción y mantención de terrazas. El valor de la producción adicional, resultante de una mayor disponibilidad de tierra resultante de la reducción del número de terrazas, es estimado en aproximadamente US\$ 3.2 millones.

2.7.2.7. Aumento de la producción debido al aumento de la productividad.

A partir de las diferencias en la productividad de los cultivos entre la siembra directa y la labranza convencional, observadas en los experimentos del IAPAR en Paraná, el valor de la producción adicional en el año 1984 fue estimado en por lo menos US\$ 5.7 millones.

2.7.2.8. Externalidades

La cuantificación económica de los efectos de la erosión fuera de las propiedades rurales se torna difícil debido a falta de datos. Sin embargo, se sabe que el suelo erosionado proveniente de las áreas agrícolas tiende a depositarse en los ríos, camino y otras áreas, además de aumentar la contaminación de las aguas. En base a datos de la Compañía de Saneamiento de Paraná (SANEPAR), se estima que en 1984 el tratamiento del agua para reducir su turbidez y reparación de los daños causados a los equipos por los sedimentos costarían más de US\$ 200.000.

Un análisis de los niveles de fósforo, nitratos y sólidos en suspensión en la represa de la Usina Hidroeléctrica de Itaipú (Guaíra), revela que la concentración de estas sustancias es más alta durante los períodos de preparación de suelos y de aplicación de fertilizantes en los cultivos de verano e invierno. Datos de la Superintendencia de Recursos Hídricos y Medio Ambiente permiten estimar el valor de los nutrientes en el lago de Itaipú, que se cree provienen del Estado de Paraná, es superior a US\$ 419 millones/año.

A pesar de ser difícil cuantificar los daños al medio ambiente, nutrientes y agrotóxicos llegan a los ríos de Paraná con la escorrentía superficial y por la erosión excesiva, constituyendo la mayor fuente de contaminación del agua, afectando el equilibrio del ecosistema. Estas alteraciones ecológicas afectan la calidad del agua, cosa importante en el abastecimiento urbano, además de perjudicar económicas y recreacionales, como el transporte fluvial, la pesca y el turismo.

El análisis costo-beneficio, buscando definir los retornos sociales provenientes de la mayor adopción de prácticas conservacionistas adecuadas, en un plazo de 20 años, permite decir que inversiones de US\$ 19 millones/año proporcionarían un retorno del 20% al año.

Políticas gubernamentales de investigación, educación y extensión en conservación de suelos han tenido éxito. Entretanto las políticas dirigidas a la reducción de la diferencia entre lo que es óptimo para el sector privado y lo que óptimo para la sociedad, tales como la reglamentación del uso de la

tierra, condonación de los impuestos a las inversiones en conservación de suelos y aplicación de impuestos a las pérdidas de suelos, se han mostrado desalentadoras, a pesar de la alta asignación de recursos públicos.

Hay una clara necesidad de programas más intensivos, dirigidos a la investigación en conservación de suelos, educación y extensión, con el objetivo de ampliar y desarrollar tecnologías conservacionistas prácticas y adecuadas, con mayor atención a la cuestión del uso adecuado del suelo. Los recursos públicos adicionales, necesarios para la efectiva implantación de este programa, se justificarían económica y socialmente, y proporcionarían mayores garantías al futuro del Estado de Paraná y del Brasil.

2.8. Literatura citada

- GEILFUS, F. (1996).** “80 Herramientas para el Desarrollo Participativo”. El Salvador. IICA – Holanda/Laderas C.A.
- MERTEN, G. H. (1994).** “Manejo y Conservación de suelos en Microcuencas Hidrográficas”. Chillán, Chile.
- SHAXSON, T.F. (1994).** “Introducción al Concepto Moderno de Manejo Integrado y Conservación de Suelos”. Santiago, Chile. Proyecto FAO GCP/RLA/107/JPN.
- VIEIRA, M. J. (1997).** “Opciones Técnicas para cumplir con los Principios de la Agricultura Conservacionista”. San José, Costa Rica. Proyecto FAO GCP/COS/012/NET.

CAPÍTULO 3

Hidrología del secano.



John Selker.
Ingeniero Agrícola, Ph.D.
selkerj@engr.orts.edu

3. HIDROLOGÍA DEL SECANO

El objetivo de este documento es presentar los procesos físicos básicos fundamentales en la hidrología del secano, y discutir algunas de las observaciones recientes de los recursos de aguas subterráneas disponibles en la región.

La Figura N° 18 muestra los componentes fundamentales del ciclo hidrológico. La precipitación es la fuerza más importante que impulsa todos los fenómenos terrestres. La cantidad de precipitación que cae en cualquier localidad, como será discutida más adelante, es afectada fuertemente por la distancia al mar y la relación con elementos geofísicos locales (montañas, valles, etc.). Del agua que cae sobre la tierra, una porción corre por la superficie terrestre para incorporarse a los arroyos y ríos. Adicionalmente, una fracción del agua se infiltra. Del agua que se infiltra, parte se mantiene en el perfil de la tierra y parte percola en profundidad. El agua que se mantiene en el perfil del suelo queda disponible para evaporación o infiltración, dependiendo de las condiciones de la superficie, como por ejemplo, si el clima se presenta soleado o lluvioso. Es esta habilidad del suelo para mantener el agua la que permite toda actividad agrícola. Generalmente la capacidad de almacenamiento del agua es entre 5 y 40% por volumen.

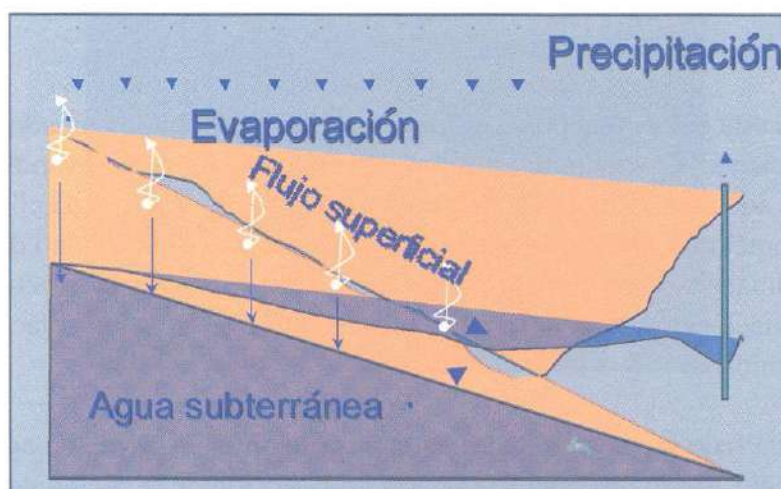


Figura N° 18. Componentes del ciclo del hidrológico. El diagrama de la izquierda muestra el sistema sin desarrollo de aguas subterráneas, mientras que el de la derecha muestra el impacto de la descarga hecha por los pozos.

En el Cuadro N° 18 se enumeran las principales propiedades del suelo. La capacidad de almacenamiento de agua es tomada generalmente como la diferencia entre la Capacidad de Campo (el agua contenida en el suelo luego de varios días de drenaje) y el punto de marchitez permanente (el contenido de agua al cual la planta no puede extraer más agua).

Cuadro N° 18. Valores típicos de parámetros del suelo.

Textura del Suelo	↑ Porosidad (cm³/cm³)	* Conductividad hidráulica, K_s (cm/seg)	↑ Densidad específica	↑ Capacidad de campo (cm³/cm³)	↑ Punto de marchitez permanente (cm³/cm³)
Arenoso	0.38	10 ⁻³ – 10 ⁻¹	1.65	0.09	0.04
Areno-limoso	0.43	10 ⁻³ – 10 ⁻²	1.50	0.14	0.06
Limoso	0.47	10 ⁻³ – 10 ⁻²	1.40	0.22	0.10
Arcillo-limoso	0.49	10 ⁻³ – 10 ⁻³	1.35	0.27	0.13
Franco-arcilloso	0.51	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁴	1.30	0.31	0.15
Arcilloso	0.53	0 – 10 ⁻⁴	1.25	0.35	0.17

† Adaptado de Israelson y Hanson, *Irrigation Principles and Practices*, Wiley and Sons, 1962.

* Puede variar más allá del rango declarado.

La evaporación total está compuesta por la evaporación directa del suelo húmedo y la transpiración de las hojas de las plantas. En conjunto estos procesos se conocen como evapotranspiración (ET). Como veremos más adelante, la ET es controlada por tres factores: la energía climática disponible para producir evaporación, la demanda específica de la canopia, y la cantidad de agua disponible para evaporación almacenada en el perfil del suelo. Estimar la evaporación actual es muy difícil, mientras que la estimación de cuanta agua consume un cultivo bien regado es fácil de calcular para una localidad determinada.

El agua que se infiltra bajo la zona radicular entrará finalmente al sistema de aguas subterráneas. Una vez en el subsuelo, el agua percola lentamente en dirección de la pendiente. Si encuentra un arroyo, el agua subterránea abandonará el suelo y entrará al flujo del arroyo. Esta agua es referida como «flujo-base», y es responsable de la mayoría de los flujos de los ríos en aquellos períodos en que no llueve. Por supuesto, si no fluye agua del sistema subterráneo, el flujo alcanzará un estado de equilibrio, donde la cantidad de agua que entra al sistema es igual a la cantidad de agua que sale de este. En el lado derecho de la Figura N° 18 se muestra un pozo. Este pozo permite la extracción de agua subterránea. Finalmente, éste reducirá el flujo-base de los ríos. A menudo el flujo-base no puede ser utilizado efectivamente. Así, el uso de pozos permite la utilización del sistema de aguas subterráneas como un gran reservorio.

Antes de entrar en detalles sobre los cuatro componentes mayores del ciclo hidrológico, quisiera mostrarles el sitio experimental de donde fueron obtenidos los datos experimentales, y discutir brevemente un proceso importante que influye en la actividad hidrológica; la erosión. Los datos usados en este capítulo fueron obtenidos de un estudio piloto de la hidrología del secano. El objetivo de dicho estudio fue el de demostrar un conjunto de métodos que pueden usarse para evaluar el lugar y la cantidad de recursos hídricos disponibles en las regiones de secano de Chile. La microcuenca denominada Buenos Aires, tiene alrededor de 3 km de ancho por 7 km de longitud (Figura N° 19). El área del estudio incluye 15 puntos de observación de aguas subterráneas (con pozos o vertientes), una estación de medición de flujo, y 6 pluviómetros. La microcuenca tiene un arrollo efímero en el centro, llamado Buenos Aires, que desemboca en el también efímero Río Lonquén.



Figura N° 19. Microcuenca Buenos Aires, sitio del estudio piloto presentado en este trabajo. Círculos amarillos identifican pozos incluidos en este estudio, que se localizan en los bajos de los valles.

El paisaje es típico de ésta región, consta de suelos graníticos con colinas ondulantes (Figuras N° 20, y 21). Un rasgo prominente del área es la dramática erosión del suelo (Figura N° 21). Personalmente he viajado mucho por E.E.U.U., Kenya, Somalia, Tanzania, Zimbabwe, Sri Lanka, y Tailandia, y las pérdidas de suelo que he observado en el secano son las más severas que he visto. Existe una combinación de factores que se conjugan en esta situación. Primero, el suelo es muy erosionable, y la fuerza de adhesión entre las partículas es baja. Posee un bajo contenido de materia orgánica y un alto contenido de las fracciones de limo y arcilla. En segundo lugar, la región tiene muchas áreas con grandes pendientes. Tercero, la precipitación que cae sobre la zona, está caracterizada por ser intensa, como cortas tormentas, lluvias de 2-4 cm/hr han sido registradas con frecuencia. Las gotas de esas tormentas tienen mucha energía, que separa las partículas del suelo, además tienen gran escurrimiento por la baja capacidad de infiltración del suelo. Finalmente, las prácticas agrícolas son las peores que se pueden usar bajo esas condiciones: los suelos son arados frecuentemente, con grandes extensiones sembradas en invierno inmediatamente antes que caigan las lluvias. Las prácticas agrícolas también incluyen el cultivo en el sentido de la pendiente, lo que acelera la erosión. Prácticas conservacionistas del suelo que son habituales en EE.UU. Asia y muchas partes de Africa, están extrañamente ausentes en este lugar. La situación resultante es completamente insustentable, siendo críticas en muchas áreas.



Figura N° 20. Fotografías tomadas en mayo de 1998 ilustrando el típico contorno geográfico y de paisaje de la microcuenca Buenos Aires.



Figura N° 21. Fotografías de la microcuenca Buenos Aires mostrando algunos típicos patrones de erosión en el área.

3.1 LOS COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO

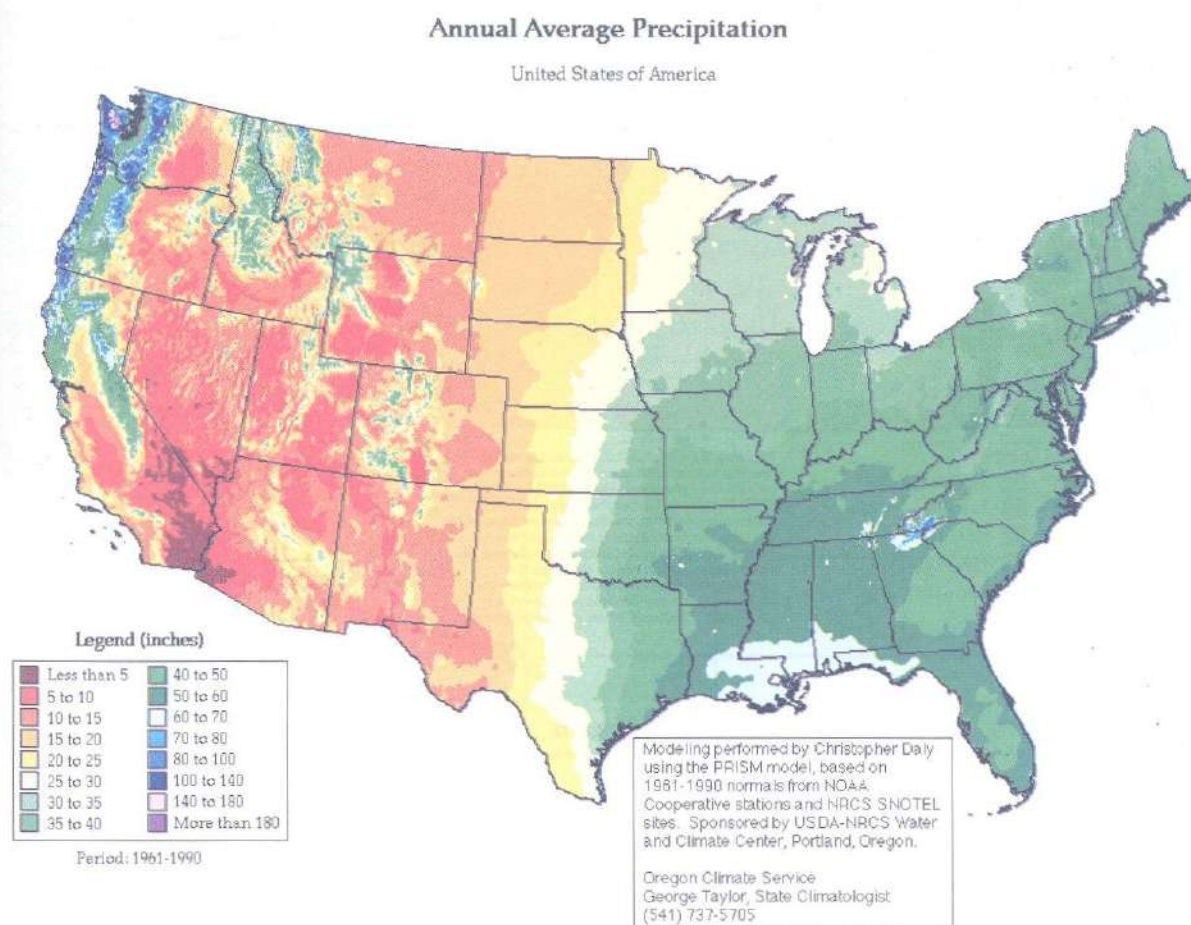
A continuación discutiremos los cuatro componentes del ciclo hidrológico encontrados en el secano. Se pondrá énfasis en los aspectos inusuales, más que en tratar de hacer un análisis completo del ciclo. El lector puede encontrar un análisis cuantitativo de los ciclos hidrológicos para todo Chile en la publicación: Balance Hídrico de Chile (1987).

3.1.1. Precipitación

La precipitación en el secano se considera que es entre 500 y 1000 (mm/año). La densidad de estaciones pluviométricas es relativamente alta en el área, con aproximadamente 40 estaciones desde la costa al secano interior. La incertidumbre sobre la cantidad de agua caída en el área, proviene de la falta de un mapa de precipitación que cubra totalmente la región. Como es conocido, las montañas pueden afectar fuertemente la cantidad de agua que cae en una localidad en particular. Generalmente la parte occidental de la montaña presenta una mayor pluviometría que la parte oriental de ésta. Esto es conocido como el efecto-sombra. En la Figura N° 22 se muestran mapas de precipitación para los EE.UU. y mapas más detallados para el estado de Oregon y la región cercana a la Universidad Estatal de Oregon. Al observar el mapa más detallado, vemos que en la parte alta de la montaña, la precipitación alcanza a más de 4.5 m/año, mientras que 20 km al Este, la precipitación en la Universidad Estatal de Oregon es de 1 m/año. Esta variabilidad se debe al efecto del cordón montañoso que queda inmediatamente al Oeste de la Universidad Estatal de Oregon. De hecho, la geografía costera de Oregon y California son muy semejantes a Chile, con una cadena montañosa de 30 km de ancho, un valle central de 60 km de ancho y una cadena montañosa alta al Este del valle central. Además, la región de Oregon/ California tiene un clima mediterráneo muy similar al de Chile. Por ahora, nosotros no conocemos la importancia del efecto sombra en el secano, pero se sospecha que la variabilidad de la precipitación es mucho mayor que lo señalado en el documento Balance Hídrico de Chile, 1987. Este documento, es una fuente muy importante de información que señala la precipitación mensual y anual recolectada en varias estaciones pluviométricas en Chile, así como también provee de valiosos datos de flujo de esteros, evaporación actual y potencial y temperatura.

Los mapas de la Figuras N° 22 fueron hechos usando la misma densidad de estaciones pluviométricas que existe en Chile. Estas fueron complementadas con un mapa digital de elevación (MDE), y los datos fueron analizados usando un programa escrito para integraciones geofísicas (PRISM). Este programa fue desarrollado en la Universidad Estatal de Oregon y ha sido usado para generar los mapas oficiales de lluvias de los EE.UU, China, Suiza, y otras regiones. Nosotros esperamos crear este tipo de mapas para Chile en los años venideros.

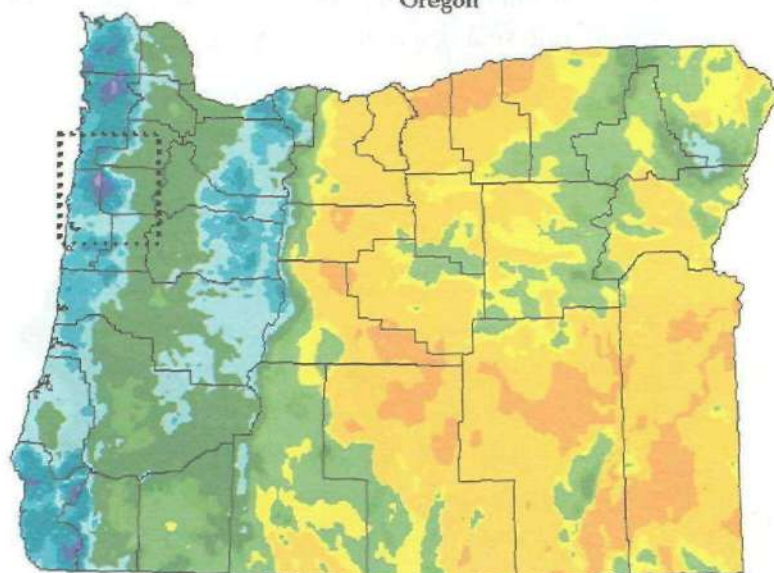
La Figura N° 24 muestra un típico patrón de lluvias observado en la microcuenca Buenos Aires el día 17 de junio, 1998. En aproximadamente 3 horas cayeron 18.2 mm de lluvia. Aun cuando sólo disponemos de datos para 1998, estos datos sugieren que el 90% de la lluvia ocurre en el 3% de los 4 meses que dura el invierno. Este patrón de lluvias intensas y baja permeabilidad del suelo se traducen en altas tasas de escurrimiento superficial, que será discutido más adelante.



Mapa A

Figura N° 22. Mapas completos de precipitación son generados para los EE.UU (Mapa A) y Oregon (Mapa B). Estos muestran los grandes cambios en precipitación anual que ocurren en las regiones montañosas, así como también los mapas que se pueden producir con los datos chilenos usando modelos digitales de elevación.

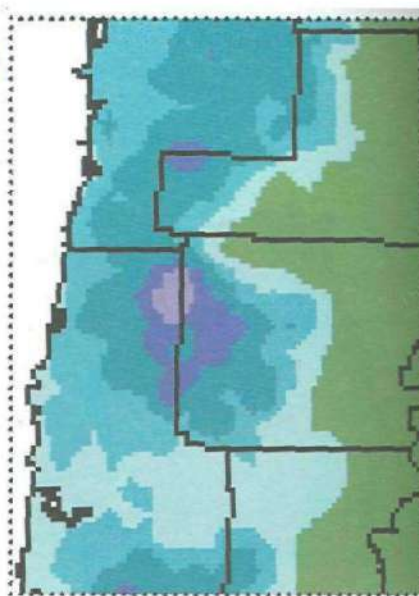
Average Annual Precipitation Oregon



Period: 1961-1990

This map is a plot of 1961-1990 annual average precipitation contours from NOAA Cooperative stations and (where appropriate) USDA-NRCS SNOTEL stations. Christopher Daly used the PRISM model to generate the gridded estimates from which this map was derived; the modeled grid was approximately 4x4 km latitude/longitude, and was resampled to 2x2 km using a Gaussian filter. Mapping was performed by Jenny Weisberg and Nathaniel DeYoung. Funding was provided by USDA-NRCS National Water and Climate Center.

12/7/97



10 km

Mapa B

3.2. AGUA SUPERFICIAL

El gráfico hídrico que se muestra en la Figura N° 23 muestra que, de un flujo original de 100 l/s, el estero Buenos Aires subió a 1 metro, con un flujo aproximado a 4.000 l/s en un período de 45 min. La región detallada del gráfico muestra los datos actuales, que fueron tomados con intervalos de tres minutos. Increíblemente el nivel del agua subió de menos de 0.4 m a más de 1 m en 24 minutos, el peak duró 3 minutos para caer a 0.5 m luego de 42 minutos. Si bien es cierto que la estación no ha sido calibrada y el volumen de escurrimiento no puede medirse exactamente, se puede estimar que el volumen de agua para este evento fue de 15,000 m³. Esto representa cerca del 15% de la precipitación que cayó sobre la microcuenca Buenos Aires ese día (100,000 m³ aproximadamente). Aunque hubo una cantidad apreciable de escurrimiento, la mayor parte de esa agua parece haber sido infiltrada. Esa agua infiltrada contribuye al flujo base, que es de 1,000 m³ diarios durante el invierno. Esta tormenta de junio fue una de las principales lluvias en este inusualmente seco invierno. Como veremos más adelante, los pozos responden rápida y directamente a la infiltración. Al final del invierno el sistema de aguas subterráneas estaba saturado. Así, las tormentas subsecuentes tienden a tener mayores porcentajes de escurrimiento a medida que la infiltración estaba limitada por la capacidad de retención adicional de aguas del suelo y los acuíferos.

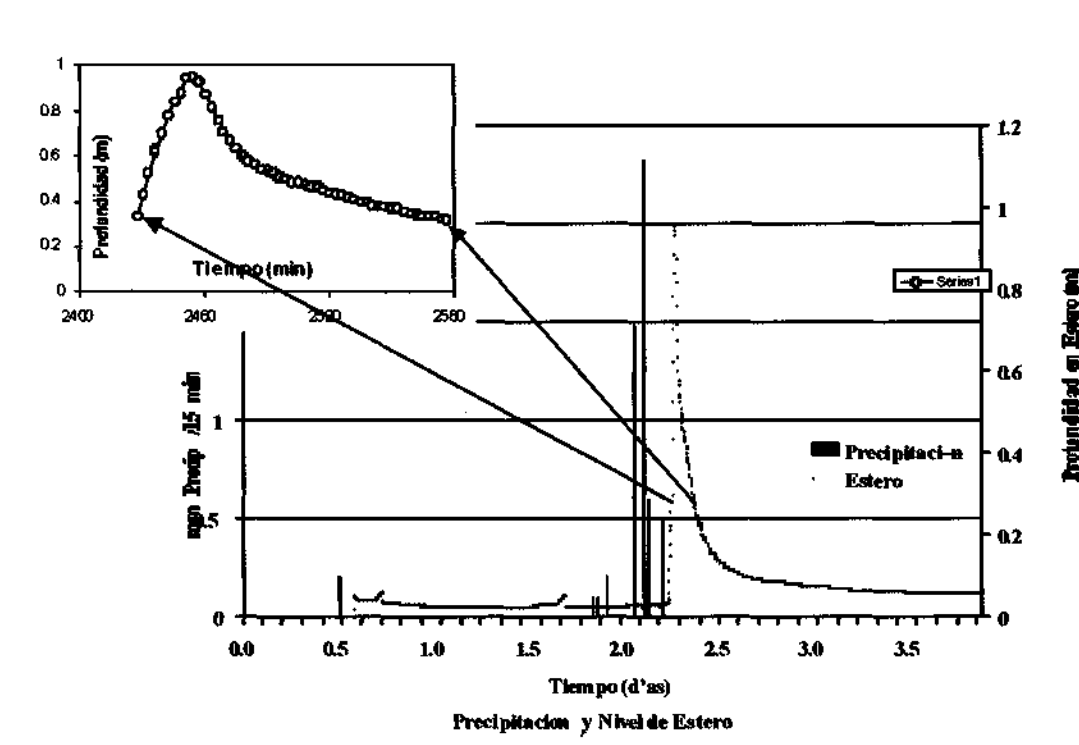


Figura N° 23. Registros hidrográficos y de precipitación obtenidos para la microcuenca Buenos Aires desde el 15 al 19 de junio, 1998.

A pesar que la mayoría de las mediciones de flujo de ríos en Chile se encuentran en la cordillera de Los Andes, existe buenos datos para el secano que muestran una respuesta anual. En el Cuadro N° 19 se muestran datos tomados del Balance Hídrico de Chile para microcuencas del secano. Es interesante de ver como los parámetros son afectados por tres regímenes diferentes de precipitación. Vemos que, mientras la ET es relativamente constante entre las microcuencas, el flujo superficial fue más variable que las precipitaciones, variando en un factor de casi 5. Esto refleja que en un clima mediterráneo el suelo está seco al inicio del invierno, y húmedo al final del período de lluvias. Así la recarga del perfil del suelo tomará cerca de 0.5 m de agua del total de la lluvia caída. En gran parte, esta es la razón por que la ET es tan consistente entre sitios con diferentes condiciones hidrológicas. Es también interesante de hacer notar que de los 4 principales componentes del ciclo hidrológico, el agua subterránea es totalmente ignorada. ¿Por qué? Porque el análisis asume con razón que la cantidad de agua almacenada en el perfil es estable de un año para el otro. Cualquier uso del agua subterránea reducirá el flujo de agua superficial, e incrementará la evaporación. Desde esta perspectiva, el agua de escurrimiento superficial representa el máximo sustentable de aguas disponible para una área.

Cuadro N° 19. Flujos de agua de acuerdo a la profundidad por año en tres cuencas de las regiones del secano de Chile según información del Balance Hídrico de Chile (1987).

Área	Precipitación	Evaporación Actual	Flujo del río
Costeras entre los ríos Maule y el Itata	810 mm	552 mm	258 mm
Costeras entre los ríos Itata y el Bío Bío	1.200 mm	650 mm	550 mm
Costeras entre los ríos Bío Bío y Carampangue	1.809 mm	633 mm	1.231 mm

3.3. EVAPORACIÓN

Hemos visto que la evaporación en el secano es de aproximadamente 0.5 m/año. Esto es muy diferente al 1.8 m/año de evaporación visto en las bandejas de las estaciones meteorológicas de esta región. Hay dos razones principales para explicar estas diferencias entre el suelo y las estaciones meteorológicas. Lo más importante es que el suministro de agua es una fuerte limitación a la evaporación en los suelos no regados. Siendo en la mayoría de las veces muy diferente el tiempo en que cae la lluvia y se produce la evaporación, la cantidad de agua que se puede evaporar del perfil del suelo es controlado por la cantidad de agua que el suelo puede contener a nivel radicular. En el secano, la capacidad de retención de agua es del 30%, y las raíces pueden obtener agua hasta una profundidad de 1.5 m, asegurando 0.45 m de la planta con agua disponible. Hay plantas que tienen un sistema radicular más desarrollado (ej., árboles y viñas) pero estos casos calzan bien con la ET total observada de cerca de 0.55 m. Esto es significativo si consideramos que habrá 0.1m de precipitación durante ese período.

Así, necesitamos desarrollar un método fácil que relacione la evaporación de bandeja con la demanda de evaporación de los cultivos. Esto se hace en dos fases. Primero, la evaporación de bandeja se corrige por condiciones ambientales para obtener un consumo estimado de agua de un cultivo de referencia. Típicamente se considera un pasto corto o una alfalfa bien establecida. La tabla 3 presenta el coeficiente de bandeja (K_{tan}) que se usa en ecuación 1 para obtener una demanda de la evaporación estimada para el cultivo de referencia (E_{cr}) de evaporación de bandeja observada (E_{tan}).

$$E_{cr} = K_{tan} E_{tan} \quad [1]$$

Los valores de K_{tan} generalmente caen entre 0.6 y 0.8, demostrando un alto potencial de evaporación del agua superficial que de un campo cubierto con vegetación.

La demanda de evaporación esperada de cualquier cultivo, E_c es calculada usando el coeficiente de cultivo K_c como se muestra en la Figura N° 7 y la ecuación (2)

$$E_c = K_c E_{cr} \quad [2]$$

El coeficiente de cultivo es función del medioambiente local, y por lo tanto debiera obtenerse localmente. Afortunadamente para Chile, el medio ambiente encontrado aquí tiene el mismo patrón que el encontrado en el valle central de Oregon (Willamette Valle) (Figura 8). Los coeficientes de cultivos más relevantes, se pueden obtener directamente de la investigación realizada en Oregon. Muchas publicaciones valiosas están disponibles para ésta área, incluidos Cuenca et al. (1992) y Selker et al. (1998).

Hay dos puntos más que son importantes en la comprensión de la ET. Primero, ¿qué controla la ET? Fundamentalmente, es energía proveída por el sol. Por lo tanto, no hay cultivos que consuman más agua que los típicos cultivos de referencia. Coeficientes de cultivos mayores que 1.2, simplemente no ocurren. La mayoría de los árboles, debido a su sistema radicular, y por lo tanto mayor habilidad para acceder al agua tienen un coeficiente de cultivo entre 1.0 a 1.15. La mayoría de otros cultivos hortícolas tienen coeficientes de cultivo entre 0.8 y 1.0 cuando tienen una canopia completamente desarrollada.

El segundo punto importante es que la tasa de evaporación de agua disminuye muy rápidamente a medida que aumenta la profundidad a la napa freática. Como se muestra en la Figura N° 9, para napas inferiores a 2 m. en ausencia de raíces el rango máximo de evaporación son centímetros por siglo, lo que es esencialmente insignificante. Por esta razón, hay mucha disponibilidad de agua bajo muchos desiertos en sólo unos pocos metros bajo la superficie. ¿Indican estas grandes reservas que siempre habrá agua a esa profundidad? No. Muchos veces esta agua se ha juntado por miles de años desde que las fuerzas de la evaporación no la pueden extraer. Por eso, cuando se extrae, se pierde para siempre. Por esta razón es crítico en Chile determinar no sólo donde hay agua cerca de la superficie, sino que cuanta agua se puede recuperar una vez que se ha empezado a usar las aguas subterráneas.

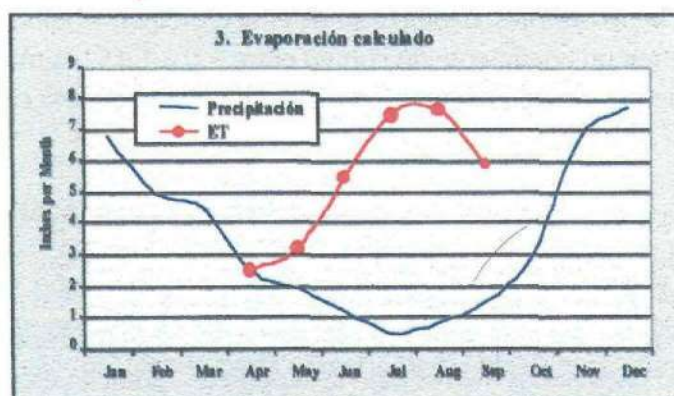
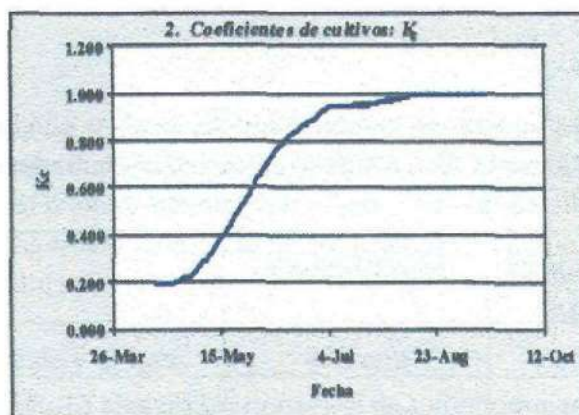
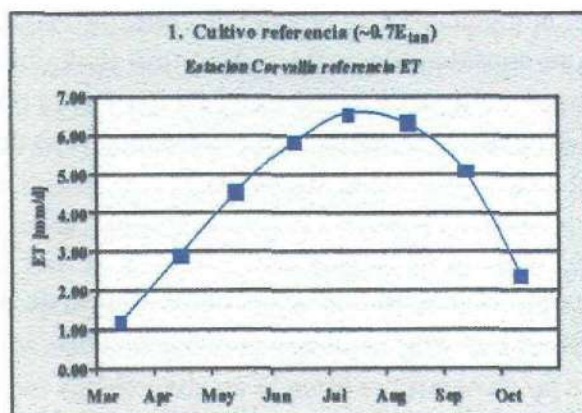


Figura N° 24. Diagrama de uso de coeficientes de cultivos para estimar la demanda de evaporación.

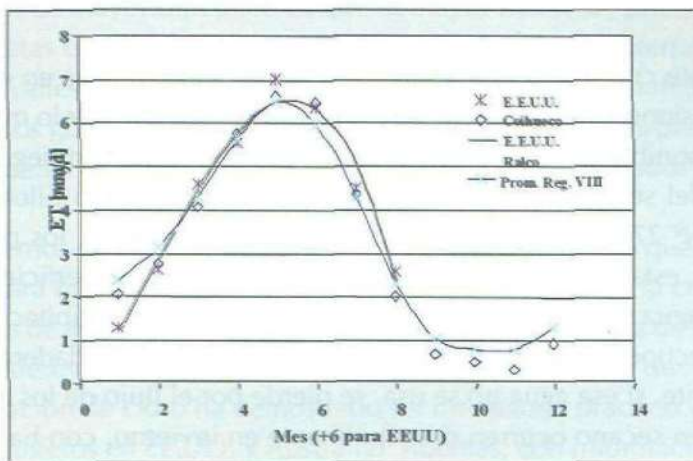


Figura N° 25. Comparación de demanda de evaporación en la VIII región de Chile y el I Willamette Valle en Oregon, E.E.U.U. La línea azul sólida es el promedio para Willamette Valley, y la línea negra pertenece a la VIII Región de Chile.

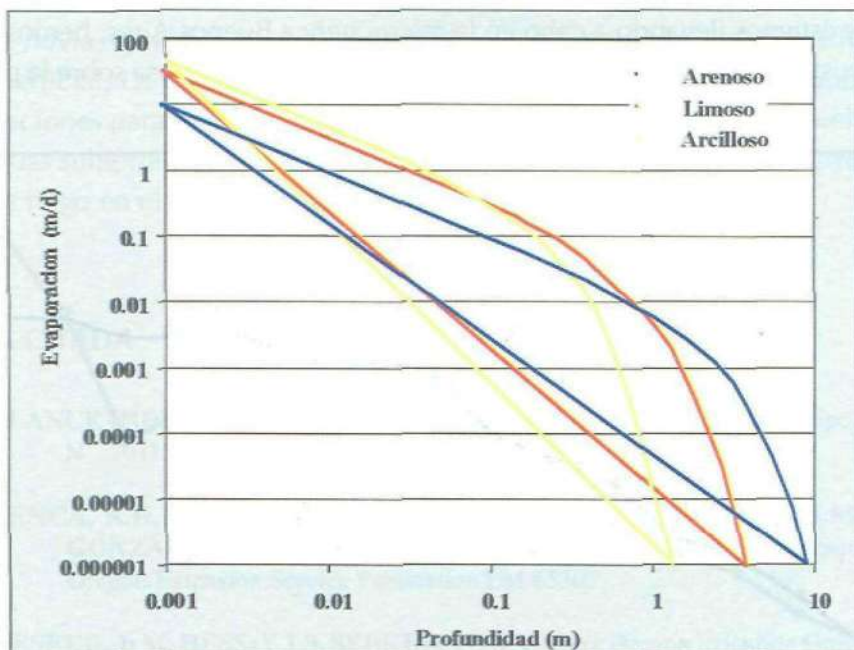


Figura N° 26. Ilustración del flujo máximo de evaporación de tres tipos de suelo en función de la profundidad a la napa subterránea. (Según Gardner, 1958).

3.4. AGUA SUBSUPERFICIAL.

El punto más importante con respecto a recursos de aguas subterráneas en el secano es que ellas existen y son de dimensiones significativas. En promedio parece que por lo menos 0.25 m de aguas subterráneas están disponibles para su desarrollo, que podría proveer un riego potencial de aproximadamente un 25% del secano. Esto fue demostrado en el proyecto piloto de la microcuenca Buenos Aires (Figura N° 27). Aquí, aún en un año relativamente seco, los pozos tenían agua a 2 metros de profundidad, estando la mayoría de los pozos cerca de la superficie del suelo. Aparentemente, se extrajo más agua subterránea por riego, habiendo sido la precipitación normal (dos veces más que este año), la recuperación de aguas subterráneas podría ser verdaderamente grande. Como se discutió anteriormente, si esa agua no se usa, se pierde por el flujo de los esteros. Debido a que el flujo de los esteros en secano ocurren principalmente en invierno, con baja pendiente, es poco práctico y muy caro usarlo como agua de riego. El reto de desarrollar recursos de aguas subterráneas es significativo. Primero, tenemos que determinar donde están los recursos accesibles: en muchas localidades el agua está a mucha profundidad para extraerla fácilmente, y la fracción de agua que se infiltra es muy variable. Además, la baja permeabilidad del suelo granítico significa que un pozo de bajo diámetro puede producir una cantidad de agua insuficiente para riego.

Un sueño largamente acariciado en hidrología subterránea ha sido el desarrollar un método simple para determinar exactamente donde perforar un pozo con alta producción de agua. Debido a la naturaleza de los flujos de aguas subterráneas ese sueño no será realizable en el corto plazo. Con los estudios que estamos llevando a cabo en la microcuenca Buenos Aires, hemos encontrado que los pozos que existen actualmente entregan una información muy valiosa sobre la permeabilidad de

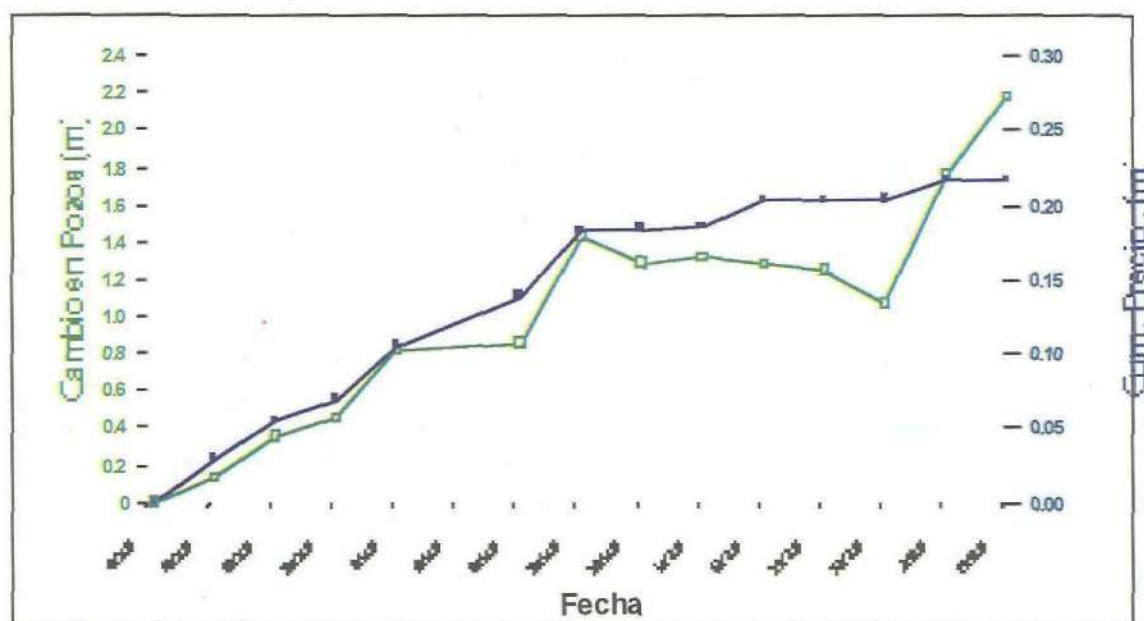


Figura N° 27. Respuesta a la precipitación invernal de los niveles de agua subterránea en 5 pozos de la microcuenca Buenos Aires. Los niveles de aguas subterráneas se incrementan en un promedio de 2 metros con 0.22 metros de precipitación.

ese contexto geológico. La mayor dificultad es que la mayor fuente de pozos para aguas subterráneas son pequeñas grietas en las rocas, y antiguos causes de esteros enterrados. Podemos pensar que en el fondo de los valles tendremos más posibilidades de encontrar antiguos lechos de esteros, pero los pozos profundos generalmente se encuentran en fisuras de rocas para obtener altos rendimientos. Desgraciadamente esos son difíciles de encontrar con los métodos existentes.

Al mismo tiempo, podemos determinar que una parte de la precipitación que cae en un sitio, eventualmente se infiltra. Para hacer esa determinación se usa el método de la concentración de cloro encontrada en muestras de aguas subterráneas. El concepto es que el agua de lluvia trae cloro desde el océano. El proceso de evaporación concentra el cloro en el sistema de aguas subterráneas. El sistema de la determinación de cloro ha demostrado ser un método práctico y seguro para determinar la recarga de los acuíferos en EE.UU. y Australia. Además, con información sobre la permeabilidad del material obtenido de los pozos y las mediciones de infiltración, podemos calcular la profundidad de la napa freática lo que permite a los planificadores el conocer la profundidad a que se encuentra la napa freática en cada localidad.

3.5. RESUMEN

Se ha mostrado que la hidrología del secano es controlada por varias características particulares de esta área. El clima es Mediterráneo, lo que significa que la lluvia cae en los meses de invierno. La corta pero intensa lluvia, conlleva condiciones de alta erosión con alta y significativa cantidad de escurrimiento superficial. La evaporación potencial es 4 veces mayor que la evaporación actual, debido a las limitaciones para almacenar agua en la parte superior del perfil del suelo. Finalmente, los recursos de aguas subterráneas son sustanciales, y pueden ser usados para desarrollar un importante programa de riego en el secano.

3.6. LITERATURA CITADA

- BALANCE HÍDRICO DE CHILE. 1987.** Dirección General de Aguas Inscripción N°. 70115.
- CUENCA, R.H., J.L. NUSS, A. MARTINEZ-COBB, G.G. KATUL, Y J.M.F. GONZÁLEZ. 1992.** Oregon Crop Water Use and Irrigation Requirements. Oregon Extension Service Publication EM 8530.
- SMESRUD, J. M. HESS, Y J.S. SELKER. 1998.** Western Oregon Irrigation Guides. Oregon Extension Service Publication EM 8713.
- GARDNER, W.R. 1958.** Some steady state solution of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. Soil Sci. 85: 228-232.

CAPÍTULO 4

Tecnologías apropiadas para el manejo conservacionista del suelo.



Jorge Riquelme Sanhueza
Ingeniero Agrónomo, Dr.
jriquelm@quilamapu.inia.cl

4. TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA EL MANEJO CONSERVACIONISTA DEL SUELO

4.1. INTRODUCCIÓN

El secano interior de Chile presenta un grave deterioro de suelo, causado principalmente por la erosión hídrica que ocurre cuando la lluvia impacta sobre el suelo desnudo, producto del sistema tradicional de establecimiento de cultivos, en que se ara el suelo, con arados que entierran la cubierta vegetal y los residuos. Al mismo tiempo el arado de vertedera reversible, provoca una erosión mecánica al trasladar todos los años una franja de suelo de 20 cm de ancho por 15 cm de profundidad, lo que en una longitud de 100 m supone una pérdida aproximada de 3,6 ton de suelo. Además, cuando la aradura se realiza en suelos con excesiva humedad, se provoca una compactación o pie de arado, que impide la infiltración del agua, incrementando con ello el escurrimiento.

Consciente de esta problemática, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ha investigado y desarrollado prácticas de cultivo conservacionistas, basadas principalmente en el establecimiento de cultivos con residuo en la superficie.

4.2. MÍNIMA LABRANZA

En la actualidad se considera apropiado labrar el suelo solo lo necesario para reducir las malezas y proporcionar las condiciones adecuadas para el crecimiento del cultivo.

Con este objetivo se ha desarrollado el arado cincel, herramienta que realiza una labor primaria de suelo, identificada como labranza vertical, cuya principal característica es soltar el suelo sin invertir ni mezclar las distintas capas del perfil.

El sistema permite una mejor protección de la superficie contra la erosión, dado que el rastrojo queda cerca o en la superficie, se evita la formación de un estrato impermeable o pie de arado, y se mejora la infiltración de agua en el suelo.

En el Cuadro N° 20, se compara el rendimiento del arado cincel respecto al arado de vertedera. Como se aprecia, el cincel posee una amplia ventaja sobre el arado de vertedera, llegando a ocupar menos de la mitad del tiempo en arar una hectárea de suelo, dado al mayor ancho de trabajo que se consigue con la labranza vertical; también la menor profundidad disminuye los requerimientos de tracción, incrementándose el ancho de trabajo.

Cuadro N° 20. Comparación entre dos métodos de labranza en el Secano Interior. Equipo tirado por un caballo de 600 kg Cauquenes, 1988.

Método	Labor			Capacidad			Tiempo
	Profund. (m)	Ancho (m)	Veloc. (km/hr)	Teórica (ha/hr)	Efect. (ha/hr)	Efic. (%)	Operativo (hr/ha)
Vertedera	0.015	0.225	3.39	0.076	0.052	68	19.2
Cinzel	0.008	0.500	4.48	0.224	0.103	46	9.7

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones de herramientas apropiadas para ejecutar la labranza vertical con tiro animal, se recomienda la utilización de un arado de cinco vástagos en forma de "S" de origen alemán, los que originalmente fueron introducidos al país con los implementos para tractor denominados vibrocultivadores (Rau, Kongskilde, etc.). Ver Anexo 1.

Se ha podido constatar en nuestras evaluaciones que las características vibratorias del arado cinzel contribuyen a mejorar la condición de trabajo para los animales, ya que las vibraciones absorben las variaciones de tiro que se producen en la labor de estallamiento del suelo, los que en un equipo rígido se transmiten al pecho del caballo. Mediciones de tracción realizada con este equipo, trabajando a 12 cm de profundidad con un ancho de trabajo de 46,7 cm, indican una necesidad de tiro de 136 kg., ya que tanto caballos o bueyes pueden desarrollar una fuerza promedio de 70 kg., una pareja de animales resuelve en forma apropiada estos requerimientos.

La capacidad de trabajo del equipo, permite eliminar la práctica del barbecho, una de las labores más perjudiciales que favorece la erosión del suelo, ya que el suelo queda sin una cubierta vegetal protectora frente a las primeras lluvias. Dada la rapidez de la labor, con el arado cinzel es posible romper el suelo y sembrar en el mismo año.

Algunos problemas encontrados al aplicar la mínima labranza ha sido la compactación de suelo, en su mayoría provocada por la labranza tradicional de años anteriores. El arado de vertedera compacta la base del suelo por donde se desliza formando una estrata compactada denominada "pie de arado".

Para eliminar la compactación que se ubica entre 15 y 20 cm de profundidad, se ha desarrollado un arado subsolador de tiro animal (Anexo 2), el cual puede trabajar a 20 cm de profundidad, con un requerimiento de tracción promedio de 200 kg. de tiro, demanda de tracción que puede ser cubierta por una yunta de bueyes o un collar de caballos. Se recomienda pasar cada 30 cm de ancho, requiriéndose 17 horas de trabajo para subsolar una hectárea.

Una vez que el sistema de mínima labranza funciona, es posible que comience a acumularse una excesiva cantidad de rastrojo, que se pueda eliminar mediante el empleo de una rastra de clavo. En el Cuadro N° 21 se describe el calendario de actividades que se ejecuta con mínima labranza para el cultivo del trigo en el secano interior. La labor de arar y rastrear se realiza después de una lluvia significativa, superior a 20 mm.

Cuadro N° 21. Calendario de actividades recomendado para mínima labranza. Cultivo del Trigo. Secano interior Ñuble*.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Arar y Rastrear				X								
Rastrear y Sembrar					X							
Fertilizar					X		X	X				
Herbicida						X	X					
Cosecha												X

(*) Últimamente debido al fenómeno climático del niño hemos debido atrasar las labores hasta el 15 de mayo.

La labor de rastrear y sembrar se realiza después de la segunda precipitación significativa, con una rastra de clavo pesada, luego se fertiliza con fósforo y se siembra al voleo, tapando la semilla con el arado cincel.

Para mejorar la eficiencia del fertilizante nitrogenado, se aplica en tres dosis: un tercio después de la siembra, el segundo tercio cuando el cultivo tiene de 5 a 6 hojas, coincidiendo con el control de malezas de hoja ancha, y el último tercio 30 días después.

Si existe presencia de gramíneas, se debe controlar cuando el cultivo tiene tres hojas; las malezas de hoja ancha se controlan cuando el cultivo tiene entre cinco a seis hojas.

4.3. CERO LABRANZA

El límite que puede alcanzar una labranza es la eliminación completa del laboreo mecánico, para ello se requiere de una sembradora que permita introducir la semilla a través del rastrojo o vegetación superficial, previamente controlada químicamente.

Se consideran como ventajas de la cero labranza: el ahorro de tiempo y energía, la reducción de la erosión del suelo, ocasionada por el viento y el agua y el mantenimiento de la humedad del suelo.

4.3.1. Sembradora de Cero Labranza

La máquina corresponde a una sembradora de flujo continuo, que cuenta con un depósito para semilla y otro para el fertilizante. El sistema abridor de surco permite la siembra directa sobre un suelo no labrado previamente, mediante la utilización de un vástago tipo "S", con una herramienta tipo cincel; en la parte posterior de la herramienta lleva una zapata especial que permite depositar la semilla y el fertilizante en el surco abierto por el cincel, antes de que éste se cierre, por las propiedades cohesivas de un suelo sin labrar (Anexo 3).

Los resultados de la evaluación de la máquina indicaron un buen comportamiento en cuanto a la uniformidad de dosificación, tanto para la semilla como para el fertilizante.

Se han observado muy buenos establecimientos de diferentes especies, en suelos graníticos de la costa, suelos aluviales del valle regado y trumaos de precordillera.

La capacidad efectiva de trabajo promedio conseguido en varios ensayos, para el caso del trigo fue de 2,5 ha/día para mínima labranza, y de 1,6 ha/día en cero labranza. En el caso del frejol, el rendimiento llegó a 4 ha/día. También es posible utilizar la máquina con un tractor pequeño de baja potencia (15 a 20 HP).

4.3.2. Pulverizador de tiro animal

Para efectuar la siembra directa, es necesario previamente controlar las malezas con un herbicida total; esto puede ejecutarse en forma más efectiva y rápida con una pulverizador de tiro animal, la que puede rociar 12 hectáreas en un día (Anexo 4).

En el Cuadro N° 22 se describe el calendario de actividades sugeridas para la cero labranza. El barbecho químico se realiza cuatro días antes de la siembra; la siembra se realiza con una sembradora de cero labranza; si existe exceso de residuo es conveniente retirarlo con la rastra malla.

Cuadro N° 22. Calendario de actividades Cero Labranza, Cultivo del Trigo. Secano interior.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Barbecho químico					X							
Siembra					X							
Fertilización					X		X	X				
Herbicida						X	X					
Cosecha												X

La siembra debe ser ejecutada con humedad adecuada de suelo; se aconseja después de la segunda lluvia aplicar el herbicida, esperar cuatro días y sembrar. Las otras labores son similares a la mínima labranza.

4.4. RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES

4.4.1 Productividad

En ensayos comparativos realizados por tres temporadas, en el cultivo del trigo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre diferentes sistemas de establecimiento, pero sí una tendencia a mejorar la producción en los sistemas conservacionista en las últimas temporadas, como puede apreciarse en el Cuadro N° 23.

Cuadro N° 23. Rendimientos del trigo bajo tres sistemas de labranza (qq/ha). Cauquenes, 1988/1989.

Temporadas	Sistema de Labranza		
	Vertedera	Cincel	Cero
	-----qq/ha-----		
1988 – 1989	30.6	34.9	31.7
1989 – 1990	19.5	24.0	21.8
1990 – 1991	34.9	42.3	48.1

4.4.2. Pérdidas de suelo

Al observar los diferentes tratamientos de labranza, no se encontraron grandes diferencias en el establecimiento del cultivo, pero si fue notorio en aquellas parcelas ubicadas en el sentido de la pendiente, observar en el extremo inferior un arrastre de suelo después de la lluvia. De manera de cuantificar lo que significan estas pérdidas, se instalaron parcelas de evaluación de erosión, de acuerdo a la metodología internacional recomendada por Michael Stocking. Los resultados de las mediciones indicaron que para parcelas de 11 m de largo y 11% de pendiente, las perdidas acumuladas de suelo fueron de 12,9; 4,7; 2,8; y 1,3 ton/ha en labranzas convencional, mínima, cero y pradera natural, respectivamente (Figura N° 28).

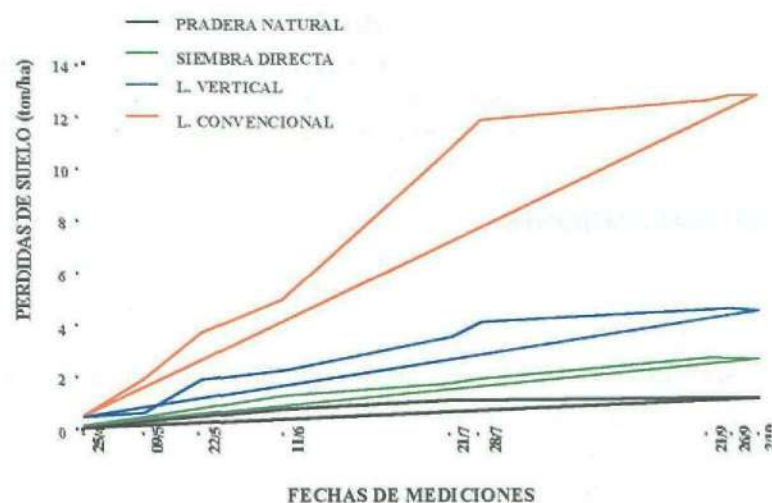


Figura N° 28. Pérdidas de suelo.

Al extrapolar los valores de pérdidas de suelo a una ladera de 100 m de longitud y pendiente que varían entre 5 y 20%, las pérdidas de suelos estimadas fluctuaron entre 11,9 y 94,1 ton/ha en labranza convencional y entre 1,8 y 14,7 ton/ha, en cero labranza (Cuadro N° 24).

Cuadro N° 24. Pérdidas de suelo extrapoladas para diversos valores de pendiente con longitudes de 100 m, en un suelo granítico del secano interior, sembrado con trigo en tres sistemas de labranza.

Labranza	Pendiente (%)			
	5	10	15	20
	ton/ha			
Convencional	11,9	30,8	58,0	94,1
Mínima	6,7	17,4	32,7	53,0
Cero	1,8	4,6	8,7	14,7

4.4.3. Costos.

De acuerdo con el análisis de costo que aparece en el Cuadro N° 25, se obtienen notables ahorro de tiempo y dinero al aplicar los sistemas de labranza conservacionista. Así el sistema de cero labranza permite un considerable ahorro de mano de obra y tracción animal, con una disminución notable en los costos de operación en comparación al sistema convencional.

Cuadro N° 25. Comparación de tres sistemas de establecimiento de trigo en el secano interior. Cauquenes, 1990.

Labores	Convencional		Mínima		Cero Labranza			
	J.H.	J.A.	J.H.	H.M.	J.A.	J.H.	H.M.	J.A.
Barbecho	3.9	10.3	1	8	2.7	0	0	0
Rastraje	0.6	0.8	0.6	-	0.8	0	0	0
Herbicida	0	0	0	0	0	0.06	0.5	0.08
Siembra	2.2	2	1.3	-	0.8	1.5	6	2
Total Jorn y horas	6.7	13.1	2.9	8	4.3	1.56	6.5	2.08
Valor Unit. (\$)	1.000	1.000	1.000	17	1.000	1.000	650	1.000
Subtotal (\$)	6.700	13.000	2.900	136	4.300	1.560	4.225	2.080
Total Sistema (\$)	19.800		7.366		7.865			
Valor Absoluto (\$)	100		37		40			

J.H. = Jornadas Hombre
 J.A. = Jornadas Animal
 H.M. = Horas máquina

ANEXO 1

ARADO CINCEL DE TIRO ANIMAL

*Jorge Riquelme S.
José Kreft R.*

En la actualidad se considera apropiado labrar el suelo lo mínimo posible, lo necesario para reducir las malezas y dar las condiciones para que crezca el cultivo.

El arado cincel de tiro animal efectúa una labor primaria de suelo, identificada como labranza vertical, cuya principal característica es soltar el suelo, sin invertir ni mezclar las distintas capas de perfil.

El sistema permite una mejor protección del suelo contra la erosión, dado que el rastrojo queda cerca o en la superficie, se evita la formación de una estrata impermeable o pie de arado y se mejora la infiltración de agua en el suelo.

Desde el punto de vista de la rapidez de la labor, el arado cincel ocupa menos de la mitad del tiempo en arar una hectárea de suelo que el arado de vertedera, dado el mayor ancho de trabajo que se consigue con la labranza vertical.

Los vástagos vibrocultivadores que posee contribuyen a mejorar el tiro del animal, ya que las vibraciones absorben las variaciones de tiro que se producen en la labor de estallamiento de suelo, las que en un equipo rígido se transmiten al pecho del caballo.

Mediciones de tracción realizadas con un arado cincel de 5 vástagos, trabajando a 12 cm de profundidad, con un ancho de trabajo de 47 cm, en un suelo granítico en condiciones friable, indicaron una necesidad de tracción de 136 kg, por lo tanto, una pareja de animales resuelve en forma apropiada estos requerimientos.

La capacidad de trabajo del equipo permite eliminar la práctica del barbecho, uno de los factores causantes de la erosión de suelo, ya que éste queda sin una cubierta protectora que aminore el impacto de la gota de lluvia.

La profundidad de trabajo del arado cincel no llega más allá de 10 cm, por lo tanto en suelos compactados por el pastoreo animal en invierno o el manejo con arados de vertedera, es conveniente utilizar el arado subsolador.

Cuando hay exceso de rastrojo, una rastra de clavos pasada en el sentido de la labor, permite ordenar el rastrojo para facilitar el paso de arado cincel.

Para tapar las semillas se pueden reemplazar las herramientas tipo cincel por unas palas de madera o metálicas, que permiten dejar la siembra corrugada, concentrando la semilla y el fertilizante en un surco.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- | | | | |
|----|----------------------------------|---|--|
| 1 | Fuente de tracción | : | Animal (caballos o bueyes) |
| 2 | Tipo de implemento | : | Arado |
| 3 | Marca | : | Agritecnia |
| 4 | Modelo | : | Cinzel |
| 5 | Fabricante | : | Arturo Gutiérrez, Tehualda 2015
Fonos: 222449, 211931, 227008, Chillán. |
| 6 | Dimensiones totales | : | Largo: 173 cm
Ancho: 103 cm
Peso total: 29,50 kg |
| 7 | Dimensiones implemento | : | Largo: 30 cm
Ancho: 4 cm
Alto: 58 cm
Peso implemento: 3,50 kg
3 ó 4 cuerpos |
| 8 | Cuerpos en contacto con el suelo | : | 3 ó 5 cuerpos |
| 9 | Materiales de cuerpo | : | - Vástago: Acero templado procedencia Alemana.
- Reja: Acero SAE 5160 (resistente al roce). |
| 10 | Grado de dureza | : | 30 H.R.C. (Reja) |
| 11 | Grueso de la reja | : | 8 mm |
| 12 | Tipo de mancera | : | Simple y de altura regulable |
| 13 | Detalles del enganche | : | Para balancín y con 4 posiciones de tiro. |
| 14 | Mantenimiento | : | - Limpieza y pintura antioxidante a fin de temporada.
- Lubricación buje de la rueda |
| 15 | Componentes principales | : | <ul style="list-style-type: none"> - Estanque <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad 200 l - Diámetro de carga 20 cm - Filtro interior de malla inoxidable. - Bomba <ul style="list-style-type: none"> - Tipo membrana - Acciona rueda motriz mediante cadena - Caudal proporcional camino recorrido - Manómetro <ul style="list-style-type: none"> - Graduado en P.S.I. y en kg/cm² - Boquillas <ul style="list-style-type: none"> - Tipo abanico para aplicación de herbicidas. - Ubicadas cada 65 cm. |
| 16 | Mantenimiento | : | <ul style="list-style-type: none"> - Equipo <ul style="list-style-type: none"> - Después de ocupar el equipo, lavar cuidadosamente con mucha agua. - Engrasar <ul style="list-style-type: none"> - Engrasar periódicamente sello y camiseta del chasis que recibe el mensaje. - Proteger los neumáticos de la acción del sol y las bajas temperaturas. |

ANEXO 2

ARADO SUBSOLADOR A TRACCIÓN ANIMAL

*Jorge Riquelme S.
José Kreft R.*

La mayoría de los pequeños agricultores utilizan el arado de vertedera para arar sus suelos. Cuando esta labor se realiza en una consistencia plástica del suelo, se produce un sello bajo la reja del arado que en años sucesivos da origen a una estrata compactada, que impide la infiltración del agua y el crecimiento de las raíces del cultivo. Dependiendo de la profundidad en que se realiza esta labor, la estrata se ubica entre 15 a 20 cm de profundidad. También el fenómeno de compactación de suelo puede ser provocado por el pastoreo de los animales en los meses de invierno; este tipo de compactación se ubica en forma más superficial.

El implemento que permite eliminar este tipo de compactación es el arado subsolador. Para un buen empleo del equipo es conveniente efectuar calicatas en el suelo, para determinar la presencia y profundidad de la estrata compactada. Luego se regula el equipo para que la punta del subsolador pase justo por el centro de la estrata compactada; se hace funcionar el equipo y se mide al ancho de las grietas formadas, se obtiene un promedio de este ancho, que indicará la distancia entre pasadas para el equipo.

La labor es conveniente efectuarla a comienzos de invierno con las primeras lluvias, o a salida de invierno en una condición tal que el suelo no tenga excesiva humedad. Si hay mucha humedad el suelo no se grieta, y si está muy seco se incrementa el requerimiento de tracción para los animales.

Mediciones de tracción ejecutadas con este equipo, indican un requerimiento de 200kg de tiro, lo que sólo puede ser satisfecho por dos animales pesados.

La capacidad de trabajo del equipo va a estar dada por el ancho de trabajo requerido para la labor. De este modo para un ancho de trabajo de 30 cm, podrían requerirse 15 horas de trabajo para subsolar una hectárea.

El implemento efectúa una labranza vertical sin inversión del suelo, lo que permite mantener rastros sobre el suelo, por lo que se recomienda para efectuar barbechos en el Secano Interior ya que se evita la erosión.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1	Fuente de tracción	:	Animal (caballos o bueyes)
2	Tipo de implemento	:	Arado
3	Marca	:	Agrotecnia
4	Modelo	:	Subsolador
5	Fabricante	:	Arturo Gutiérrez, Tehualda 2015 Fonos: 222449, 211931, 227008, Chillán.
6	Dimensiones totales	:	Largo: 142 cm Ancho: 65 cm Alto: 72 cm Peso total: 32,75 kg
7	Dimensiones implemento	:	Largo: 39 cm Ancho: 4 cm Alto: 42 cm Peso implemento: 5,35 kg
8	Cuerpos en contacto con el suelo	:	1 cuerpo
9	Materiales de cuerpo	:	Acero SAE 5160 (resistente al roce).
10	Grado de dureza	:	30 H.R.C. (Reja)
11	Grueso de la reja	:	13 mm
12	Tipo de mancera	:	Doble y de altura regulable
13	Detalles del enganche	:	Para balancín y con 4 posiciones de tiro.
14	Mantenimiento	:	- Limpieza y pintura antioxidante a fin de temporada. - Lubricación buje de la rueda

ANEXO 3

SEMBRADORA DE CERO LABRANZA DE TIRO ANIMAL

*Jorge Riquelme S.
José Kreft R.*

Se denomina cero labranza a la técnica que consiste en sembrar sobre un suelo sin arar, donde las malezas se han controlado previamente con un herbicida total.

El dispositivo abresurco de esta sembradora corresponde al tipo cincel, una reja delgada con un ángulo de ataque reducido, logra abrir el suelo para que de inmediato una zapata ubicada detrás del cincel deposite la semilla y el abono; el mismo suelo, por la propiedad cohesiva que posee al no estar arado y con una condición de humedad apropiada (consistencia friable), se cierra de inmediato detrás de la zapata, dejando la semilla en una condición apropiada para su germinación.

El requerimiento de tracción para este tipo de sembradoras es bajo, y no requiere peso para contrarrestar la fuerza vertical, común en sembradoras de disco. Cada vástago puede requerir entre 40 a 60 kg de tiro, dependiendo del tipo de suelo y su contenido de humedad.

La posibilidad de ubicar los vástagos en forma alternada en una doble barra de sustentación, permite un mejor flujo del rastrojo, el que a su vez puede ser ordenado en el sentido de trabajo de la máquina con la ayuda de una rastra de clavo.

El mecanismo dosificador de la máquina corresponde al tipo roldana, un rotor cilíndrico de eje horizontal, con estriato interno de capacidad fija, posee un diafragma radial fijo, que lo divide en un compartimiento para semilla pequeña: trigo, avena, cebada y especies similares y un compartimiento para grano grueso: frejol, lenteja, arveja, lupino y semillas similares. El caudal es controlado mediante el índice de transmisión de la máquina, ubicando el engranaje correspondiente para cada tipo de semilla.

El dosificador de abono corresponde al tipo estrella. Compuertas individuales sobre cada estrella permiten uniformar la aplicación de todas las hileras. Con una palanca manual se modifica la aplicación dentro de un rango cercano; para rangos mayores se reemplaza el engranaje correspondiente.

La rueda derecha de la máquina suministra la fuerza para la dosificación del fertilizante y la rueda izquierda para la semilla. Ambos mecanismos poseen un sistema de embrague que se conecta y desconecta, al bajar o alzar el conjunto abridor del surco.

Dependiendo del número de abresurcos, la distancia entre hileras de la siembra y la velocidad de trabajo de los animales, se tendrá la capacidad de trabajo de la máquina. Por ejemplo, una siembra de trigo con cinco abresurcos, distancia entre hileras de 15,5 cm y velocidad de trabajo de los caballos de 4 km/hr, podrá sembrar más de una hectárea al día.

En el caso de una siembra de frejol con tres abresurcos con distancia entre hileras de 50 cm, podrá sembrar más de dos hectáreas al día.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- | | | | |
|----|----------------------------------|---|--|
| 1 | Fuente de tracción | : | Animal (caballos o bueyes)
Tractor de 15 a 20 HP |
| 2 | Tipo de implemento | : | Sembradora de flujo continuo |
| 3 | Marca | : | JUBER |
| 4 | Modelo | : | JR. |
| 5 | Fabricante | : | Juber S.A. (8189) Darragueira, Buenos Aires Argentina. |
| 6 | Dimensiones totales | : | Largo: 3,82 m
Ancho: 1,68 m
Alto: 1,33 m
Peso total: 366 kg |
| 7 | Cuerpos en contacto con el suelo | : | 3, 6 ú 8 dependiendo del tipo de siembra. |
| 8 | Materiales de cuerpo | : | - Vástago: Acero templado, procedencia
- Alemana. Acero SAE 5160 (resistente al roce). |
| 9 | Grado de dureza | : | 30 H.R.C. (Reja) |
| 10 | Ancho de trabajo | : | 1,2 m máximo |
| 11 | Detalles del enganche | : | - Tiro animal
- Caballos: apero vavero tradicional más aspero simple con balancín.
- Bueyes: enganche central con pértigo y yuyo (tipo Español).
- Tractor
- Enganche categoría 1. |
| 14 | Mantenimiento | : | - Engrasar periódicamente bujes, rodamientos sistema de embrague, etc.
- Proteger los neumáticos de la acción del sol y las bajas temperaturas. |

ANEXO 4

BARRA PULVERIZADORA DE TIRO ANIMAL

*Jorge Riquelme S.
José Kreft R.*

La aplicación de herbicidas en la agricultura es una de las labores de más alto riesgo, tanto para el operador como para el medio ambiente, por lo tanto, las normas de seguridad deben ser seguidas en forma estricta. El operador del equipo debe ser una persona capacitada, que deberá mantenerse al día en las normas de manejo de pesticidas y controlar su salud periódicamente.

El caudal de aplicación por hectárea depende del tipo de boquilla utilizada, la presión de aplicación y la velocidad de avance de la máquina. Para la aplicación de herbicidas el equipo posee boquillas Tee Jet 110015, las que trabajando a 3 bar de presión (44 lb/pulg²), deberían entregar un caudal de 0.6 lt/min. Si el caballo logra mantener una velocidad de 3,5 km/hr en su aplicación, tendríamos un caudal por hectárea de 160 lt/ha.

Durante la aplicación, si queda un resto en el depósito, conviene diluirlo en 10 partes de agua y volver a repetir el tratamiento en el mismo campo para no concentrar producto en una misma área.

Al final de la aplicación, se debe lavar el equipo con una solución de 1,5 kg de soda por 100 litros de agua, o un litro de amonio triple por cada 100 lt de agua.

La pulverizadora ICAT-INIA posee una gran capacidad de trabajo, pudiendo rociar 12 hectáreas al día. El carro con semiejes le permite ajustar las ruedas en cultivo en hileras, como maíz y hortalizas.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- | | | | |
|----|--------------------------------------|---|---|
| 1 | Fuente de tracción | : | Animal (caballos o bueyes).
Tractor de 15 a 20 HP |
| 2 | Tipo de implemento | : | Pulverizador |
| 3 | Marca | : | ICAT – INIA |
| 4 | Modelo | : | Multicolor |
| 5 | Fabricante | : | ICAT, Capuchinos 639, Fonos: 6967983 - 715720, Stgo. |
| 6 | Dimensiones totales para transporte | : | Largo: 5,75 m

Ancho: 1,94 m

Alto: 1,65 m

Peso sin carga: 262 kg |
| 7 | Dimensiones implemento en aplicación | : | Largo: 3,50 m

Ancho: 6,74 m

Alto: ,165 m

Peso con carga: 462 kg |
| 8 | Materiales del conjunto | : | - Perfiles, tubulares, platinas, planchas y pasadores de la estructura, acero calidad comercial.

- Depósito polietileno alta densidad. |
| 9 | Detalle del engranaje | : | Apero vavero tradicional |
| 10 | Boquillas actuales | : | 11 boquillas tipo Tee-Jet (Cod. Según necesidad). |
| 11 | Ancho de trabajo | : | 7,15 m |
| 12 | Altura de aplicación | : | 65 cm |
| 13 | Regulación altura aplicación | : | Mediante sistema manual-mecánico de palanca y traba |
| 14 | Regulación de presión | : | Selecciona rango de presión de trabajo manteniéndolo constante. |

CAPÍTULO 5

Fertilidad de suelos para una producción sostenible de la región de secano de Chile.



Rodrigo Ortega Blü
Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph.D.
rortega@sqm.com.mx

5. FERTILIDAD DE SUELOS PARA UNA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE LA REGIÓN DE SECA- NO DE CHILE

5.1. INTRODUCCIÓN

El secano interior y costero de Chile comprende una vasta e importante zona agrícola del país. Según Del Pozo y otros (1998), las zonas agroecológicas del secano interior y costero de la VII y VIII regiones abarcan sobre un millón de hectáreas.

Los suelos de la región secano corresponden principalmente a tres tipos (Pinochet de la Barra, 1983): suelos graníticos y metamórficos en el secano interior y terrazas marinas en el secano costero (Figura N° 29).

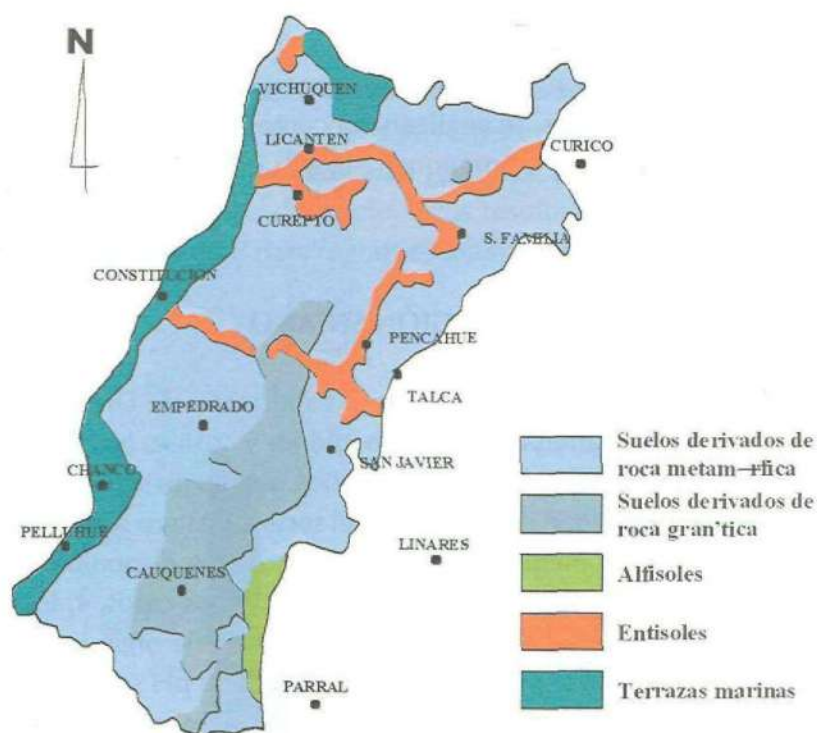


Figura N° 29. Suelos del secano interior y costero de la VII región (Según Pinochet de la Barra, 1983).

Una baja proporción de los suelos del secano interior es arable (pendientes < 8 %), por lo que en muchos casos la producción de cultivos se realiza sobre suelos que por su topografía debieran utilizarse para otros fines o sembrarse con prácticas conservacionistas tales como cero labranza.

Según Acuña y otros (1983), las principales limitantes nutritivas de los suelos del secano interior son las deficiencias de nitrógeno, fósforo y en un menor grado, potasio. También son comunes las deficiencias de azufre y algunos micronutrientes como zinc y boro (Ovalle, 1994).

Los suelos del secano costero son, en general, más fértiles que los del secano interior, presentando mayores contenidos de materia orgánica y niveles superiores de fósforo y potasio. En el secano costero de la VII región (terrazas marinas de Chanco), la principal limitante de fertilidad es el nitrógeno, en tanto que los niveles de fósforo y potasio son medios a altos (Del canto y otros, 1987). En la zona de Arauco (área sur del secano costero), de mayor pluviometría, Ruz y otros (1993) señalan que las principales limitantes nutricionales son el nitrógeno y potasio, presentando algunas áreas bajos niveles de calcio y magnesio, y algunos problemas de acidez. En este mismo estudio se reconoce la alta variabilidad entre tipos de suelo, lo que sugiere que si bien las generalizaciones pueden ser válidas en algunos casos, las recomendaciones debieran tender a ser sitio específicas.

En el presente trabajo se presentan algunos aspectos generales de la fertilidad de los suelos de la región secano de la VII y VIII regiones, se analizan conceptos claves en el entendimiento del diagnóstico de la fertilidad de los suelos y se proponen algunas estrategias de manejo sostenible de la fertilización de los cultivos del área.

5.2. FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN SECANO

El análisis de las muestras de agricultores enviadas al Laboratorio de Diagnóstico Nutricional del CRI Quilamapu del INIA desde comunas del secano interior y costero (excluyendo la provincia de Arauco) de la VII y VIII regiones durante los últimos 10 años, reveló los siguientes resultados (Figuras N° 30 al 39): 1) los niveles de fertilidad de los suelos del secano costero son en promedio superiores a los del secano interior, 2) en promedio, los niveles de nitrógeno disponible son bajos en ambas áreas agroecológicas, 3) los niveles de P Olsen son bajos en ambos casos, 4) los niveles de potasio, en promedio, son altos en ambos casos, 5) el contenido de materia orgánica es bajo en el secano interior y medio en el secano costero, mientras que los valores de pH son medios en ambos casos. Los resultados obtenidos son absolutamente coincidentes con aquellos reportados por Acuña y otros (1983) para el secano interior. Desde el punto de vista de distribución de las muestras, sobre el 50 % de ellas mostraba bajos valores de N, P, materia orgánica y pH en el secano interior. Por otra parte, en el secano costero, solo el N y P presentaban un porcentaje superior al 50 % de las muestras en la categoría baja (Cuadro N° 26).

Cuadro N° 26. Niveles promedio de nitrógeno, fósforo, y potasio y porcentaje de muestras en el nivel bajo.

Nutriente	Secano interior		Secano Costero	
	Promedio	% bajo	Promedio	% bajo
N (mg/kg)	11	87	21	55
P (mg/kg)	7	77	11	57
K (mg/kg)	127	44	175	11
MO	2.3	91	5.9	24
pH	5.6	51	5.5	48

Otros nutrientes deficientes en el área son el azufre, zinc, y boro. Dado los valores de pH se podría esperar respuesta al encalado en al menos 50 % de los casos.

Una característica importante de los suelos del secano interior es su baja capacidad de fijación de P, especialmente en el caso de los suelos graníticos. Al respecto Del Pozo y Otros (1994), en condiciones de campo, determinaron un incremento de 14 ppm de P por cada 230 kg de P_2O_5 /ha aplicado en los primeros 5 cm de profundidad del suelo. Estos resultados corroboran el hecho de que en general se requieren bajas dosis de P para lograr resultados satisfactorios.

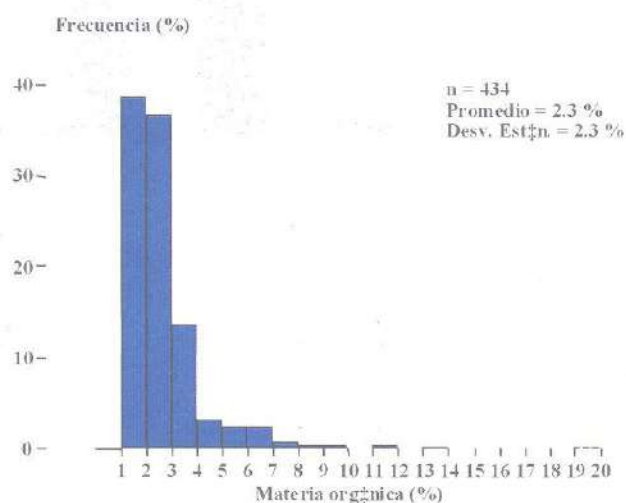


Figura N° 30. Distribución de frecuencia del contenido de materia orgánica en suelos del secano interior de la VII y VIII regiones.

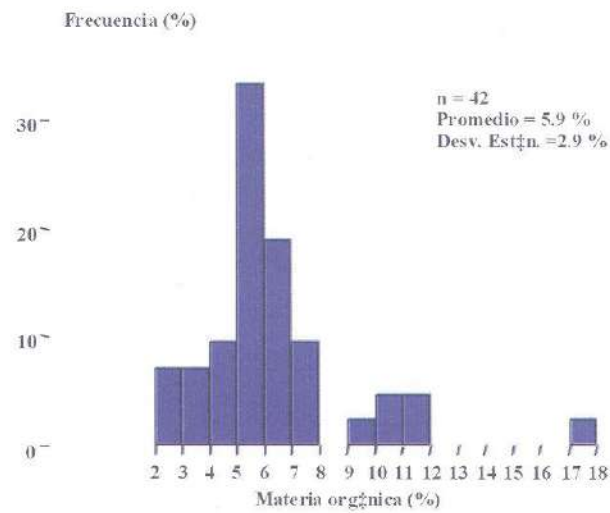


Figura N° 31. Distribución de frecuencia del contenido de materia orgánica en suelos del secoano costero de la VII y VIII regiones

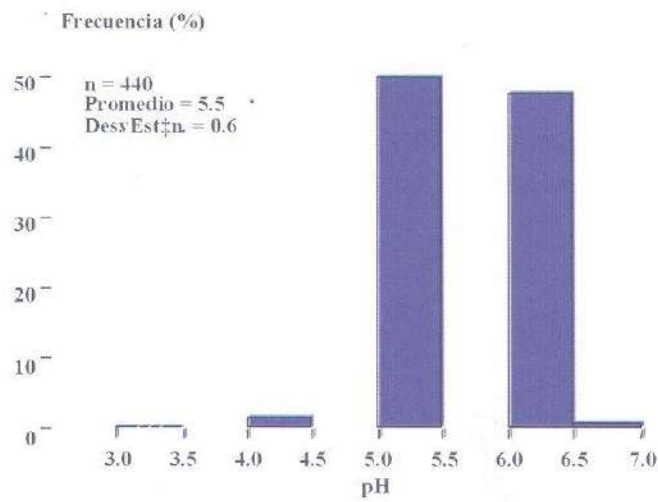


Figura N° 32. Distribución de frecuencia del pH en suelos del secoano interior de la VII y VIII regiones.

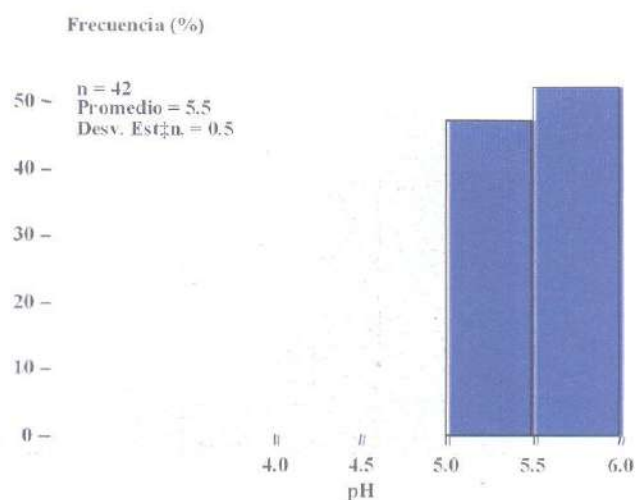


Figura N° 33. Distribución de frecuencia del pH en suelos del secano costero de la VII y VIII regiones.

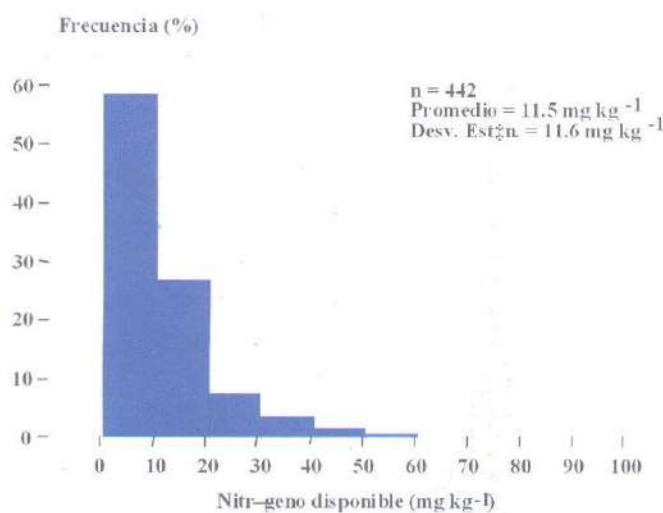


Figura N° 34. Distribución de frecuencia del nitrógeno disponible ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) en suelos del secano interior de la VII y VIII regiones.

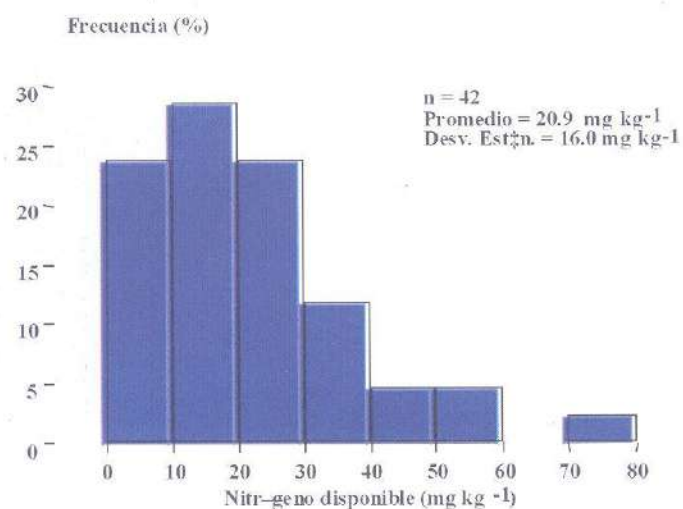


Figura N° 35. Distribución de frecuencia del nitrógeno disponible ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) en suelos del secano costero de la VII y VIII regiones.

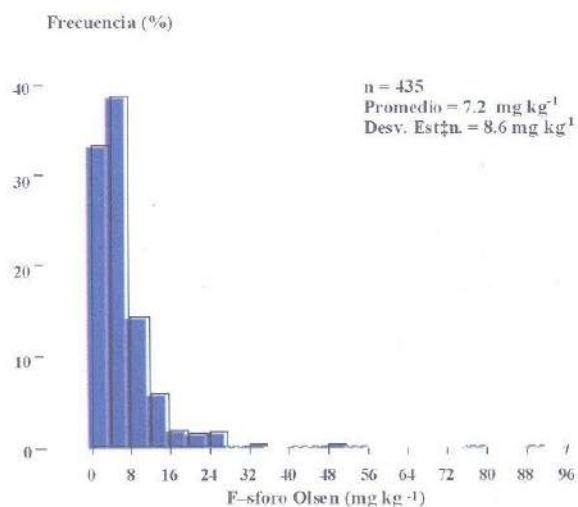


Figura N° 36. Distribución de frecuencia del fósforo Olsen en suelos del secano interior de la VII y VIII regiones.

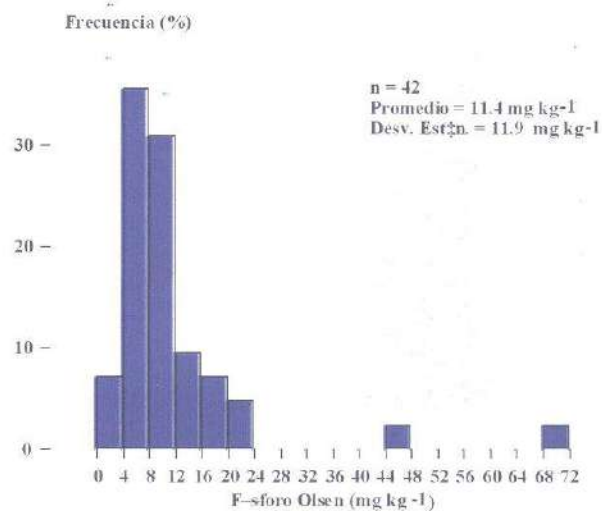


Figura N° 37. Distribución de frecuencia del fósforo Olsen en suelos del secano costero de la VII y VIII regiones.

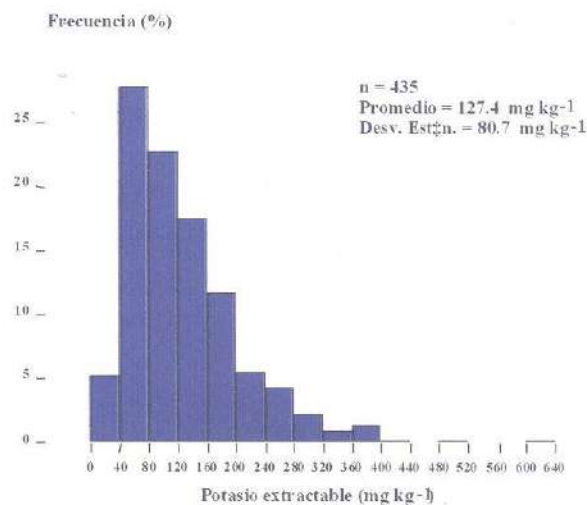


Figura N° 38. Distribución de frecuencia del potasio extractable en suelos del secano interior de la VII y VIII regiones.

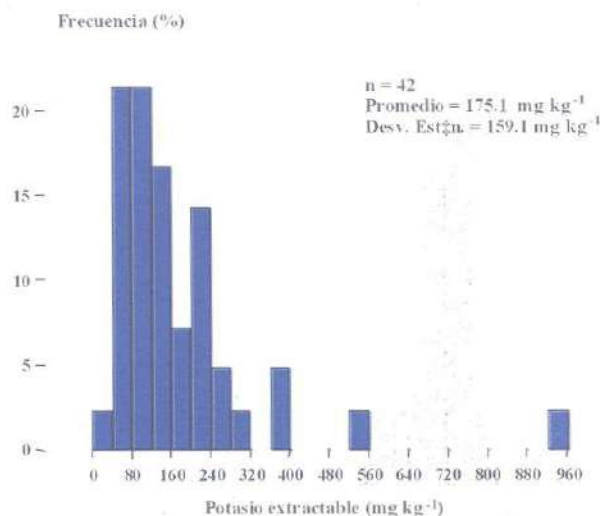


Figura N° 39. Distribución de frecuencia del potasio extractable en suelos del secano costero de la VII y VIII regiones.

5.2.1. Diagnóstico de la fertilidad del suelo

Existen diversas herramientas de diagnóstico de la fertilidad de los suelos. Sin lugar a dudas la más certera y directa es la respuesta de la planta de interés al ambiente edáfico en que se le hace crecer. Esta respuesta se puede expresar en forma de síntomas de deficiencia o toxicidad y rendimiento.

El análisis de suelo es una herramienta indirecta que ha sido desarrollada a partir de soluciones extractantes diversas que extraen distintas fracciones de los nutrientes de interés del suelo. El análisis de suelo *per se* no tiene utilidad, y para ser usado debe relacionarse con la respuesta de la planta. La relación entre el nivel de un análisis de suelo y la respuesta de la planta se obtiene a través de un proceso denominado calibración. En la Figura N° 40 se presenta la relación entre el nivel de fósforo del suelo extraído con bicarbonato de sodio (método Olsen) y el rendimiento relativo. Se aprecia que a medida que aumenta el valor del P Olsen, el rendimiento relativo (expresado como el cociente entre el rendimiento del cultivo sin fertilización fosfatada y el rendimiento del mismo cultivo fertilizado con P) aumenta, hasta estabilizarse cuando el suelo alcanza las 30 ppm de P. Este nivel se denomina *nivel crítico*. El *nivel crítico* de un nutriente se define como el valor del análisis que divide los suelos en dos categorías: a) aquellos en que la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes es alta y b) aquellos en que la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes es baja. Normalmente no se aplica fertilizante sobre el *nivel crítico*. Algunos niveles críticos o criterios de suficiencia se presentan en el Cuadro N° 27. En el caso de las bases de intercambio, los criterios de suficiencia se expresan como proporción de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Desde el punto de vista de toxicidad, el aluminio de intercambio debiera encontrarse en niveles de saturación menores al 5 %. El pH considerado adecuado para la mayoría de los cultivos es sobre 5.8.

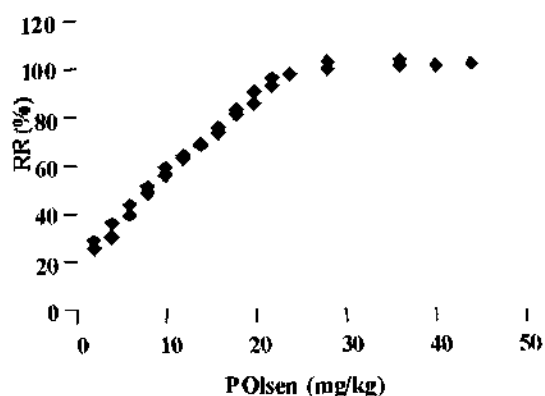


Figura N° 40. Relación idealizada entre fósforo Olsen y rendimiento relativo.

Nutriente	Nivel de suficiencia	
N disponible	80 mg/kg	
P Olsen:	20 mg/kg	
K extractable	250 mg/kg (0.64 Cmol(+)/kg)	
Ca de intercambio	250-500 mg/kg (1.25 -2.5 Cmol(+)/kg)	65-85 %
Mg de intercambio	25-60 mg/kg (0.1 - 0.25 Cmol (+)/kg)	6-12 %
K de intercambio	120-250 mg/kg (0.3-0.6 Cmol (+)/kg)	2-5 %
pH del suelo	5.8	
Al de intercambio	< 5%	
Zn - DTPA	0.5-1 mg/kg	
Nutriente	Nivel de suficiencia	
Fe - DTPA	4-5 mg/kg	
Cu - DTPA	0.5-1 mg/kg	
Mn - DTPA	0.2 mg/kg	
B - Agua caliente	1 mg/kg	

Cuadro N° 27. Niveles de suficiencia para principales nutrientes y pH del suelo.

5.2.2. Aproximaciones para la aplicación de fertilizantes en función del análisis de suelo.

Existen dos aproximaciones o criterios para la aplicación de fertilizantes:

- Nivel de suficiencia:* Sobre el nivel crítico no se aplica fertilizante. Este es más económico en el corto plazo y ambientalmente más amigable
- Construcción/mantenimiento:* se aplica fertilizante más allá de los requerimientos del cultivo, lo que permite la construcción de fertilidad sobre el nivel crítico. Posteriormente se aplica solo lo que el cultivo extrae. Este criterio podría ser más económico en el largo plazo (plata en el banco, P y K), sin embargo es ambientalmente más peligroso.

5.2.3. Análisis de suelo más comunes

Para una adecuada interpretación del análisis de suelo, es necesario conocer que tipo de extracción del suelo (análisis) está siendo informado por el laboratorio. No es lo mismo, por ejemplo, un pH medido en agua que un pH medido en CaCl_2 . Este último reportará valores de pH más bajos que el primero. Los métodos de análisis de suelo más comunes realizados en la mayoría de los laboratorios del país y recientemente estandarizados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) son:

- Nitrógeno (N) disponible:* Determinación de $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$. Suelos se extraen con cloruro de potasio (KCl) 2M.
- Fósforo (P) Olsen:* Suelos se extraen con bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0.5 M, pH 8.5.
- Potasio extractable:* Extracción con acetato de amonio (NH_4OAC) 1 M, pH 7, por 5 minutos
pH: al agua, relación suelo agua 1:2.5
- Materia Orgánica:* método de Walkley y Black o reducción del dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).
- Calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), y potasio (K) de intercambio:* Extracción con acetato de amonio (NH_4OAC) 1M, pH 7, por 30 minutos.
- Hidrógeno (H) y aluminio (Al) de intercambio:* suelos se percolan con KCl 1M
- Zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn):* Extracción con DTPA-TEA, pH 7.3
- Boro (B):* Extracción con agua caliente.

Respecto de las unidades más comunes en que se expresa el análisis de suelo, tanto el N disponible, como el P Olsen y el K extractable se expresan en partes por millón (ppm) o mg/kg de suelo. Los cationes de intercambio (Ca, Mg, Na, y K) normalmente se expresan en meq/100 g suelo o más recientemente en $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$ de suelo, siendo estas unidades equivalentes. Algunas conversiones útiles se presentan en el Cuadro N° 28.

Cuadro N° 28. Expresiones y conversiones más comunes para análisis de suelo.

N disponible, P Olsen, K extractable: ppm = mg/kg
suelo dap = 1 g/cm ³ , 0-20 cm, kg/ha = ppm x 2
CIC efectiva = Ca + Mg + Na + K + Al + H
Cmol(+)/kg suelo = meq/100 g suelo
ppm = meq/100 g x PE x 10
kg/ha = meq/100 g x PE x 20
PE = PA/carga
PA: Ca =40, Mg=24, K=39, Na =23, Al =27, H =1
% Saturación Al = Al/ (CICef) *100

5.2.4. Métodos de calculo de dosis de fertilizantes y enmiendas

Esta etapa es la más complicada en el manejo de la fertilidad de suelos, puesto que si bien las generalizaciones son posibles, los requerimientos de nutrientes son sitio específico. Numerosos son los métodos usados para la estimación de las dosis de fertilizante más adecuadas:

✱ *Método del Balance* (Rodríguez, 1990)

Se basa en un balance entre la demanda de nutrientes del cultivo y la oferta de nutrientes desde el suelo, corregido por la eficiencia de uso del nutriente. Matemáticamente esto puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\text{Dosis} = (\text{demanda} - \text{oferta}) / \text{eficiencia}$$

Donde: demanda: extracción del nutriente para un rendimiento dado en kg/ha

oferta: disponibilidad del nutriente en el suelo en kg/ha

eficiencia: proporción del nutriente absorbido por el cultivo por cada kg aplicado

Este método es una excelente aproximación cuando existe poca información de respuesta a la fertilización en el área. En Chile ha sido fuertemente impulsado por la Universidad Católica y es usado en la actualidad por muchas compañías distribuidoras de fertilizantes.

Calibración

Este método relaciona la respuesta del cultivo a la fertilización con el nivel de análisis de suelo. Los suelos son clasificados en categorías de fertilidad (Cuadro N° 29) y la recomendación de fertilizantes es acorde con cada categoría (Figura N° 41). Sobre el nivel de suficiencia no se recomienda la aplicación de fertilizantes. En Chile el INIA ha usado preferentemente este método, cuya principal desventaja es el costo puesto que requiere de mucha experimentación para realizar la calibración.

Cuadro N° 29. Categorías de fertilidad según análisis de suelo.

N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Materia Orgánica (%)	PH	Categoría
0-10	0-4	0-39	0-2.0	0-5.0	MB
11 - 20	5-8	40-69	2.1-4.5	5.1-5.5	B
21-35	9-12	70-120	4.6-8.0	5.6-6.2	M
36-80	13-20	120-250	8.1-12.0	6.3-7.0	A
> 80	> 20	>250	> 12	>7	S o MA

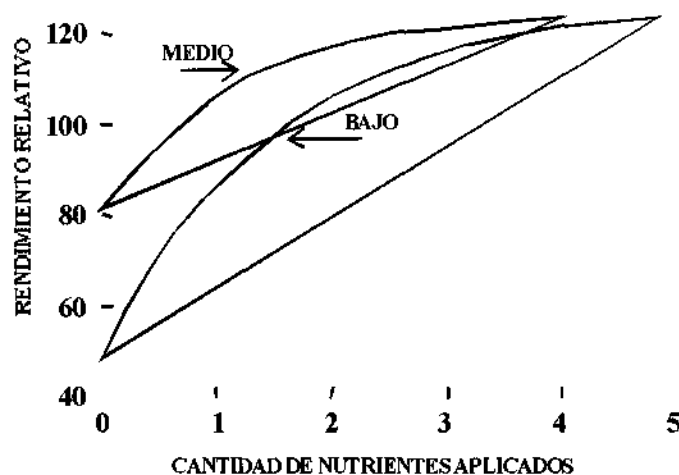


Figura N° 41. Relación entre las dosis de nutrientes y rendimientos relativos a dos niveles de fertilidad del suelo (adaptado de Foth and Ellis, 1988).

■ *Antecedentes de literatura*

El uso de antecedentes de la literatura es una buena aproximación cuando no existe ninguna referencia en términos de fertilización. Un caso concreto son los frutales y hortalizas que se han manejado en Chile casi exclusivamente con antecedentes extranjeros.

■ *Experiencias personales*

Sin lugar a dudas, las experiencias personales ayudan a tomar una correcta decisión, sin embargo, en términos de fertilización, una práctica comúnmente aplicada con resultados más o menos satisfactoria no necesariamente es la óptima.

■ *Otros*

■ *Combinación de algunas o todas*

En general, el uso de un análisis de suelo calibrado es un buen punto de partida para determinar las necesidades de fertilizantes para los cultivos. Estas dosis pueden ser ajustadas de acuerdo a la experiencia de terreno del extensionista.

5.2.4. Aproximación recomendada para el manejo de la fertilidad de suelos

Los suelos del secano presentan una topografía de lomajes de pendiente variable, que da origen a suelos de características diversas, de acuerdo a su posición topográfica. Estas zonas debieran ser delimitadas y manejadas en forma diferencial, de acuerdo a sus particulares condiciones de suelo y potencial productivo. Las posiciones bajas, comúnmente llamadas vegas, presentan mejores niveles de fertilidad y potencial de rendimiento en comparación a la zona intermedia de la pendiente y la cumbre de la loma. Esta última, presenta a su vez un nivel de fertilidad y rendimientos superiores a la zona intermedia, la cual normalmente es la más erosionada. En la Figura N° 42, se presenta la variabilidad espacial de la fertilidad de los suelos y los rendimientos de trigo de un típico paisaje de lomas en el este de Colorado, Estados Unidos (Ortega, 1997). Probablemente, en las condiciones del secano de Chile, esta variabilidad, en términos relativos, debiera repetirse. Existen muchas maneras prácticas para delimitar zonas de manejo homogéneo, sin embargo, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) es una de las formas más eficientes cuando se cuenta con los modelos digitales de elevación (MDE).

Una vez delimitadas las zonas de manejo homogéneo, debieran definirse las distintas estrategias de fertilización. Lógicamente, las dosis de fertilizantes más elevadas debieran aplicarse a aquellos sectores de mayor potencial productivo y menos limitaciones

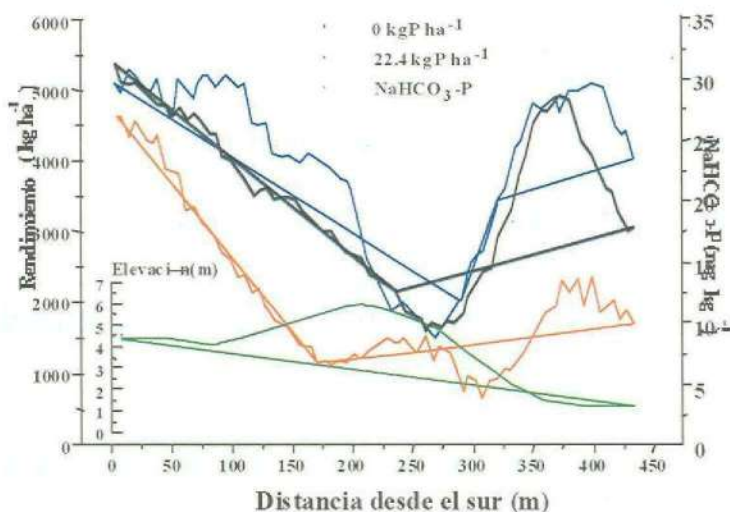


Figura N° 42. Variabilidad espacial del fósforo Olsen, rendimientos de trigo y respuesta a la aplicación de fósforo (adaptado de Ortega, 1997).

5.2.5.1. Muestreo de suelos dentro de cada zona de manejo homogéneo

Los suelos dentro de cada zona de manejo homogéneo (vega, zona media de la pendiente, y cumbre) deberían ser muestreados con los siguientes criterios generales: 1) recorrer el área en zig-zag, 2) coleccionar entre 15 y 20 submuestras a la profundidad deseada, y 3) tomar una muestra compuesta cada 10 hectáreas como máximo (Figura N° 43).

Bajo pradera permanente o sistemas conservacionistas (cero o mínima labranza), la profundidad de muestreo no debiera exceder los 10 cm. Cada muestra compuesta, debidamente identificada, debiera ser enviada al laboratorio lo más rápidamente posible, o, de no existir la posibilidad de un pronto envío, refrigerada a 4 °C. La recomendación de fertilizantes para cada zona de manejo homogéneo debiera ser acorde a su nivel productivo y nivel de fertilidad.

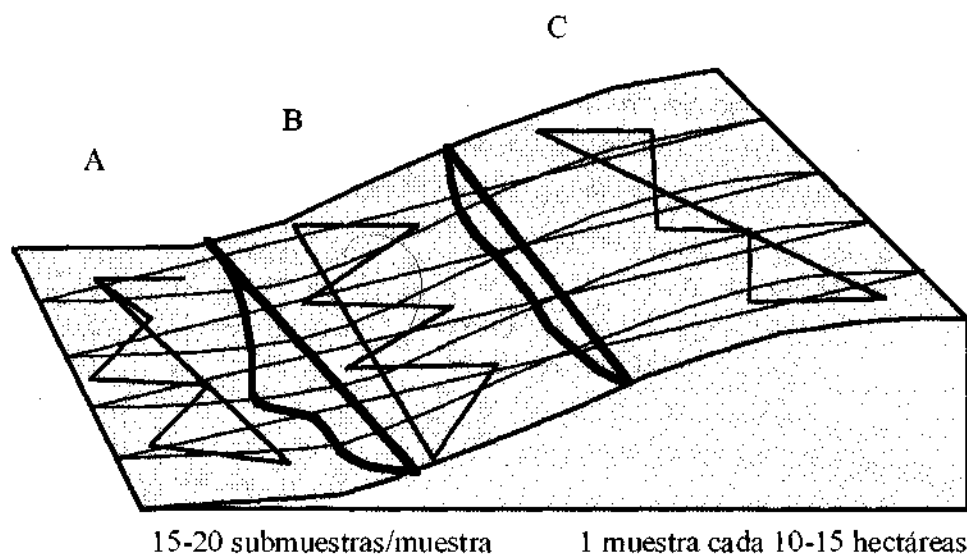


Figura N° 43. Muestreo de suelos estratificado de acuerdo a posición topográfica del terreno.

5.2.6. Manejo conservacionista del suelo y de la fertilidad

El uso de sistemas de producción conservacionistas, implica un cambio en el manejo de la fertilización. La presencia de residuos en la superficie del suelo en el caso de cero labranza, provoca cambios en la fertilidad del suelo: entre ellos, un incremento de la materia orgánica, fósforo y potasio en superficie y una disminución del pH del suelo (USDA, 1994). La aplicación localizada de los fertilizantes nitrogenados bajo los residuos sería la situación ideal para evitar interacciones con estos. Sin embargo, la aplicación de nitrógeno sobre los residuos puede resultar satisfactoria si este se maneja adecuadamente (USDA, 1994).

5.2.7. Fertilización de los cultivos del área de secano

En base a los antecedentes de fertilidad de los suelos discutidos anteriormente, la fertilización de los cultivos debiera basarse en aplicaciones de nitrógeno y fósforo y, solo en algunos casos, potasio. Alrededor de un 50 % de los suelos requerirían enmiendas calcáreas puesto que presentan pH menores a 5.5. La aplicación de boro sería necesaria en caso de frutales, plantaciones forestales y vides. La aplicación de azufre por su parte sería necesaria en cultivos y praderas de leguminosas. En relación a las dosis de fertilizantes, dada la naturaleza de los suelos, las dosis de fósforo a aplicar debieran ser moderadas y del orden de los 30 a 60 kg P_2O_5 /ha, para la mayoría de los cultivos del área. El nitrógeno por su parte debiera aplicarse en dosis moderadas, de acuerdo al potencial productivo de los suelos. Para trigo, las dosis máximas no debieran exceder los 100 kg de N/ha.

5.2.8. Conclusiones y recomendaciones

Las principales deficiencias nutritivas de los suelos del secano son el nitrógeno y el fósforo, y en mucho menor proporción el potasio. En estos suelos y en cultivos específicos es posible observar además deficiencias de otros elementos tales como azufre, zinc, y boro.

Dado que el potencial productivo de las distintas posiciones topográficas es distinto, se propone sectorizar el predio (o la microcuenca) en zonas de manejo homogéneo y manejar la fertilización de los cultivos de manera diferencial. Para ello debieran tomarse muestras para análisis de suelo separadamente y diseñar estrategias de fertilización acorde.

5.3. LITERATURA CITADA

- ACUÑA P., H., AVENDAÑO R., J., Y OVALLE M., C. 1983.** Caracterización y variabilidad de la pradera natural del secano interior de la zona mediterránea subhúmeda. *Agricultura Técnica (Chile)* 43(1): 27-33.
- DEL CANTO S., P., MACMAHON, M., Y BERTIN A., P. 1987.** Fertilización del cultivo del trigo en el secano costero de la VII región. *Investigación y Progreso Agropecuario Qulamapu* 31: 10-13.
- DEL POZO L., A., RODRIGUEZ S., N., Y LOBOS S., C. 1994.** Influencia del fósforo y del calcio en la productividad de *Medicago polymorpha*, en el secano interior mediterráneo de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 54(3): 283-292.
- DEL POZO L., A., DEL CANTO S., PEDRO, Y MELLA G., J. 1998.** Mapa agroclimático de la VII y VIII regiones de Chile. INIA CRI Quilamapu (en prensa).
- FOTH D., H. AND ELLIS G., B. 1988.** Soil fertility. John Wiley and sons. 212 p.
- ORTEGA, R.A. 1997.** Spatial Variability of soil properties and dryland crop yields over «typical» landforms of eastern Colorado. Colorado State University. Ph.D. Dissertation.
- OVALLE M., C. 1994.** Características ecológicas y la acción del hombre en el secano interior. En: Ovalle M., C. y Del Pozo L., A. (eds) pp 13-58. *La agricultura del secano interior*. CRI Quilamapu INIA.
- PINOCHET DE LABARRA, F. 1983.** Los suelos de la Región del Maule. Universidad de Talca. Inst. de Inv. del Medio Ambiente. Serie 1. P:32-65.
- RODRIGUEZ S., J. 1990.** La fertilización de los cultivos. Un método racional. Departamento de Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 406 p.
- RUZ J., E., KRAMM M., V., Y RODRIGUEZ S., N. 1993.** Fertilidad de los suelos de la provincia de arauco. *Investigación y Progreso Agropecuario* 56: 8-13.
- USDA, 1994.** Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality. Southern Great Plains. Agricultural Research Service. Conservation Research Report Number 37.

CAPÍTULO 6

Alternativas de praderas y sistemas agroforestales en relación con el manejo sostenible de los suelos en el secano interior mediterráneo de Chile.



Carlos Ovalle M.
Ingeniero Agrónomo, Dr.
covalle@quilamapu.inia.cl

James Aronson

Julia Avendaño R.
Ingeniero Agrónomo
cauquene@quilamapu.inia.cl

Alejandro del Pozo L.
Licenciado en Biología, Ph.D.

6. ALTERNATIVAS DE PRADERAS Y SISTEMAS AGROFORESTALES EN RELACIÓN CON EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS SUELOS EN EL SECANO INTERIOR MEDITERRÁNEO DE CHILE

6.1. INTRODUCCIÓN

En Chile Central, el área del secano interior corresponde a un gran agroecosistema que comprende los sectores no regados de la depresión central y la vertiente oriental de Cordillera de la Costa (aproximadamente 2,000,000 ha entre los 30° y 37° LS). La población es de aproximadamente 300.000 habitantes (Ovalle et al., 1990).

La vegetación natural del secano interior de Chile central antes de la conquista, fue un denso matorral esclerófilo, semejante a otras formaciones (garriga, chaparral, finbos) existentes en otras regiones de clima mediterráneo en el mundo. (Gastó, 1979; Di Castri et al., 1981).

En los últimos 400 años la mayor parte de estos ecosistemas han sido fuertemente artificializados, presentan una vegetación natural o naturalizada degradada y poco diversificada y son utilizados hoy día en una agricultura y ganadería de secano de baja productividad, escasa rentabilidad económica y que provoca una fuerte degradación ambiental (Bahre, 1979; Balduzzi et al., 1981; Ovalle et al., 1990).

Estos sistemas agrícolas están atravesando por un período de crisis muy aguda provocada por la caída de la productividad agrícola a causa de la degradación del medio, y de los cambios socioeconómicos que afectan al conjunto del país. Existe además una fuerte expansión de las plantaciones forestales (120.000 has. plantadas por año de *Pinus radiata* y *Eucaliptus*). La expansión de la actividad forestal se realiza en desmedro de la actividad agrícola y produce una desarticulación de la estructura rural de esta zona. Desde un punto de vista ecológico, se produce una pérdida de biodiversidad a nivel del paisaje lo que representa una pérdida de estabilidad del ecosistema y del potencial productivo a largo plazo.

Por otra parte, los sistemas de producción tradicionales están también en crisis debido a la destrucción generalizada de los suelos y de la vegetación que ha sido provocada por el sistema agrícola de secano aplicado en esta zona por más de cuatro siglos.

Frente a esta situación, nuestra investigación se orienta a buscar una rehabilitación ecológica y económica de estos agroecosistemas, basados en el desarrollo de una agricultura sustentable en donde los principales rubros productivos son la ganadería ovina y bovina para producción de carne, la cerealicultura y la vitivinicultura.

En la presente contribución, se presenta una síntesis de un conjunto de estudios desarrollados en praderas en el Centro Experimental Cauquenes desde hace mas de 10 años, los que están orientados a revertir los procesos de degradación de la vegetación y de los suelos.

6.2. Manejo de praderas y sistemas agroforestales en suelos de baja susceptibilidad a la erosión

Desde el punto de vista del uso ganadero los suelos de baja susceptibilidad a la erosión en el secano interior, corresponden a los sectores de llano, que son suelos de posición baja, planos, muchas veces de textura arcillosa y sujetos a problemas inundación temporal en el invierno producto de la fuerte concentración de las lluvias en ese período.

6.2.1. Manejo silvopastoral del espinal

Para este tipo de espacios la primera opción de uso sustentable es la utilización y aprovechamiento de los recursos aportados por el espinal tratando de mejorar el manejo de este recurso.

Los estudios realizados a la fecha, han permitido determinar una relación directa entre la cobertura de la estrata leñosa de *Acacia caven* y la producción de fitomasa herbácea y su valor pastoral (Cuadro N° 30). Además, la vegetación herbácea bajo la cubierta de los árboles, constituida por especies de ciclo biológico más largo (*Lolium multiflorum*) muestra un prolongamiento significativo del período de vegetación: 25 a 35 días más largo que la vegetación fuera de la cubierta de los árboles (Ovalle, 1986; Ovalle y Avendaño, 1987).

Cuadro N° 30. Producción de fitomasa (kg MS/ha/año) de la estrata herbácea del espinal para tres niveles de recubrimiento de *Acacia caven*.

Recubrimiento de <i>Acacia caven</i>	Producción de la estrata herbácea kg MS/ha/año
30 % <i>Acacia caven</i>	2.780
Bajo árbol	3.605
Fuera árbol	2.422
50 % <i>Acacia caven</i>	3.274
Bajo árbol	3.580
Fuera árbol	3.007
80 % <i>Acacia caven</i>	3.966

Fuente: Ovalle, 1986.

¿Cuán importante y en qué sectores es posible manejar los espinales?

Para responder a esta interrogante se desarrolló un estudio cartográfico utilizando el método de la cartografía de ocupación de tierras (Etienne y Prado, 1982), sobre un área de 22.970 has, en el área de Cauquenes. Se determinó que el 44% está ocupada por espinales de recubrimiento de **Acacia caven**, inferior al 25 %. Un 7% de las formaciones son "romerillales" (*Baccharis linearis*), formación indicadora de degradación de la vegetación que ocurre tras el abandono del cultivo de cereales (Cuadro N° 31). Sin embargo, solamente un 2% de los espinales han sido bien manejados y constituyen un sistema silvopastoral productivo y estable, a pesar de los resultados experimentales que demuestran las ventajas productivas y ecológicas del uso silvopastoral del espinal en la región.

Estos resultados permiten concluir que solamente en condiciones de "llanos" es posible encontrar espinales con potencial de mejoramiento a través de manejo silvícola. Este tipo de espinales con coberturas de 25 a 50 % de **Acacia caven**, ocupan un 46 % del área de llanos y solamente un 27% del total del área estudiada (Ovalle et al., 1996a).

Cuadro N° 31. Tipificación de los espinales de un sector de la provincia de Cauquenes.

Tipo de espinal	Recubrimiento de <i>Acacia caven</i> (%)	Espinal de Llano (%)	Espinal de Loma (%)	Total (%)
Muy claro	1 - 10	2	27	16
Claro	11 - 25	29	20	24
Poco denso	25 - 20	46	8	27
Denso	51 - 75	3	0.2	2
Muy denso	> 76	0.2	--	0.1
Romerillales			8.4	4
<i>Baccharis linearis</i>				
Matorral esclerófilo			6.2	6
Otros				21

Fuente: Ovalle et al., 1996a.

6.2.1.1. Manejo silvícola del espino

Los trabajos realizados han consistido en la reconstitución de la cubierta leñosa a través de manejo de poda de fustes conducente a transformar el monte bajo de espino en un monte alto de modo de obtener el efecto deseado del árbol sobre el pasto.

Se ha ensayado la influencia de dos modos de manejo silvícola sobre el crecimiento de los árboles:

- Tratamiento testigo en monte bajo sin poda de fustes, habitual en la región.
- Transformación en monte alto, de manera de inducir un crecimiento más rápido a través de la elección de los fustes dominantes dentro de cada árbol y la poda del resto. De este modo, el fuste seleccionado liberado de la competencia con los otros fustes, podría aprovechar una buena parte de las reservas de la planta y expresar un fuerte crecimiento y, por lo tanto, una reconstitución más rápida de la estrata leñosa arborescente.

Evaluaciones crecimiento de 10 años han permitido comprobar la hipótesis de partida, es decir, la elección de un fuste dominante permite un crecimiento en altura y diámetro de tronco significativamente mas elevada, que en los espinos no intervenidos. Sin embargo, los datos de la Figura N° 44 muestran, también, que la velocidad de crecimiento del árbol es extremadamente lenta, y podría limitar la adopción de esta técnica por los productores.

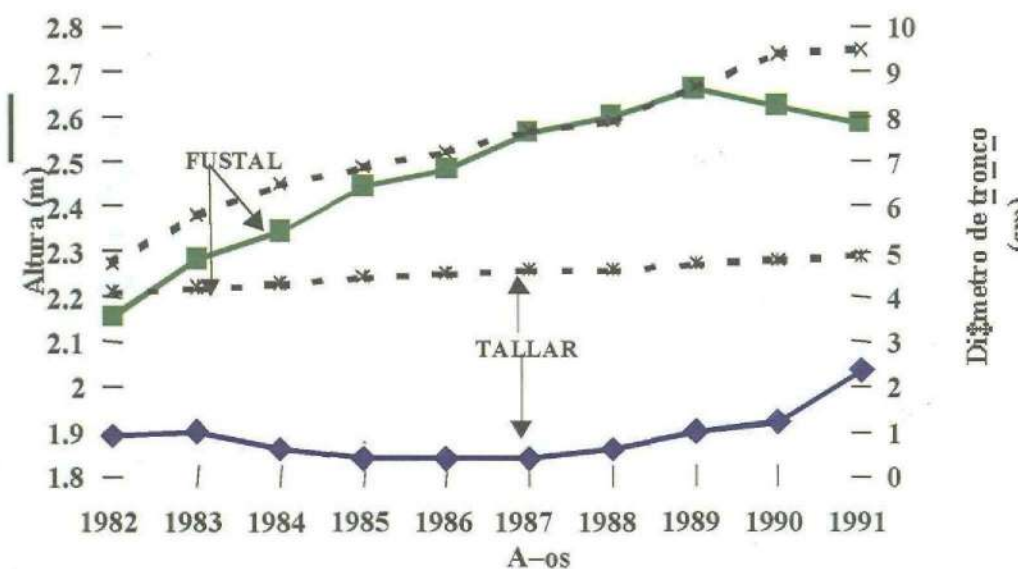


Figura N° 44. Evolución temporal del crecimiento de plantas de *Acacia caven* sometidas a dos tratamientos silvícolas: Tallar y Fustal. (Fuente: Ovalle et al., 1996a).

6.2.2. Establecimiento y manejo de praderas en suelos sin o de baja cubierta arbórea

El mejoramiento de la estrata herbácea de los espinales degradados y de las praderas de sectores de suelos en posición baja, arcillosos, con problemas frecuentes de inundación y afectados por deficiencias en el drenaje requiere la búsqueda de especies forrajeras de adaptación específica para esas condiciones.

Lo anterior, ha llevado a buscar especies de leguminosas anuales que puedan integrarse a sistemas de producción animal en dichas zonas del secano. Una alternativa dentro del grupo de los tréboles subterráneos (*Trifolium subterraneum*) es la subespecie *yanninicum*, cuya autoecología es consecuente con las condiciones anteriormente descritas. En Chile, dentro de este grupo, se comercializó inicialmente el cultivar Yarloop que presenta un alto nivel de estrógenos; en la actualidad, este problema ha sido minimizado con la incorporación del cultivar Trikkala (Larisa x Neuchatel) (Oram, 1990).

Por su parte en Australia, ya desde 1973, se ha estado trabajando con un trébol denominado Balansa (cuyo único cultivar es Paradana), como una alternativa al trébol subterráneo para áreas de alta pluviosidad. Esta especie, posee varias ventajas comparativas en relación con otras leguminosas, ya sea, por su alta tolerancia a persistir en suelos sujetos a inundaciones, por su gran capacidad de producción de semillas (con una alta proporción de semilla dura) y por su buen crecimiento en primavera (superior a muchos tréboles subterráneos), no obstante, su producción de invierno es inferior a éstos (Mitchell y Cooper, 1989).

6.2.2.1. Características botánicas, fenológicas y de adaptación

El trébol balansa es una especie anual, de origen Mediterráneo (Turquía). En relación con su comportamiento fenológico, en Cauquenes presenta una precocidad similar al trébol subterráneo Clare, con 128 días entre emergencia y floración, con fecha de inicio de floración al 22 de setiembre cuando es sembrado el 11 de mayo. Sus hojas son glabras de borde aserrado. La planta es semi erecta, o bien, presenta un hábito de crecimiento postrado cuando es sometida a pastoreo. Cuando no es utilizada por los animales, produce un tallo grueso y hueco que es palatable y de buen valor alimenticio. Las hojas presentan una variedad de formas y marcas, típicas de las especies obtenidas a través de polinización cruzada. La semilla presenta una coloración amarilla, parda o negra y es posible encontrar aproximadamente 1.400.000 unidades por kg; siendo más pequeña que la del trébol subterráneo, la cual posee alrededor de 100.000 semillas por kg (Beale *et al.*, 1985).

Otra característica importante de esta especie es su habilidad para persistir y diseminarse después de la siembra, dada por su alta capacidad para producir semillas (hasta 1.000 kg/ha) de tamaño pequeño (0,5 a 1,2 mm de diámetro y un peso individual que varía entre los 0,314 y los 0,933 mg). Además, posee una alta proporción de semillas duras a la madurez, desde un 60 a 70% bajo ciertas condiciones hasta sobre un 80% en otras; lo cual le permite regenerarse adecuadamente cuando es incluida en sistemas rotacionales con cereales por uno o más años.

Se adapta a un amplio rango de texturas de suelo, desde las arcillosas, hasta las limo-arenosas y limo-arcillo arenosas. Éstas, se encuentran bien representadas en los suelos de secano de Chile Mediterráneo (Ewing, 1993). A su vez, se observa que se desarrolla mejor en suelos con un rango de pH de 5,5 a 8,5 (Mitchell y Cooper, 1989; Oram, 1990).

Por su parte, se enfatiza que una de las principales características de esta especie es su capacidad para sobrevivir a condiciones de inundación intermitentes (Bolland, 1993; Evans, 1993; Ewing, 1993; Gillespie, 1993); que son comunes en áreas de llanos localizadas entre los cerros, en especial en el secano interior. En cuanto a pluviosidad, en Australia se adapta bien a situaciones con un mínimo de 450 mm de precipitación anual (Mitchell y Cooper, 1989; Evans, 1993; Beale *et al.*, 1985).

6.2.2.2. Establecimiento y manejo

La siembra de trébol balansa debe realizarse temprano en otoño, previa inoculación de la semilla con el inoculante específico (*Rhizobium leguminosarum biovar trifolii*), a no ser, que en el sitio, haya existido alguna vez una pradera de trébol subterráneo. Siembras tempranas junto con un buen control de malezas permiten un rápido crecimiento de las plántulas, lo cual, es considerado crucial para la sobrevivencia de ellas en condiciones de anegamiento (Grieve *et al.*, 1986; Mitchell y Cooper, 1989; Rogers y Noble, 1991).

La dosis de semilla a la siembra no debe ser inferior a 3 kg/ha y debe ser sembrada a una profundidad de 1 cm como máximo. El rango de temperatura óptima para la obtención de una rápida germinación de la semilla es entre 10 y 20°C, aunque, sólo temperaturas menores a 3°C podrían retardar su establecimiento y crecimiento (Lattimore *et al.*, 1994).

Las plántulas presentan un vigor moderado y tienen un lento crecimiento durante el otoño y temprano en invierno, siendo extremadamente productivas en primavera, lo cual las hace favorables para su conservación como heno (Rogers y Noble, 1991). Este rápido crecimiento primaveral se ve seriamente reducido después de la floración, si se compara con trébol subterráneo, el cual mantiene una alta tasa de crecimiento hasta mediados de primavera (Kelly y Mason, 1986).

Trébol balansa puede ser pastoreado durante el primer año de establecimiento, lo cual ayuda al control de las malezas, especialmente cuando éste se verifica temprano en invierno. Además, su utilización con animales durante el período invernal favorece un crecimiento más postrado de la planta. La máxima producción de semillas se obtiene cuando la pradera se excluye del pastoreo a comienzos de la floración. Esto es de vital importancia en el primer año de establecimiento, debido a que con ello, se obtiene la producción de semilla necesaria para asegurar la persistencia de la especie en años venideros.

Una vez que la semilla ha madurado en las cabezuelas, la pradera puede ser nuevamente utilizada sin limitaciones (Mitchell y Cooper, 1989). Sin embargo, a pesar de que la semilla es pequeña e impermeable al agua, y presenta una menor pérdida de viabilidad a través de su paso por el tracto digestivo de los ovinos que las semillas de trébol subterráneo (Squella y Carter, 1996) y medicagos anuales (*Medicago spp.*) (Carter *et al.*, 1989), deberán tomarse algunas medidas, en especial, cuando al inicio del pastoreo se favorece la selección de las cabezuelas de trébol balansa sobre los glomérulos de trébol subterráneo. Un estudio de pastoreo realizado en Australia, relativo a la sobrevivencia de la semilla a través del tracto digestivo de ovinos, indica valores de 1,8; 14,9 y 74,3% para trébol subterráneo, balansa y glomeratum (*Trifolium glomeratum*), respectivamente (Squella, 1992).

En todo caso, una vez que las semillas se desgranar y caen al suelo, la pradera podrá ser pastoreada intensamente durante el período estival, sin provocar algún efecto negativo en el banco de semillas (Evans, 1993). Más aún, una cobertura vegetal menor, favorece el ablandamiento de las semillas de trébol balansa desde un 7,8% una vez producida la madurez en noviembre hasta un 33,3% al inicio del período de las lluvias en mayo (Squella, 1992).

6.2.2.3. Producción de materia seca

El rango de producción de materia seca reportado para los trabajos realizados en Chile fluctúa entre las 2,6 y 6,4 ton de M.S./ha. En cuanto a producción respecto de otras especies, en Cauquenes sobre un suelo arcilloso de la serie Quella (sector Capellanía); los resultados del primer año (temporada 1994) indicaron que esta especie es altamente promisorio para estas condiciones edáficas. Produjo la mayor cantidad de materia seca seguido por la hualputra accesión L-43 (*Medicago polymorpha*), el trébol vesiculoso (*Trifolium vesiculosum*), y el trébol subterráneo cv. Clare (*Trifolium subterraneum*). El trébol subterráneo cv. Trikkala (*Trifolium subterraneum spp. yannicum*) que es mencionado como una especie adaptada a suelos de mal drenaje, produjo menos que las especies anteriores. La producción más baja se obtuvo con el trébol persa (*Trifolium resupinatum*) (Cuadro N° 32).

Cuadro N° 32. Producción de biomasa en primavera y producción de frutos de las praderas de leguminosas anuales en suelos de mal drenaje. (Fundo Capellanía, Cauquenes, temporada 1994).

Especie	Materia seca kg/ha	Frutos Gramos/m²
<i>T. michelianum</i> (cv. Paradana)	2.599 a	35,2 b
<i>M. polymorpha</i> (L-43)	2.316 ab	68,4 a
<i>T. vesiculosum</i>	2.185 ab	4,3 de
<i>T. subterraneum</i> (cv. Clare)	2.072 ab	13,4 cd
<i>T. subterraneum</i> (cv. Trikkala)	1.613 bc	23,1 c
<i>T. resupinatum</i>	808 d	0,0 e

Fuente: Ovalle *et al.*, 1995.

Por otra parte, en el mismo sector de Capellanía y también sobre un suelo arcilloso Serie Quella, se está estudiando la respuesta y los requerimientos de fertilización de mantención de la especie. En el primer año de evaluación sobre una pradera de 2 años, se destacan las altas producciones de la pradera de hasta 6 ton de m.s./ha/año y una respuesta significativa a la aplicación de calcio y fósforo, mientras que la respuesta a la aplicación de azufre no fue significativa. En cuanto al fósforo, la producción de m.s. aumentó en forma significativa entre 3,9 y 6,4 ton. m.s./ha/año, en respuesta a dosis crecientes de aplicación de fosfato entre 0 y 200 u de P_2O_5 /ha, (Cuadro N° 33).

Cuadro N° 33. Producción de biomasa en primavera de trébol balansa, en suelos de mal drenaje, en relación a la aplicación de calcio, azufre y fósforo. (Fundo Capellanía, Cauquenes, temporada 1996).

	m.s. kg/ha
Efecto del Calcio	
Con calcio (2000 kg CaCO_3 /ha)	6.011 a
Sin calcio	4.409 b
Efecto del Azufre	
Con azufre (60 u de S/ha)	5.239 a
Sin azufre	5.141 a
Efecto del Fósforo	
u de P_2O_5 /ha	
0	3.934 b
50	4.913 ab
100	5.211 ab
200	6.434 a

Fuente: Ovalle *et al.*, 1997.

6.3. Praderas para rotación cultural con trigo, sobre suelos de lomajes cultivables de susceptibilidad a la erosión media

La rotación y el sistema de cultivo sobre estos suelos ha sido por años los responsables de la degradación de los suelos y de la vegetación pastoral en la región. El sistema tradicional de agricultura contempla la preparación de un barbecho en el invierno precedente a la siembra del cereal. Luego del cultivo, el suelo queda en "descanso" por 2 o más años. En esta interfase, la estrata herbácea de plantas anuales o terófitas se reinstala y *Acacia caven* rebrota a partir de las cepas que no son removidas con el cultivo. El ciclo se reanuda 2 a 5 años más tarde con un nuevo cultivo de cereal.

La consecuencia de esta práctica cultural itinerante, es que se produce una invasión de los rastrojos por especies pioneras de muy bajo interés pastoral. Por otra parte, dado que la fertilización del cereal es baja, tiene un efecto que se traduce en un empobrecimiento de los niveles de macro y microelementos del suelo. Así, la producción de las praderas naturales que suceden en el tiempo al cultivo es de baja producción, como también lo es la ganadería que se desarrolla sobre ellas.

En otras condiciones mediterráneas del mundo de pluviosidad comparable a la de Chile Central, la producción animal informada por diferentes autores (Puckridge y French, 1983; Crespo, 1985; Reeves y Ewing, 1993) supera en 3 ó 4 veces a la obtenida por los ganaderos chilenos.

La utilización de sistemas rotacionales tipo "Ley farming" y la siembra de praderas de leguminosas anuales, han sido en estos países la estrategia utilizada para la obtención de altos niveles de producción en estos sistemas.

El sistema Ley-farming combina el cultivo de cereales de secano, en rotación con leguminosas anuales de autosiembra como los medicagos anuales, tréboles subterráneos y otras leguminosas anuales (trébol paradana).

Para nuestras condiciones, la leguminosa anual más promisoría para estos sistemas, es ***Medicago polymorpha***, (Hualputra). Se trata de una especie ampliamente distribuida y naturalizada en la región (Del Pozo et al., 1989a, Del Pozo et al., 1989b); es utilizada con el mismo objetivo en Australia del oeste, sobre suelos ácidos y en zonas de pluviosidad comparables (Ewing y Howieson, 1989).

6.3.1. Selección de germoplasma naturalizado de *Medicago polymorpha*

La primera etapa de esta línea de investigación ha sido la colecta de germoplasma en toda la zona mediterránea de Chile. En 1989, una colecta de semillas en 59 sitios fue realizada a lo largo de un gradiente norte sur entre La Serena (30°S, 150 mm de precipitación anual) y Temuco (39° S 1200 mm de precipitación anual). Estas accesiones fueron sembradas en 1990 en Cauquenes (35° S, 690 mm precipitación anual). El objetivo del estudio era la caracterización fenológica y productiva de las accesiones.

La precocidad o lapso de tiempo entre emergencia y floración varió entre 82 y 129 días, encontrándose una estrecha relación ($r^2 = 0,79$; $P < 0,01$) entre la latitud del sitio de colección y los días a la floración (Figura N° 45). Una floración precoz es un factor clave en la persistencia de la pradera dadas las características de duración y rigurosidad del período árido. Se observó, por lo tanto, una neta diferenciación ecotípica en la fenología de las accesiones lo cual es factible de ser utilizada para la selección de variedades de hualputra chilena para las diferentes condiciones del país. El resultado final de esta línea de estudios ha sido la liberación de 2 variedades chilenas de hualputra: Cauquenes INIA y Combarbalá INIA de precocidad intermedia y precoz respectivamente.

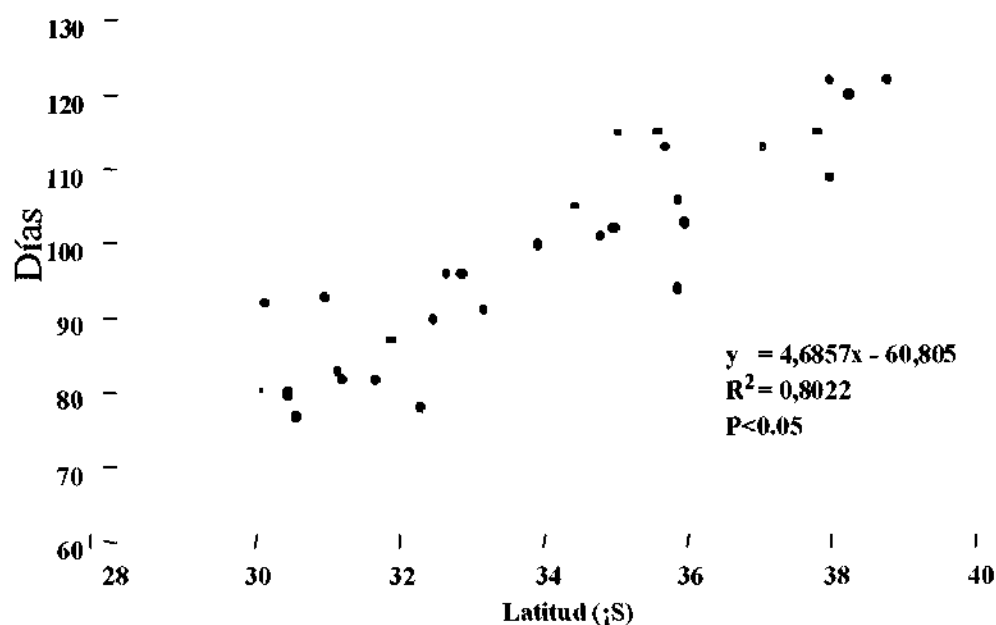


Figura N° 45. Relación entre la precocidad de diferentes ecotipos de *Medicago polymorpha* y la latitud del sitio de la colecta.

6.3.2. El sistema Ley-farming en el secano interior

Un estudio para probar la factibilidad del sistema en nuestras condiciones fue conducido sobre 4 has de praderas de *Medicago polymorpha*, en el fundo Santa Dolores cerca de Cauquenes. En una rotación a 4 años (un año de trigo, 3 años de pradera de *Medicago polymorpha*), la producción anual de la pradera ha variado entre:

4,6 y 7,8 ton/MS/ha/año, en el primer año después de trigo

2,0 y 11,0 ton/MS/ha/año, en el segundo año después de trigo y

4,2 y 8,6 ton MS/ha/año, en el tercer año después del cultivo.

Por otra parte, la producción de trigo en los 4 años ha variado entre 2,2 y 4,4 ton. MS/ha. La producción media en la zona es de 1 a 1,2 ton/ha.

Finalmente las ovejas en pastoreo de medicagos anuales han experimentado ganancias de peso vivo de 150 a 350 kg/ha en períodos de pastoreo de entre 120 a 180 días, según el año.

6.3.2.1. Establecimiento de la pradera

Variedades: Para la zona subhúmeda y húmeda (VII y VIII Regiones) los cultivares Cauquenes INIA, Circle Valley y Santiago son los más apropiados. Los dos primeros son de precocidad muy similar, requiriendo de áreas con al menos 5 meses de período de crecimiento.

La hualputra se siembra en otoño a razón de 15 a 18 kg/ha de semilla peletizada. Siempre resulta conveniente mezclar al menos, dos cultivares de ciclos distintos. El suelo debe reunir las características de una óptima preparación de la cama de semillas. Se debe asegurar un buen suministro de fósforo a la planta, aplicando en suelos pobres una cantidad no inferior a 200 kg. de superfosfato triple/ha. En suelos graníticos, es necesario aplicar además, 20 kg. de boronatrocalcita/ha. La semilla debe ser inoculada con cepas de *Rizobium meliloti* específicas, puesto que los inoculantes para alfalfa no dan buenos resultados. Por esta razón es recomendable comprar la semilla previamente inoculada y peletizada.

6.3.2.2. Evolución del nivel de nutrientes del suelo por efecto de la introducción de leguminosas anuales

La inclusión de *Medicago polymorpha* ha significado incrementos importantes en el contenido de materia orgánica y nitrógeno del suelo (Del Pozo et al., 1989c). En el Cuadro N° 34 se muestra el comportamiento del contenido de nitrógeno del suelo y de materia orgánica de praderas de *Medicago* de diferentes edades después de cultivo de trigo. Estos resultados son concordantes con los informados por Reeves y Ewing 1993, en Australia del oeste y por Longeri et al., 1988 en Chile.

Cuadro N° 34. Nitrógeno mineralizable, (incubación de 14 días) y materia orgánica del suelo en praderas de *Medicago polymorpha* de diferentes edades después de cereal (trigo), en relación a una pradera natural sin leguminosas.

Pradera	Nitrógeno ppm	M.O. %
Natural sin leguminosas	20	0,9
Medicago 1 año	46	1,3
Medicago 2 año	50	1,6
Medicago 3 año	106	1,5

Fuente: Del Pozo et al., 1989c.

Por otra parte, en el Cuadro N° 35 se observa un incremento significativo del contenido de materia orgánica, N disponible, N de la biomasa del suelo y P disponible, luego de 5 años de permanencia de praderas de *Medicago polymorpha* y *Trifolium subterraneum* sobre un suelo oligotrófico del área de Cauquenes.

Cuadro N° 35. Efecto rehabilitador de la fertilidad del suelo provocados por la permanencia durante 5 años de 2 especies de leguminosas anuales.

Tratamiento	pH	MO (%)	N disponible (ppm)	P disponible (ppm)	N en la Biomasa (mgN/kg suelo)
<i>Medicago polymorpha</i>	6,1 a	2,2 a	12,3 a	12,3 a	29,3 a
<i>Trifolium subterraneum</i>	6,0 a	2,1 a	9,3 b	9,3 b	28,7 a
Testigo	6,1 a	1,7 b	7,6 b	2,3 c	11,0 b

6.4. PRADERAS Y SISTEMAS AGROFORESTALES PARA SUELOS NO CULTIVABLES DE ALTA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN

Para estos ambientes se están desarrollando alternativas de uso agroforestal mediante el uso de arbustos forrajeros en asociación con praderas permanentes de hualputra, trébol subterráneo u ocasionalmente con cultivos en las franjas interarbustos.

6.4.1. Especies arbustivas y arbóreas

Un programa de selección de especies ha permitido determinar la existencia de 2 especies con alto potencial para utilización agroforestal. Las de mayor crecimiento han sido *Acacia decurrens* y *Chamaecytisus proliferus* (tagasaste). Otras especies a considerar para la zona, aunque no todas son leguminosas, son: *Fraxinus excelsior* (fresno), *Quercus suber*, *Gleditsia triacanthos*, *Chamaecytisus albidus* y varias accesiones chilenas y chaqueñas de *Acacia caven*, (Cuadro N° 36).

Los «algarrobos» (*Prosopis alba*, *P. flexuosa* y *P. affinis*) han presentado baja sobrevivencia y crecimiento inicial muy lento. Este ensayo ha permitido descartar un número importante de especies de buena reputación agroforestal. Es el caso de: *Acacia albida*, *A. senegal*, *A. berlandieri*, *A. angustissima*, *Leucaena glauca*, *Enterolobium contortisiliquum* y *Caesalpinia paraguariensis*, todas ellas son originarias del Chaco y presentan en la zona una alta susceptibilidad a las heladas.

Cuadro N° 36. Crecimiento de las especies al sexto año de evaluación.

Especie	Crecimiento en altura (cm)	Tasa de crecimiento (cm/año)	Diámetro tronco (cm)	Diámetro follaje (cm)
<i>A. decurrens</i>	590	87,2	11,6	376
<i>C. proliferus</i> *	270	23,2	9,3	331
<i>A. aneura</i>	125	17,8	4,5	125
<i>F. excelsior</i>	114	14,6	3,2	56
<i>A. caven</i> (Corrientes)	107	11,5	3,7	171
<i>A. caven</i> (Cauquenes)	103	5,8	4,6	171
<i>Q. suber</i>	103	14,7	3,7	117
<i>A. caven</i> (Paraguay)	101	10,8	4,6	198
<i>A. minuta</i>	99	10,2	4,8	147
<i>A. caven</i> (Entre Ríos)	93	9,8	3,3	114
<i>A. caven</i> (San Gabriel)	58	5,2	3,2	96
<i>G. triacanthos</i>	53	3,8	2,0	68
<i>A. atramentaria</i>	29	2,3	1,4	37

Fuente: Arredondo y otros, 1998.

* El crecimiento de *C. proliferus* corresponde al crecimiento del sexto año dado que esta especie se manejó con cortes anuales de modo de evaluar producción de forraje, lo que se muestra en la Figura N° 46.

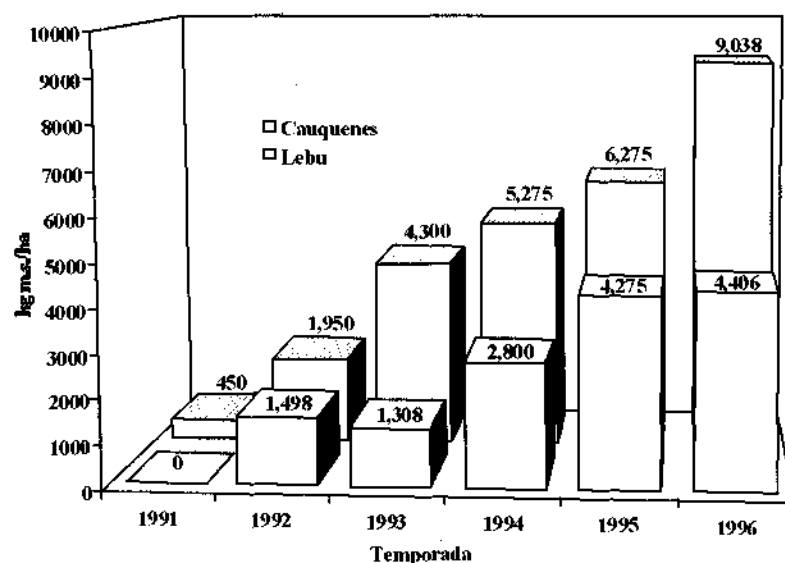


Figura N° 46. Evolución temporal de la evolución de la Materia Seca consumible de Tasagaste (kg de m.s./ha) en pluvimetría contrastada: Cauquenes, secano interior, 630 mm, Lebu, secano costero, 1200.

6.4.2. Fijación de nitrógeno de leguminosas arbóreas

Evaluaciones de fijación de nitrógeno han sido realizadas en *Acacia caven*, *Chamaecytisus proliferus*, *Prosopis chilensis* y *Prosopis alba* (Ovalle et al., 1996c). Como árboles de referencia no fijadores se ha utilizado *Fraxinus excelsior* y *Shynus polygamus*. Los árboles en este ensayo han sido suplementados con fertilizante nitrogenado enriquecido con ^{15}N (sulfato de amonio, 10% átomo exceso) a una dosis de 18 kg de N/ha.

Se estimó la fijación por hectárea en 73 kg de N/ha/año promedio anual para tagasaste y de 8 kg/ha/año para *Acacia caven*, con una fuerte variación interanual debida a la edad de los árboles y a variaciones climáticas anuales. Resalta el alto potencial fijador de Tagasaste y los resultados modestos de ambas especies de Prosopis. (Cuadro N° 37).

Cuadro N° 37. Estimación de la fijación de nitrógeno anual en 4 NFTs, para un período de 5 años.

Especie	1992	1993	1994	1995	1996	Total
<i>A. caven</i>	0.52	8.56	7.70	4.56	18.10	39.44
<i>P. alba</i>	0.40	1.43	0.00	0.35	1.19	3.37
<i>P. chilensis</i>	0.50	1.48	0.00	0.35	1.72	4.02
Ch. Proliferus	8.01	73.79	45.08	193.10	46.52	366.50

Fuente: Ovalle y otros, 1998.

6.4.3. Producción de fitomasa en tagasaste

Evaluaciones de producción de forraje consumible han sido realizadas en tagasaste (Figura N° 46). Para los 2 sitios evaluados la producción al sexto año ha variado entre 4.400 y 9.000 kg. de MS consumible por hectárea (Ovalle et al, 1996b). Las menores producciones han sido obtenidas en el secano interior de Cauquenes donde las condiciones hídricas son más restrictivas.

6.4.4. Efecto de leguminosas arbóreas sobre la fertilidad del suelo

En concordancia con los resultados obtenidos en los estudios de fijación de nitrógeno en especies de leguminosas arbóreas, se observa en el Cuadro N° 38 como luego de 5 años de inclusión de *Chamaecytisus proliferus*, el contenido de materia orgánica, N disponible y N en la biomasa del suelo, fue significativamente superior cuando el suelo se le compara con aquellos que no tuvieron leguminosas arbóreas, que tuvieron especies no fijadoras o que fueron plantados con especies de pobre potencial de fijación, como es el caso de *Acacia caven* y *Prosopis chilensis*.

CuadroNº 38. Efecto rehabilitador de la fertilidad del suelo provocados por la permanencia durante 5 años de 3 especies arbóreas fijadoras y 1 no fijadora.

Tratamiento Suelo proveniente de:	pH	MO (%)	N disponible (ppm)	P disponible (ppm)	N en la Biomasa (mgN/kg suelo)
Fixing trees:					
<i>Prosopis chilensis</i>	5,8 a	1,0 b	8,3 b	3,8 a	3,8 b
<i>Acacia caven</i>	5,8 a	1,0 b	8,5 b	3,5 a	1,0 b
<i>Chamaecytisus proliferus</i>	5,4 a	3,2 a	13,3 a	2,3 a	25,3 a
Non fixing tree:					
<i>Fraxinus excelsior</i>	5,6 a	1,3 b	5,3 b	4,0 a	3,8 b
Testigo	5,7 a	1,1 b	7,7 b	4,0 a	1,3 b

6.5. CONCLUSIONES

Solamente una pequeña proporción (aproximadamente 25%) de los espinales del secano interior pueden ser restaurados y conducidos hacia un sistema silvopastoral ecológico, productivo y estable por medio de un mejoramiento del manejo silvícola (protección, raleo de fustes, etc.) El estado avanzado de degradación y principalmente la baja cobertura y densidad de la mayor parte de los espinales no permite pensar en esta vía de mejoramiento a pesar de las innegables ventajas productivas y ecológicas del sistema árbol-pasto con *Acacia caven*. Se hacen necesarias por lo tanto, intervenciones de mayor envergadura. La introducción y domesticación de especies leñosas y herbáceas como el tagasaste y la hualputra, con un potencial de fijación de nitrógeno elevado, y con una alta producción de fitomasa consumible, aparece sin duda como muy promisoría. Sin embargo, el potencial a largo plazo de otros árboles leguminosos y algunos no leguminosos (*Fraxinus excelsior*, *Quercus suber*), no debe ser subestimado. Será sin duda, una combinación de especies de ciclos de vida largo y corto lo que debería permitir aumentar la diversidad y la estabilidad de estos agroecosistemas.

Por otra parte, el mejoramiento de la estrata herbácea mediante la inclusión de leguminosas anuales, y el mejoramiento de las rotaciones de cultivo con un cambio, hacia un modelo tipo Ley-farming, constituye una primera etapa en el objetivo de aumentar la productividad agrícola y el nivel trófico de los suelos.

Se ha identificado algunos elementos y herramientas (nuevas especies leñosas y herbáceas, nuevos conceptos de rotaciones y de tipos de agricultura) que permiten quebrar el círculo de degradación rápida de los recursos, y de reiniciar un camino de mejoramiento progresivo de la productividad biológica del agroecosistema. Así lo demuestran los incrementos observados en el nivel de N y de materia orgánica del suelo, cuando se establecen leguminosas anuales o arbóreas como el tagasaste.

En el futuro inmediato se debería continuar en la búsqueda de aumentar la diversidad de elementos vegetales y animales. Será necesario aumentar la diversidad de productos que la agricultura de secano es capaz de proporcionar. La degradación del medio en el secano ha traído también un empobrecimiento de productos locales. Otros sistemas ganaderos, (ovinos y caprinos lecheros para la producción de quesos, lana y fibras etc.) y otras producciones vegetales debieran probarse.

La rehabilitación ecológica pasa por la rehabilitación socioeconómica de los agricultores del secano que necesitan de nuevas alternativas para insertarse de mejor forma en los mercados del país y del extranjero.

6.6. LITERATURA CITADA

- ARREDONDO, S., ARONSON, J., OVALLE, C., DEL POZO, A., AVENDAÑO, J. 1998. Screening multipurpose legume trees in central Chile. Forest Ecology and Management. En prensa.
- BAHRE, C., 1979. Destruction of the vegetation in northern central Chile. University of California, Berkeley. 117 p.
- BALDUZZI, A., TOMASELLI, R., SEREY, I. and VILLASEÑOR, R., 1981. Degradation of the Mediterranean type of vegetation in central Chile. Ecol. Médit., 7: 223-240.
- BEALE, P.; CRAIG, A. and CRAWFORD, E. 1985. Balansa clover. A new clover-scorch-tolerant species. Fact. sheet 6/85. Department of Agriculture, South Australia. 3 p.
- BOLLAND, M. D. 1993. Comparative phosphorus requirements of *Trifolium balansae* and *Trifolium subterraneum* measured at the same plan density. Australian Journal of Experimental Agriculture. 33: 307-318.
- CARTER, E.D.; CHALLIS, S.; KNOWLES, R.C. and BAHRANI, J. 1989. Pasture legume seed survival following ingestion by sheep. Proc. 5th Aust. Conf., Perth, Western Australia. p.: 437.
- CRESPO, D., 1985. Intensification of sheep production under grazing on marginal lands of the Mediterranean region. EEC/FAO Symposium, Geneva, Switzerland. 18 pp.
- DEL POZO, A., OVALLE, C. y AVENDAÑO, J., 1989a. Los medicagos anuales en Chile. I. Comparación con Australia. Agricultura Técnica (Chile), 49: 260-267.

- DEL POZO, A., OVALLE C., AVENDAÑO, J. y DEL CANTO, P. 1989b.** Adaptation of *Medicago polymorpha* to the subhumid Mediterranean zone of Chile. Proc. XVI International Grassland Congress, Nice, France. 1539-1540.
- DEL POZO, A., RODRÍGUEZ, N. y CARMEN LOBOS, S., 1989c.** Nutrientes que limitan el crecimiento de medicagos anuales en el secano interior de la zona mediterránea subhúmeda. Agricultura Técnica (Chile), 49: 36-40.
- DI CASTRI, F., GOODALL, D.W. and SPECHT, R.L. (Editors). 1981.** Mediterranean-type Shrublands. UNESCO, Elsevier, Amsterdam.
- ETIENNE, M.G., PRADO, C.C., 1982.** Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación de tierras. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 120pp.
- EVANS, P. 1993.** Balansa and Persian clovers can help transform wastelands. Western Focus. Department of Agriculture, Western Australia. 2 p.
- EWING, M.A. and J.G. HOWIESON 1989.** The development of *Medicago polymorpha* L. as an important pasture species for southern Australia. Proc. XVI International Grasslands Congress, Nice, France. 197-198.
- EWING, M. 1993.** The role and potential for annual pasture legumes in dryland farming systems in the mediterranean climatic region of Chile, a consultancy reports. 20 p.
- GASTÓ, J., 1979.** Ecología. El Hombre y la Transformación de la Naturaleza. Ed. Universitaria. Santiago. 573 pp.
- GILLESPIE, D.J. 1993.** Pasture legume recommendations. For sowing in 1993 and 1994. Department of Agriculture, Western Australia. Bulletin N° 4.229. 18 p.
- GRIEVE, A., DUNFORD, E., MARSTON, D., MARTIN, R. and SLAVICH, P. 1986.** Effects of waterlogging and soil salinity on irrigated agriculture in the Murray Valley: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture. 26: 761-777.
- KELLY, K. B. and MASON, W. K. 1986.** Evaluation of some annual *Trifolium* spp. under irrigation. Australian Journal of Experimental Agriculture. 36: 79-86.
- LATTIMORE, M. A.; BEECHER, H. G. and O'CALLAGHAN, K. L. 1994.** Establishment and early growth after rice of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*), Persian clover (*T. resupinatum*), balansa clover (*T. michelianum*), and white clover (*T. repens*). Australian Journal of Experimental Agriculture. 34: 459-467.
- LONGERI, L., FIGUEROA, R. and CELIS, A., 1988.** Fijación simbiótico de N en Hualputras (*Medicago* spp.). Resúmenes XIII Reunión Anual Soc. Chilena Producción Animal. Est. Exp. Remehue. Trabajo 5. 17 p.
- MITCHELL, G. and COOPER, J. 1989.** Growing Paradana balansa clover. Experience in the mid-north areas of S. A. Department of Agriculture, South Australia. Bulletin 3/89. 20 p.
- ORAM, R.N. 1990.** Register of Australian Herbage Plant Cultivars. CSIRO. Third Edition. Australia. 303 p.

- OVALLE, C., 1986.** Etude du Système Ecologique Sylvo-Pastoral à *Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn.: Applications à la gestion des ressources renouvelables dans l'aire climatique méditerranéenne du Chili. Ph.D. Dissertation. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France.
- OVALLE, C., ARONSON, J., DEL POZO, A. and AVENDAÑO, J. 1990.** The espinal: agroforestry systems of the Mediterranean-type climate region of Chile. *Agroforestry Systems*, 10:213-239.
- OVALLE, C. and AVENDAÑO, J., 1987.** Interactions de la strate ligneuse avec la strate herbacée dans les formations d'*Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. au Chili. *Oecologia Plantarum* 8: 385-404.
- OVALLE, C., AVENDAÑO, J., ARONSON, J. and DEL POZO. 1996a.** Espinales of subhumid central Chile. I. Cartography of land occupation. *Forest Ecology & Management* (in press).
- OVALLE, C.; AVENDAÑO, J.; FERNANDEZ, F.; ARREDONDO, S. Y NEIRA, L. 1996b.** Producción de biomasa consumible de tagasaste (*Chamaecytisus proliferus* subsp. *palmensis*) en dos localidades de ambientes climáticamente contrastados en la zona mediterránea. *Agricultura Técnica*. (En prensa)
- OVALLE, C., DEL POZO, A. y AVENDAÑO, J. 1995.** Introducción de leguminosas forrajeras anuales para sectores condiciones de llanos. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación Quilamapu (Chillán). Informe Técnico 1994/95, Departamento de Producción Animal. pp.:209-212*.
- OVALLE, C., DEL POZO, A. y AVENDAÑO, J. 1997.** Fertilización de mantención en trébol balansa (*Trifolium michelianum*). En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación Quilamapu (Chillán). Informe Técnico 1996/97, Departamento de Producción Animal. pp.:147 -150*.
- OVALLE, C., LONGERI, L., ARONSON, J., HERRERA, A., and AVENDAÑO, J. 1996c.** N₂-Fixation, nodule efficiency and biomass accumulation after two years in Chilean legume trees and Tagasaste *Chamaecytisus proliferus* subsp. *palmensis*. *Plant and Soil*. 179:131-140.
- OVALLE, C., ARREDONDO, S., ARONSON, J., LONGIERI, L., AVENDAÑO, J. 1998.** Biological nitrogen fixation in 4 dryland tree species grown in central Chile: results of a five-year study. IAEA, Technical Document. En prensa.
- PUCKRIDGE, D.W. and FRENCH, R.J. 1983.** The annual legume pasture in cereal-ley farming systems of southern Australia: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environments* 9:229-267.
- REEVES, T.G. and EWING, M.A. 1993.** Is Ley Farming in Mediterranean Zones just a passing phase ? In: Proc. XVII Intern. Grassland Cong., Palmerston North, New Zealand, pp. 000-000.
- ROGERS, M. E. and NOBLE, C. L. 1991.** The effect of NaCl on the establishment and growth of balansa clover (*Trifolium michelianum* Savi var. *balansae* Boiss.). *Australian Journal of Agricultural Research*. 42: 847-857.

SQUELLA, F. 1992. The ecological significance of seed size in Mediterranean annual pasture legumes. Ph. D. Thesis. The University of Australia, South Australia. 466 p.

SQUELLA, F. and CARTER, E. D. 1996. The significance of seed size on survival of some annual clover seeds in sheep pastures of South Australia. Proc. 8th Aust. Agron. Conf., Toowaomba, Queensland.

* La información contenida en estos documentos sólo es accesible a través de sus respectivos autores o de autoridades de INIA.

ANEXOS

LA SIEMBRA CON PRADERAS DE HUALPUTRA (*Medicago polymorpha*).

Una excelente alternativa para la rotación con trigo en zonas de secano

Carlos Ovalle M., Alejandro del Pozo L., Julia Avendaño R.

IMPORTANCIA DE LA ESPECIE



La pradera de hualputra es el eslabón que faltaba en las rotaciones de secano, para reemplazar a la pradera natural y a los rastrojos, después de una temporada de trigo. La hualputra posee un alto porcentaje de semillas «duras» (sobre el 90%) que quedan en el suelo sin germinar durante la fase de cultivo. Es este mecanismo el que posibilita la obtención de una buena pradera del cereal al año siguiente.

Para asegurar la persistencia de la especie, se debe realizar un adecuado manejo del pastoreo en verano, evitando el consumo de grandes cantidades de frutos o gloquídeos. La hualputra no entierra la semilla como el trébol subterráneo, de allí, entonces, su mayor sensibilidad a un manejo inadecuado del pastoreo.

ADAPTACIÓN A CONDICIONES DE CLIMA Y SUELO

La hualputra experimenta un crecimiento adecuado en suelos alcalinos, neutros y ligeramente ácidos (pH entre 5,8 y 8). No soporta suelos con mal drenaje, aunque posee una buena adaptación a un amplio rango de texturas de suelo desde las francas a las arcillosas. Asimismo, ha demostrado tener una buena capacidad para familiarizarse con el clima mediterráneo, donde las precipitaciones oscilan entre los 250 y los 1000 mm anuales.

RECOMENDACIÓN DE CULTIVARES

A escala comercial, existen tres cultivares desarrollados en Australia : Serena, Santiago y Circle Valley. Además, se han seleccionado dos en Chile, Combarbalá INIA y Cauquenes INIA, cuyas semillas estará disponible en el año 2000.

Zona árida

Los cultivares Serena y Combarbalá son los más precoces y han sido seleccionados a partir de materiales provenientes de la IV región del país (Figura 1). La siembra de praderas en la zona

árida tendrá siempre un alto grado de incertidumbre debido a la escasez y variabilidad de las precipitaciones.

Zona semiárida

Para zonas con precipitaciones entre 300 y 400 mm, se recomiendan los cultivares Santiago y Serena o Combarbalá (Figura 1).

Zona subhúmeda

En la zona subhúmeda de la costa, las variedades Circle Valley, Santiago y Cauquenes son los más apropiados (Figura 1). En el secano interior, en tanto, los cultivares más recomendados son Santiago, Serena o Combarbalá.

Desde el río Mataquito al sur, dadas las mejores condiciones de humedad, los cultivares más apropiados son Circle Valley, Santiago y Cauquenes (Figura 1).

Zona húmeda

Tanto en la zona húmeda interior como en la costa, los cultivares recomendados son Circle Valley y Cauquenes (Figura 1).

RECOMENDACIONES DE SIEMBRA

La hualputra se siembra en otoño, a razón de 12 a 15 kg de semilla/ha y resulta siempre conveniente mezclar, al menos, dos cultivares de ciclos distintos.

El suelo debe reunir las características de una óptima preparación de la cama de semillas. Por ello es necesario asegurar un buen suministro de fósforo a la planta, aplicando, en suelos pobres, una cantidad no inferior a 200 kg de superfosfato triple /ha. En suelos graníticos, es necesario aplicar, además, 20 kg de boronatrocalcita /ha.

La semilla debe ser inoculada con cepas de *Rhizobium meliloti* específicas, puesto que los inoculantes para alfalfa no dan buenos resultados. Por esa razón es aconsejable comprar la semilla inoculada y peletizada.

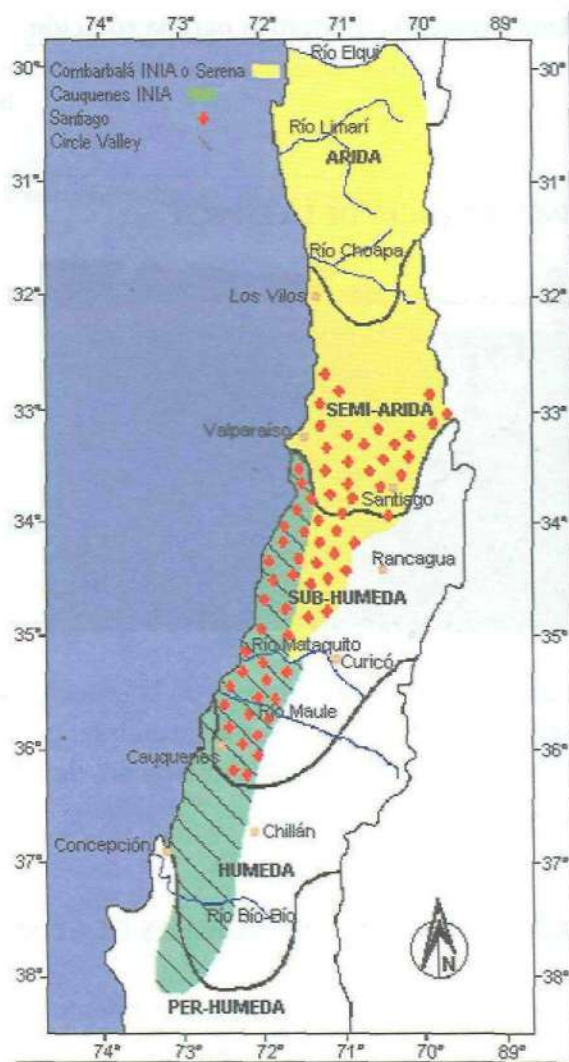


Figura N° 1. Recomendación de variedad de hualputra.

TRÉBOL BALANSA (*TRIFOLIUM MICHELIANUM*): NUEVA FORRAJERA LEGUMINOSA ANUAL, PARA SUELOS CON PROBLEMAS DE DRENAJE

Carlos Ovalle M., Alejandro Fraga S., Julia Avendaño R., Hernán Acuña P.

Características Botánicas

El trébol balansa, cuya única variedad disponible en Chile se denomina Paradana, es una leguminosa caracterizada por la presencia de flores que varían del color rosado pálido a blanco. Destaca su gran producción de semillas (hasta 1000 kg./ha) de las cuales un 60 a 80% son duras, es decir que no germinan el mismo año en que la planta las produce. Consecuencia de ello es su capacidad de persistir y diseminarse después de la siembra, lo que la hace muy adecuada para ser incluida en rotación con cereales.



Requerimientos de Clima y Suelo

Característica de esta especie es su adaptación a ambientes con precipitaciones anuales que superan los 600 mm, además de su notable capacidad para sobrevivir en condiciones de inundación intermitente.

En lo referente al suelo, se adapta a un amplio rango de texturas -desde arcillosas hasta limo arenosas y limo arcillo arenosas- tolerando un amplio rango de acidez o pH, desde 5,5 a 8,5.

Según estos requerimientos, el trébol balansa se adapta bien a las condiciones que presentan los suelos arroceros de la VII y VIII regiones, así como a aquellos suelos de posición baja, arcillosos, con problemas frecuentes de inundación y a los afectados por deficiencias de drenaje, especialmente en el secano interior.

Establecimiento y manejo

La siembra debe realizarse temprano en otoño, preferentemente entre los meses de abril y mayo, previa inoculación de la semilla con el mismo inóculo que se utiliza para el trébol subterráneo. La dosis de siembra es de 3 a 4 kg de semilla por hectárea, en tanto que la profundidad no debe ser mayor a 1 centímetro en un suelo preparado libre de terrones. Otra posibilidad en suelos arroceros, es la siembra sobre rastrojos sin efectuar preparación.

El trébol balansa es exigente en fósforo, potasio, azufre y calcio. Por lo tanto, para la fertilización de establecimiento en suelos de baja fertilidad, se debería considerar la adición de 200 kg de superfosfato triple, 80 kg de sulfato de potasio y, en lo posible, encalar. En cuanto a la fertilización de mantenimiento, se debe asegurar la aplicación anual de 80 kg de superfosfato triple por hectárea.

Utilización

Durante el primer año, se puede efectuar un pastoreo suave hacia fines de agosto para controlar malezas y luego rezagarse para permitir una buena floración. Ésta es esencial para lograr una alta producción de semillas y asegurar, con ello, la adecuada persistencia de la especie.

Una vez concluida la floración y finalizada la caída de semillas en verano, se sugiere la aplicación de un pastoreo fuerte que permita el consumo de la totalidad de la cubierta vegetal. Con ello se favorece el ablandamiento de las semillas, ya que éstas quedan más expuestas a las condiciones ambientales.

En los siguientes años y debido a su excelente crecimiento en primavera, el trébol balansa puede ser pastoreado, y eventualmente henificado, una vez que se ha constituido el banco de semillas a partir del segundo o tercer año.

Del mismo modo, debido a su alta proporción de semillas duras, esta leguminosa puede ser utilizada en rotación con cereales, una vez que el banco de semillas ha quedado constituido en el suelo.



Producción

En evaluaciones realizadas en el secano interior y ante la presencia de suelos arcillosos del sector Capellania en la región del Maule, la mayor parte de la producción de materia seca se concentró durante los meses de primavera, con producciones anuales que oscilaron entre las 4,5 a 6 toneladas de materia seca por hectárea (ton.M.S/ha).

Por otra parte, en suelos arroceros en el sector de Curipeumo (cercanías de Parral), se obtuvo una producción de trébol balansa cultivar Paradana superior a la de otras leguminosas forrajeras. Estos resultados corresponden al segundo año desde su establecimiento y provienen de una siembra realizada sin preparación de suelo. Además, no hubo empleo de forraje verde en el primer año, hecho que permitió una máxima floración y, por consiguiente, una buena semilladura (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de materia seca (kg/ha) de praderas de eguminosas anuales en Curipeumo, VII Región.

Especie	Primer corte 01/09/97	Segundo corte 16/10/97	Total
Trébol Balansa "Paradana"	2.243	3.431	5.674
Trébol subterráneo "Mount Barker"	1.517	3.101	4.180
Trébol subterráneo "Trikkala"	858	3.014	3.87

USO DE HUALPUTRA (MEDICAGO POLYMORPHA) EN ROTACIONES CON CEREALES

Alejandro del Pozo L., Carlos Ovalle M., Julia Avendaño R., Teresa Aravena

La práctica de rotación combinada de cereales (trigo) y pradera natural, se presenta como el sistema productivo de mayor importancia en el secano interior.

A pesar de su diversificación, debe enfrentar varios problemas, figurando, como uno de los esenciales, la baja calidad y productividad de la pradera.



Frente a ese panorama, muy atractiva resulta la presencia de la hualputra (*Medicago polymorpha*), leguminosa forrajera anual que goza de una excelente adaptación a las rotaciones con cereales. Esta habilidad obedece a su elevada producción de semillas «duras» e impermeables al agua, que permanecen en el suelo sin germinar durante la fase del cereal, lográndose, con ello, la regeneración espontánea de la pradera después del cultivo del trigo.

Características de la hualputra

- Es una especie herbácea que se encuentra naturalizada en Chile.
- Presenta hojas trifoliadas (de tres lóbulos), estípulas lanceoladas, y flores amarillas dispuestas en racimos compactos.
- Las semillas se desarrollan dentro de frutos denominados gloquídeos, los que pueden presentarse con o sin espinas (4-6 semillas por gloquídeo).
- El porcentaje de semillas «duras» supera el 90% al inicio del nuevo ciclo (otoño). El proceso de «ablandamiento» de las semillas se presenta gradualmente durante los veranos, lo que garantiza la presencia de semillas viables hasta 5 años después de producidas.
- Realiza una asociación simbiótica (de provecho mutuo) con bacterias fijadoras de nitrógeno denominadas rizobios (*Rizhobium meliloti*), con lo que se posibilita la fijación del nitrógeno del aire y su incorporación al suelo (hasta 150 kg/ha/año).
- Presenta una alta producción de semillas y de forraje.
- El forraje exhibe un alto contenido proteico (25% en prefloración) y de digestibilidad.

La rotación hualputra - cereal

- **Establecimiento de la pradera:** La hualputra se debe sembrar después de las primeras lluvias de otoño, preferentemente sobre rastrojo de trigo. La semilla debe ser inoculada con el rizobio adecuado (300 g de inoculante/50 kg de semilla) y peletizada con carbonato de calcio (9 kg

de CaCO_3 /50 kg semilla). La dosis de semilla debe oscilar entre 13 y 15 kg/ha. Se debe fertilizar con fósforo, calcio, azufre y boro, según análisis de suelo. La profundidad de siembra no debe exceder los 2 centímetros.

- **Manejo de la pradera:** En praderas recién establecidas, es posible efectuar un pastoreo muy liviano en primavera, con el objeto de controlar las malezas. En praderas establecidas con anterioridad, se recomienda efectuar un pastoreo continuo, disminuyendo la carga animal durante el período de floración de la hualputra. Una vez que se han producido los gloquídeos, la pradera se puede pastorear fuertemente, evitando el consumo excesivo de gloquídeos desde el suelo.

- **Establecimiento del cereal:** El sistema hualputra (H)-cereal (C) es de gran flexibilidad, pudiéndose establecer desde una rotación intensiva de H-C-H, hasta una rotación más larga donde la pradera permanezca por dos o más años.

Para sembrar el cereal sobre la pradera de hualputra, se recomienda efectuar una mínima labranza (cincel y rastraje superficial) en otoño, después de las primeras lluvias, o simplemente realizar un barbecho químico en otoño y sembrar con cero labranza. El control de malezas en el cereal se debe hacer de la misma forma en que se realiza normalmente. No importa que los herbicidas eliminen las plantas de hualputra emergidas en el cultivo del cereal.

- **Productividad de un sistema hualputra-trigo evaluado en Cauquenes:** El sistema establecido consistió en una rotación de 3 años de hualputra y un año de trigo. Se evaluó durante 8 años en el secano interior de Cauquenes. Los rangos de producción de forraje y de trigo fueron:

Pradera de 1 año después de trigo	5,2 - 7,8 ton/ha
Pradera de 2 años después de trigo	2,0 - 11 ton/ha
Pradera de 3 años después de trigo	4,2 - 8,6 ton/ha
Rendimiento de trigo	2,2 - 4,5 ton/ha

La carga animal fue de 4,4 - 6,4 ovejas/ha y la ganancia de peso vivo fue de 193 - 269 kg/ha.

Beneficios del sistema

- Se mejora la fertilidad del suelo siendo posible, en rotaciones con cereales, disminuir las dosis del fertilizante nitrogenado en el cereal.
- Aumenta la producción de trigo y provee una gran flexibilidad a la producción.
- Aumenta la producción de pasto y la producción animal.
- Contribuye a controlar la erosión.
- Aumenta la rentabilidad del negocio agrícola proporcionándole mayor estabilidad.

CAPÍTULO 7

Principios elementales de teledetección.



Claudio Pérez Castilla
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.
cperez@quilamapu.inia.cl

Marcelino Claret Merino
Especialista SIG

PRINCIPIOS ELEMENTALES DE TELEDETECCIÓN

7.1. INTRODUCCIÓN

Teledetección o Percepción Remota es la ciencia y el arte de obtener información acerca de un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos obtenidos por un aparato que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno investigado (Lillesand and Kiefer, 1994). Por su parte los sistemas de información geográficos (SIG), son sistemas computacionales usados para almacenar y manipular información geográfica georeferenciada (Aronoff 1995).

La primera foto aérea que se conoce, fue tomada desde un globo aerostático sobre Boston (EE.UU.) en 1860 por James Wallace Black. Sin embargo, la revolución en el campo de los sensores remotos se produjo hace 26 años, el 23 de julio de 1972 cuando se lanzó exitosamente el primer satélite, denominado ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), que luego se renombraría como Landsat 1. En ese instante comenzó una era de recolección de información basado en satélites que orbitan alrededor de la tierra que cambiarían el modo en que la ciencia, la industria, los gobiernos y el público en general observan la tierra (Lauer et al. 1997). Si bien es cierto que, los costos de diseño, construcción lanzamiento y operación de satélites no son insignificantes, no es menos cierto que, el adquirir datos *in situ* a la misma escala espacial y temporal sería ciertamente prohibitivo y frecuentemente imposible (Jensen 1996, Verstraete and Pinty 1996). Hoy en día muchos países, incluido Chile, tienen satélites en el espacio y más información obtenida por estos medios estará disponible en el futuro. Dentro de poco, satélites comerciales proveerán imágenes multiespectrales con frecuencias de 3 días sobre un mismo punto, con 1 a 4 metros de resolución espacial, la cual podrá ser entregada a los usuarios dentro de 15 minutos desde que fue adquirida (Fritz 1996). La sinergia de un sistema como el descrito, unido a algoritmos científicos y modelos desarrollados en los últimos 30 años, proveerán de información detallada en el campo de la agricultura, el monitoreo de los recursos naturales y a consultores en general, a una escala temporal y espacial muy detallada, como nunca antes había sido posible (Moran et al. 1997).

Monitorear los recursos naturales es difícil debido al tamaño de las extensiones involucradas, la biodiversidad de las especies, la diversidad del medio ambiente y las diferentes prácticas de manejo. Esto hace que el monitoreo tradicional se torne muy demandante de tiempo y mano de obra.

7.2. ALGUNOS CONCEPTOS IMPORTANTES

Hay algunos términos que son utilizados frecuentemente en el campo de la percepción remota, a continuación se entrega la definición de 5 de estos conceptos con el objeto de familiarizarnos con ellos.

- **Pixel:** Proviene de las palabras inglesas "picture element", es el elemento indivisible más pequeño en una imagen digital, y se representa por un número entero que puede convertirse en una intensidad luminosa o nivel de gris.
- **Resolución espacial:** es el objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Este concepto es muy importante para interpretar imágenes, por cuanto determina el nivel de detalle de ésta.
- **Resolución temporal:** se refiere a la frecuencia de cobertura o periodicidad con que un sitio es visitado por el sensor. El satélite NOAA cubre la tierra cada 12 horas, el Landsat y el SPOT lo hacen cada 16 y 26 días, respectivamente.
- **Resolución espectral:** Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor.
- **Resolución radiométrica:** Dice relación con la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. La mayor parte de los sistemas ofrecen 256 niveles por pixel (de 0 a 255).

7.3. EL CONCEPTO MULTIESPACIAL DE LA TELEDETECCIÓN.

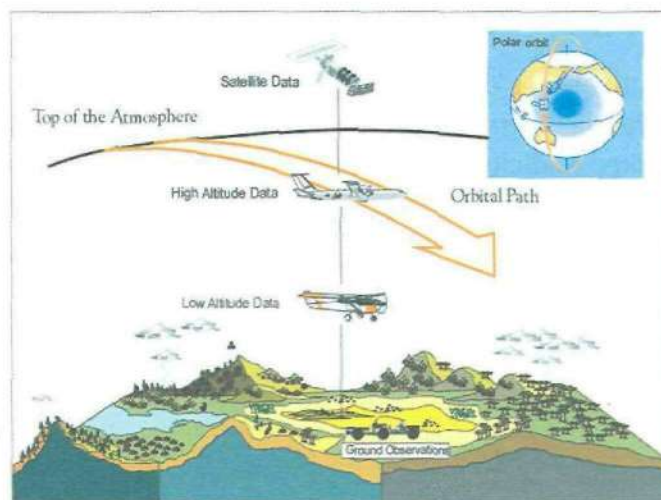


Figura N° 47. Diferentes alternativas para la obtención de datos mediante sensores remotos.

Como se muestra en la Figura N° 47, la captura de datos con teledetección puede tener diferentes resoluciones, desde un satélite hasta las observaciones a nivel de terreno, pasando por aviones que vuelan a diferentes altitudes. La importancia de este hecho, radica en que para obtener datos mediante percepción remota, no se depende sólo de la resolución temporal de los satélites. Esto es particularmente significativo cuando se planifican estudios de los ciclos fenológicos de los cultivos. Si por casualidad, estaba nublado el día que correspondía el paso del satélite por el lugar a estudiar, habría que esperar 16 o 26 días, dependiendo de la imagen a adquirir, hasta que el satélite sobrevolara el lugar nuevamente. Disponiendo de la infraestructura necesaria, se puede obtener la información desde una avioneta, y nosotros podemos programar los vuelos cuando lo deseemos. La resolución espacial de los sensores de observación terrestre en funcionamiento recoge un rango bastante amplio. Los satélites de recursos naturales, diseñados para adquirir información sobre áreas muy heterogéneas, suelen contar con resoluciones de cierto detalle: desde los 10 x 10 m del sensor SPOT-HRV, hasta los 120 x 120 m del canal térmico del Landsat-TM. Otros satélites orientados a aplicaciones más globales como el NOAA-AVHRR tiene una resolución espacial de 1.1 km por lado. En tanto que satélites meteorológicos ofrecen una cubierta global de la superficie terrestre con píxeles de hasta 5 km (Chuvieco 1990).

7.4. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

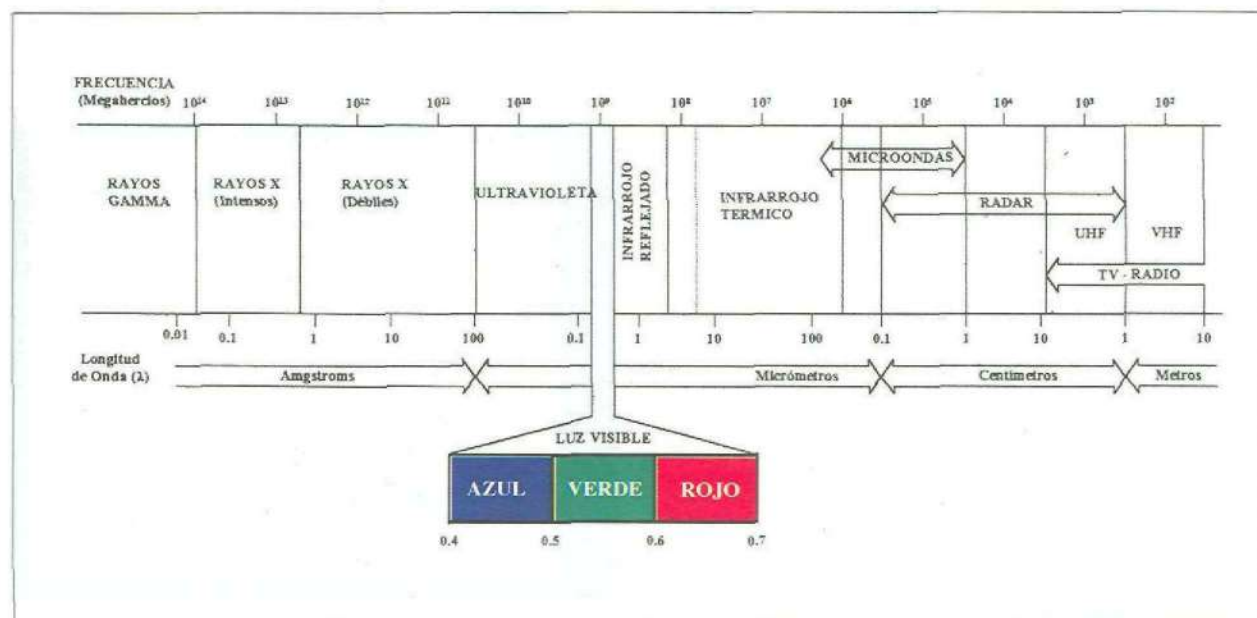


Figura N° 48. El espectro electromagnético.

Este es uno de tantos aspectos claves dentro de la problemática de la teledetección. Como se observa en la figura N° 48, el espectro electromagnético va desde las ondas muy cortas como son los rayos gamma, hasta las ondas muy amplias como TV y radio. El ojo humano sólo percibe el rango de la luz visible, que comprenden las 3 bandas elementales que son el azul de los 400 a 500 nanómetros (nm), el verde de los 500 a los 600 nm y el rojo de los 600 a los 700 nm. Para percibir todo el resto del espectro se hace necesario la utilización de sensores remotos especializados para los diferentes rangos de longitud de onda.

Los satélites Landsat-TM cubren 6 bandas, desde el azul (400 nm) al infrarojo medio (2.350 nm) con una resolución espacial de 30 x 30 metros. Una séptima banda cubre el infrarojo termal, entre 10.400 a 12.500 nm, con una resolución espacial de 120 x 120 metros. Los sensores del satélite SPOT francés cubren 3 bandas en el rango electro-magnético del verde al infra-rojo cercano (500 a 890 nm) con una resolución espacial de 10 x 10 metros. La banda del verde está diseñada para medir la reflectancia del peak de la vegetación, para discriminar entre tipos vegetacionales y el vigor de ésta. El rojo por su parte, detecta la absorción de la clorofila, ayudando en la diferenciación de tipos vegetacionales. El infrarojo cercano es útil para determinar tipos vegetacionales, vigor y contenido de biomasa, para delinear cuerpos de agua y discriminar por el contenido de humedad del suelo (Lillesand y Kiefer, 1994).

7.5. CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN EN EL ESPECTRO ÓPTICO

La caracterización espectral de las masas vegetales es, sin duda, una de las tareas más interesantes en teledetección. Son múltiples los factores que influyen en la radiancia final detectada por el sensor. Entre ellas destaca la propia reflectividad de la hoja, en función del estado fenológico, forma y contenido de humedad. Las características morfológicas de la planta, como son: la altura, el perfil y grado de cobertura del suelo, provocan una notable modificación del comportamiento reflectivo. También es necesario tener en cuenta factores derivados de la situación geográfica de la planta como la pendiente, orientación asociación con otras especies y la geometría de plantación (Chuvieco 1990).

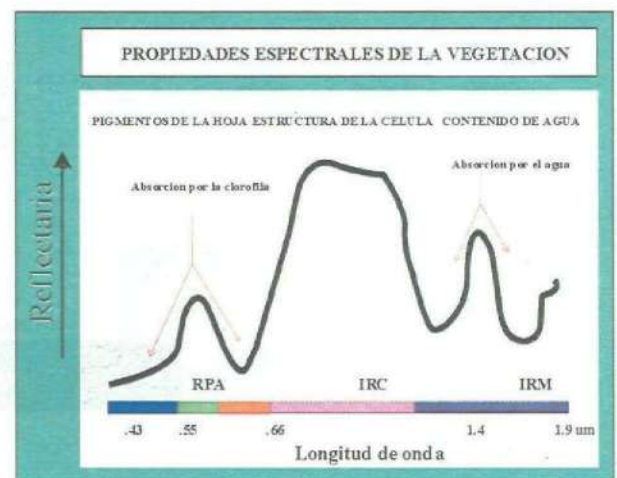


Figura N° 49. Firma espectral de la vegetación.

La figura precedente, muestra las características espectrales de una planta tipo, vigorosa y sana. Esta muestra una reducida reflectividad en las bandas visibles (azul, verde y rojo), con un máximo relativo en la porción verde del espectro en torno a los 550 nm. Por otra parte, el infrarojo cercano (IRC) presenta una elevada reflectividad, la que se reduce en el infrarojo medio (IRM). La baja reflectividad en la porción visible del espectro se debe al efecto absorbente de los pigmentos de la hoja, principalmente las clorofilas. Una planta senescente presenta un menor grado de reflectancia en este sector del espectro. La clorofila ejerce una menor influencia, lo que explica una mayor reflectividad en la banda roja y, en definitiva, su color amarillento (verde + rojo) (Chuvienco 1990).

La elevada reflectividad en el infrarojo cercano (IRC), se debe a la estructura celular interna de la hoja. Una hoja sana ofrece una alta reflectividad en el IRC, en contraste con la baja reflectividad en el dominio del visible. A partir de los 1.400 nm el efecto absorbente del agua es muy importante, por lo que la reflectividad de la vegetación sana se reduce drásticamente en el infrarojo medio. Las medidas de laboratorio muestran una notable diferencia en esta región del espectro entre las hojas secas y las infiltradas con agua (Chuvienco 1990).

Este comportamiento espectral de las cubiertas vegetales ha sido la base para obtener una serie de índices de vegetación, que se basan -entre otros factores- en el contraste entre las bandas rojas e infrarojo cercano del espectro.

7.6. FORMAS DE EXTRAER INFORMACIÓN A PARTIR DE DATOS OBTENIDOS CON SENSORES REMOTOS

En el campo de las aplicaciones de los sensores remotos, se han desarrollado índices vegetacionales (IV) para evaluar cuali y cuantitativamente las cubiertas vegetales usando mediciones espectrales. Los IV son fórmulas empíricas que se han derivado para realzar el contraste espectral de tal manera que valores mayores del índice indican altas probabilidades que el objeto observado contenga vegetación verde y activa (Graetz 1990; Leprieur et al. 1994). Los IV son muy populares por lo sencillo que resulta su cálculo y aplicación. Estos índices generalmente tratan de realzar la contribución de la vegetación verde y de minimizar los efectos de color del suelo, la radiación y el ángulo solar, la vegetación senescente y los efectos atmosféricos, mediante combinaciones lineales de la banda del rojo y del infrarojo cercano. En general, estos índices se correlacionan bien con la densidad del follaje (Huete 1989). Su mayor desventaja radica en que son útiles sólo para el lugar y la ocasión en que se hizo la correlación entre la vegetación y el índice (Verstraete et al. 1996), además están afectados por la variación espacial y temporal de la atmósfera y no tienen unidad de medida (Rundquist y Queen, 1989).

7.7. ALGUNOS DE LOS INDICES VEGETACIONALES MÁS USADOS

7.7.1. Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI)

Este se define como la relación entre la diferencia y la suma de la reflectancia de la banda del IRC y la banda del rojo.

$$\text{NDVI} = (\text{IRC}-\text{Rojo})/(\text{IRC}+\text{Rojo})$$

Donde IRC = infrarojo cercano.

Este índice fue desarrollado por Rouse et al. (1974) para investigar la eficacia de los datos obtenidos por el satélite Landsat MSS en el monitoreo de las Grandes Planicies del Medio Oeste de los EE.UU. Es el más popular de los IV ya que compensa los cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente del terreno, y otros factores externos. El rango de valores de este índice fluctúa entre -1 a +1, siendo los valores positivos los que corresponden a la vegetación.

7.7.2. Índice de la Diferencia Vegetacional (DVI)

$$\text{DVI} = (2.4 \times \text{IRC}) - (\text{Rojo})$$

Este índice calcula la diferencia entre la reflectancia del IRC y la banda del rojo. Sin embargo, la reflectancia del IRC es ajustada por la reflectancia del suelo (Richardson and Wiegand 1977).

7.7.3 Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

Este índice fue desarrollado por Huete (1988), para minimizar la influencia de la brillo del suelo.

$$\text{SAVI} = [(\text{IRC}-\text{Rojo})/(\text{IRC}+\text{Rojo}+L)]*(1+L)$$

Donde $L=0.5$. Este valor puede ser ajustado para cada tipo de suelo con el fin de minimizar los efectos secundarios que la radiación solar ejerce sobre la vegetación.

7.8. MODELOS DE REFLECTANCIA DE LA VEGETACIÓN

También existen modelos de reflectancia de la vegetación, que son modelos matemáticos complejos que describen la penetración de la radiación en la cubierta vegetal y sus interacciones en ella. Las interacciones físicas entre la radiación incidente y el medio en el cual esa radiación se propaga, debe ser muy bien entendida. Estos modelos son complejos, difíciles de aplicar y frecuentemente se requiere tener gran detalle de las características del suelo para minimizar los efectos de éste sobre la radiación incidente en la vegetación (Goel 1988, Jasinski 1996).

7.9. CONCLUSIONES.

La teledetección no es una técnica nueva, sin embargo los análisis basados en imágenes obtenidas de satélites, si lo son, ya que tienen sólo 26 de años de desarrollo. Esta técnica se ha ganado un importante espacio en el campo del monitoreo de los recursos naturales y el análisis de información y pronósticos meteorológicos, entre otros. El desarrollo y uso de índices vegetacionales han contribuido en forma importante a diversos estudios relacionados con la agricultura. Este conocimiento se seguirá incrementando, en la medida que se desarrollen nuevos algoritmos que expliquen las interacciones entre la cubierta vegetal y las mediciones del espectro electromagnético que realizan los sensores.

7.10. LITERATURA CITADA

- ARONOFF, S. 1995.** Geographic Information Systems: A management perspective. WDL Publications. Ottawa, Canada. 294 p.
- CHUVIECO, E. 1990.** Fundamentos de teledetección espacial. 453 p. Ediciones RIALP, S.A. Madrid.
- FRITZ, L.W. 1996.** The era of commercial earth observation satellites. *Programm. Eng. Remote Sensing*. 62: 40-44.
- GOEL, N.S. 1988.** Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sensing Reviews* 4: 1-212.
- GRAETZ, R. D. 1990.** Remote sensing of terrestrial ecosystem structure: An ecologist's pragmatic view. P. 5-29. *In*: Richard J. Hobbie, and Harold A. Mooney (eds.), Remote sensing of biosphere functioning. Ecological Studies 79.
- HUETE, A.R. 1988.** A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Environ.* 25: 295-309.
- HUETE, A.R. 1989.** Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra p. 107- 141. *In*: Ghassem Asrar (ed.), Theory and applications of optical remote sensing. John Willey & Sons. New York.
- JASINSKI, M. 1996.** Estimation of subpixel vegetation density of natural regions using satellite multispectral imagery. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*. 34:804-813.
- JENSEN, J.R. 1996.** Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey. 316 p.
- LAUER, D.T.; S.A. MORAIN, and V.V. SALOMONSON. 1997.** The Landsat program: Its origin, evolution, and impacts. *Photogrammetric Eng. & Remote Sensing*. 7:831-838.

- LEPRIEUR, C.; M.M. VERSTRAETE, and B. PINTY. 1994.** Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data. *Remote Sensing Reviews*. 10: 265-284.
- LILLESAND, T.M., and R.W. KIEFER. 1994.** Remote sensing and image interpretation. 3rd. ed. John Willey & Sons, Inc. 749 p.
- MORAN, M.S., Y. INOUE, and E.M. BARNES. 1997.** Opportunities and limitation for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing Environ.* 61: 319-346.
- PEARSON, R.L. and L.D. MILLER. 1972.** Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grassland, Colorado. *Proc. 8th Int. Symp. on remote Sensing of the Environment II*: 1355-1379.
- RICHARDSON, A.J., and C.L. WIEGAND. 1977.** Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing* 12:1541-1552.
- ROUSE, JR. J. W., R.H. HASS, J. A. SCHELL, and D.W. DEERING. 1974.** Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp. NASA SP-351. 1:309-317.
- RUNDQUIST, D.C., and L.P. QUEEN. 1989.** Spatial/temporal variability of Landsat-derived NDVI in the Nebraska Sandhills. In House Technical Memorandum # 89-03. CALMIT, University of Nebraska-Lincoln.
- VERSTRAETE, M.M and B. PINTY. 1996.** Designing optimal spectral indexes for remotesensing applications. *IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing*. 34: 1254-1265.



CAPÍTULO 8

Uso forestal del suelo en el secano interior del centro-sur de Chile: forestación en zonas semiáridas con especial referencia a pequeños propietarios de suelos erosionados.



Luis Flores Molina
Ingeniero Forestal
lflores@quilamapu.inia.cl

8. USO FORESTAL DEL SUELO EN EL SECANO INTERIOR DEL CENTRO-SUR DE CHILE: FORESTACIÓN EN ZONAS SEMIÁRIDAS CON ESPECIAL REFERENCIA A PEQUEÑOS PROPIETARIOS DE SUELOS EROSIONADOS

8.1. INTRODUCCIÓN

Es indudable que el desarrollo productivo de las zonas áridas y semiáridas del país es un problema sustantivo. Muchas instituciones han intentado buscar alternativas tecnológicas a través de la investigación científica en el área de los cultivos y ganadería. Sin embargo, las grandes limitantes edafoclimáticas presentes en estos sitios hacen infructuosos los esfuerzos por incrementar la productividad de los suelos mediante la mantención de los cultivos agrícolas y praderas tradicionales. Auspiciosos resultados son los que demuestra la implementación de tecnologías de mínima y cero labranza, las cuales permiten detener los procesos erosivos, incrementar los rendimientos del cultivo y disminuir las pérdidas de agua del sistema gracias al aumento del contenido de materia orgánica en el suelo. Otros resultados manifiestan la importancia de introducir los Sistemas Forestales y Agroforestales como herramientas para restaurar suelos degradados y convertirse en reales y atractivas alternativas productivas para los propietarios de suelos de secano. Se hace necesario entonces, conocer acerca del manejo forestal del suelo y de la posibilidad de hacer un uso integral de la tierra, con tal de responder a los requerimientos ecológicos del medio y a las legítimas aspiraciones de los habitantes del secano interior de Chile.

8.1.1. Limitaciones ambientales para la producción silvoagropecuaria en el Secano interior

Sin duda que la principal limitante productiva de estos sitios es la escasa precipitación estival, que es característica del clima mediterráneo sin riego de la VII y VIII Regiones. Los indicadores de aridez presentados por Ovalle y Del Pozo (1994) para el secano de dichas regiones, describen un período de 5 meses en que la precipitación es menor a 2 veces la temperatura media (aridez) y un período de 1 mes en que la precipitación es menor a 3 veces la temperatura media (semiaridez). Esto indica que aproximadamente desde Mayo a Septiembre podrían satisfacerse las necesidades hídricas de los cultivos tradicionales, reduciéndose drásticamente esta situación a partir de Octubre. Este escenario climático, se compone, además, de otras limitantes, como son, las horas de frío, el período libre de heladas, y la humedad relativa.

Precisamente cuando la restricción hídrica es mínima o nula (invierno) el crecimiento vegetativo es mínimo en los cultivos y praderas, correspondiendo también a los meses de menor temperatura y mayor humedad.

Igualmente importantes, son las restricciones en el contenido de materia orgánica y los bajos niveles de N,P y K en el suelo, producto del intensivo cultivo de los suelos con los sistemas tradicionales, que limitan los rendimientos agrícolas y la producción pratense. Así mismo, erróneas técnicas de manejo y labranza de suelos han traído consigo la erosión de un alto porcentaje de los suelos del

secano, marginándolos por completo del uso productivo y provocando serios problemas de sedimentación en los cursos de agua.

8.2 INSERCIÓN DEL MANEJO FORESTAL DEL SUELO EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL SECANO INTERIOR

La forestación y reforestación en zonas áridas y semiáridas es actualmente una materia difícil. Aún así, existe consenso respecto a que el destino de las numerosas hectáreas que constituyen el secano interior, es ser cubiertas por árboles que cumplan diversas funciones ecológicas y productivas.

Las razones del por qué los árboles son beneficiosos en cuanto a su influencia en el suelo y los cultivos asociados, se resumen en las siguientes (Vélez y Moreno, 1993):

1. Aumento de los retornos al suelo: mantenimiento o incremento de la materia orgánica a través de la caída de hojarasca y descomposición de las raíces; fijación de nitrógeno por muchas especies leguminosas y otras; incorporación de los nutrientes liberados por meteorización en las capas profundas del suelo; provisión de condiciones favorables para el ingreso de nutrientes en la lluvia y el polvo atmosférico.
2. Reducción de las pérdidas en el suelo: protección contra la erosión y las pérdidas de materia orgánica y nutrientes, retención y reciclaje de nutrientes que de otra manera se perderían por lixiviación, lo cual incluye la acción de las micorrizas y de los exudados de las raíces; reducción de la tasa de descomposición de la materia orgánica por efectos de la sombra y disminución de temperatura.
3. Procesos que afectan las condiciones físicas del suelo: a través del mantenimiento o mejoramiento de sus propiedades físicas como la estructura, porosidad, permeabilidad y capacidad de retención de agua; la ruptura de capas compactadas o endurecidas por la acción de las raíces; disminución de extremos en la temperatura del suelo por el efectos combinado de la sombra proyectada por la copa y la hojarasca.
4. Procesos que afectan las condiciones químicas del suelo: aumento de la capacidad de intercambio catiónico debido a la materia orgánica; liberación de bases y otros nutrientes a causa de su mineralización, lo cual modera los efectos de la lixiviación; potencial para reducir la salinidad y sodicidad en suelos con pH muy altos.
5. Procesos que afectan la biología del suelo: producción de hojarasca de distintas calidades, lo cual afecta sus tasas de descomposición y la mineralización de la materia orgánica resultante y, por lo tanto, permite distribuir en el tiempo la liberación de los nutrientes mediante la selección de las especies arbóreas con base en la calidad de su hojarasca y su velocidad de descomposición. Influencia sobre la fauna del suelo, en particular la sombra disminuye el crecimiento de malezas haciendo menos necesarias las prácticas de control químico; posibles transferencias de nutrientes entre raíces probablemente mediante puentes de micorrizas.

Para realizar la planificación del uso forestal del suelo, debemos enfocar nuestros esfuerzos en definir los siguientes elementos:

1. Objetivos de la forestación.
2. Especie a establecer y técnica de plantación.
3. Modelo de plantación.
4. Ubicación espacial de la plantación.
5. Restricciones legales, Incentivos, Créditos y Bonificaciones.
6. Esquema de manejo.
7. Rentabilidad de la inversión forestal.

8.3. OBJETIVOS DE LA FORESTACIÓN

Un plan de forestación puede cumplir con al menos 3 objetivos fundamentales: (1) maximizar los beneficios monetarios al más breve plazo, a través de plantaciones de especies forestales de rápido crecimiento, de las cuales obtener productos aserreables, pulpables, carbón o leña, siendo estos los únicos beneficios esperados del área forestada, lo cual conocemos como un **Sistema Forestal Puro**; (2) maximizar los beneficios monetarios al más breve plazo, a través de plantaciones de especies forestales, establecimiento de praderas y siembra de cultivos cereales u hortalizas, cuyas múltiples combinaciones y arreglos son conocidos como un **Sistema Agroforestal o Silvopastoral**; y (3) maximizar los beneficios monetarios en la medida que se aseguren los beneficios sociales y ecológicos resultantes de la protección del suelo y cursos de agua, altamente degradados por la deforestación y el manejo agrícola intensivo, a lo cual llamaremos **Sistema de Protección Forestal**.

Estos objetivos deben definirse en función de las necesidades del propietario del suelo y de las posibilidades ecológicas que presenta un sitio determinado. Así, una ladera de pendiente fuerte ($> 30\%$) o con presencia de cárcavas y/o evidente erosión de manto, deberá ser manejada bajo un Sistema de Protección Forestal, el cual busca aumentar la cobertura para evitar procesos erosivos, mejorar la infiltración de agua mediante el incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, reducir el escurrimiento superficial y favorecer la recuperación nutricional del suelo.

Ciertamente, los objetivos deben ser alcanzables, de modo que su implementación sea viable. Se debe recordar que el Sistema Forestal Puro puede utilizarse en la medida que el propietario del terreno pueda prescindir de producción agrícola o pecuaria, al menos, durante el período que dura la rotación forestal (10 a 30 años). Cuando no sea posible lo anterior, se debe pensar en sistemas mixtos como el Agroforestal o el Silvopastoral, los que permiten obtener productos para el consumo humano y animal anualmente, mientras se espera el turno de cosecha de la plantación. Cuando el Sistema de Protección Forestal sea necesario de implementar, deberá analizarse la posibilidad de extraer, periódicamente, productos de la plantación, dado que el objetivo principal de este sistema es la protección. Pero en un cierto ciclo de tiempo, y a una cierta intensidad de extracción, podría ser posible obtener productos como leña, madera ó estacas, aunque probablemente, no con un fin comercial debido a los bajos volúmenes de extracción.

La definición de los objetivos de una forestación debe compatibilizar tanto las aspiraciones del propietario como las potencialidades del sitio. Además, es pertinente recordar que el uso de los recursos naturales (suelo, agua, etc.) debe hacerse bajo el principio del rendimiento sostenible, es decir, de manera que produzcan periódicamente sin poner en riesgo la perpetuidad del recurso. Para discernir entre varios usos posibles para un sitio determinado, será necesario evaluar en función de algunos indicadores o parámetros biofísicos del medio (Flores, 1998) y de la superficie disponible dentro de cada propiedad.

Respecto de los sistemas agroforestales o silvopastorales, se deben tomar en cuenta las ventajas que presenta frente a un monocultivo. En el ámbito ecológico, Vélez y Moreno (1993) consideran: la mejor utilización del espacio por encima y debajo del suelo, lo cual redundaría en mayor producción de biomasa total y productividad global, el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, reducción de fluctuaciones del microclima y en el riesgo de pérdida total del cultivo por plagas, enfermedades o factores climáticos, y sombra para especies vegetales y animales que la requieren. Desde un punto de vista económico, los mismos autores sostienen que existe un aumento y mejor distribución del ingreso por hectárea y por año, mayor regularidad en la mano de obra empleada, aumento en la variedad de productos y/o servicios lo cual incluye el mejoramiento potencial de la alimentación humana, reducción del impacto económico de las irregularidades del mercado, repartición de los costos del establecimiento y manejo de los componentes del sistema, puesto que, por ejemplo, con el desmalezado del componente agrícola se limpian de una vez los árboles, y por la presencia de estos últimos, se reduce la luz que llega al suelo y, por lo tanto, el crecimiento de las malezas. Si bien también existen desventajas, como competencia entre componentes, daños al componente agrícola por causa del manejo de los árboles, y/o aumento de la dificultad y costo del manejo y cosecha, éstas pueden ser minimizadas mediante la búsqueda de las mejores asociaciones entre especies vegetales, y entre éstas y los animales.

La selección de especies componentes de los sistemas productivos mixtos, debe considerar, más que los fenómenos de competencia, el rendimiento combinado de las especies asociadas, tal que sea mayor que la del cultivo principal cuando se maneja como monocultivo (Vélez y Moreno, 1993).

8.4. ESPECIE A ESTABLECER Y TÉCNICA DE PLANTACIÓN

Diversas han sido las especies forestales sometidas a estudios tendientes a conocer su potencial de crecimiento en distintas zonas de Chile. Desde 1962 que existen programas de investigación, dirigidos por el Instituto Forestal, para seleccionar especies nacionales y extranjeras de interés (INFOR, 1994), que incluyen ensayos de procedencias y progenies. Algunas de las especies estudiadas han sido Pino radiata, especies del género Eucaliptus, Pino oregón, Aromo australiano, otras especies del género Acacia y especies nativas del género Nothofagus principalmente.

Estos esfuerzos, por encontrar la especie adecuada para sitios dados, son muy importantes, pues algunas especies están adaptadas a condiciones ambientales muy acotadas, así como otras se desa-

rollan en un amplio rango de situaciones. Del conocimiento de dichas características depende el éxito de la plantación. Plantas pertenecientes a zonas bioclimáticas áridas se comportarán, con una alta probabilidad, de modo similar en otra área e incluso en otro hemisferio terrestre, si las características bioclimáticas se repiten. Tal es el caso del Aromo australiano (*Acacia melanoxylon*), el cual es nativo de Australia y crece entre la latitud 25° y 40° Sur, coincidiendo con una extensa zona del centro sur de Chile, como por ejemplo la VII y VIII Regiones, que se encuentran entre la latitud 35° y 39° Sur aproximadamente. Este antecedente induce a pensar que esta especie tiene posibilidad de adaptarse a nuestro clima, como efectivamente ocurre. Bastará entonces con encontrar aquellas familias de árboles que presentan un crecimiento o productividad más elevado ó que genera los productos cosechables esperados.

Actualmente existe información detallada respecto a algunas especies que podrían ser establecidas, sin mayores problemas de adaptación, en los sitios del Secano Interior de Chile. Benedetti y Perret (1995) elaboraron una lista de especies recomendadas para forestación en zonas áridas y semiáridas. En ella destacan especies del género *Acacia* (sp. *Saligna* y *mearsii*) y del género *Eucaliptus* (sp. *camaldulensis*), sirviendo para postes, leña y forraje, y madera, postes y leña respectivamente. Igualmente, Hassan (1996) destaca el uso de *Acacia saligna* como especie forrajera, la cual se ha establecido masivamente en países de clima mediterráneo como Egipto. Otros ensayos, como el de Castillo (1996) indican que especies del género *Pinus* (sp. *halapensis*) son factibles de establecer en zonas con escasa pluviosidad obteniendo aceptables índices de crecimiento. Así también existen evidencias de ensayos con especies nativas, sólo que estas son generalmente poco atractivas por los largos ciclos de corta y difícil manejo.

En lo referente a la técnica a utilizar para plantar los árboles, estas se concentran principalmente en dos tipos: (i) sobre una faja de suelo preparada con rastra y/o subsolador; y (ii) sobre un hoyo confeccionado manualmente. El uso de uno u otro dependerá de la topografía y física del suelo a plantar. La faja puede tener unos 50 cm de ancho mínimo y podrá alcanzar profundidades de hasta 60 cm. El suelo dentro de la faja quedará en óptimas condiciones físicas para la plantación, la que se efectuará con una pala o azadón. Si la pendiente es mayor al 18 % conviene disponer la faja en curvas de nivel, de modo de evitar que el suelo escurra por la faja aguas abajo, favoreciendo con esto la infiltración del agua y el riego de las plantas cuando llueva. Si la confección de la faja no es posible, entonces se puede recurrir a la técnica del hoyo, la cual consiste en confeccionar un hoyo de unos 40x40x40 cm el cual permite que, al menos en su volumen, las raíces tengan un crecimiento abundante y fuerte en su desarrollo inicial, que facilite su crecimiento a zonas adyacentes más compactadas. Es deseable que la superficie del hoyo se encuentre en un plano horizontal, de modo que en laderas se acumule, en el interior del hoyo, el agua que escurra desde más arriba. Es conveniente también, que alrededor de la planta se coloque una cierta cantidad de material de residuo (herbáceo o leñoso) para que sirva de mulch y mantenga la humedad por más tiempo (Flores, 1996).

8.5. MODELO DE PLANTACIÓN

Se han probado distintos modelos o diseños espaciales de plantación, los que pueden ser: (i) en hileras con espaciamiento uniforme entre hileras y dentro de la hilera; (ii) en hileras con espaciamiento mayor entre hileras y menor dentro de la hilera; (iii) con espaciamiento alternado o tresbolillo; ó (iv) como cortina cortaviento. Si el área a forestar adopta el sistema forestal puro, entonces podrá optar por alguno de los dos primeros modelos, ya que por lo general las cortas de mejoramiento (raleos) iniciales tienen un criterio sistemático que se facilita con la distribución lineal de los árboles y, además, porque la pre-cosecha y cosecha final requieren espacios para el ingreso de los medios de maderero (bueyes ó maquinaria). Si el sistema productivo a utilizar fuera el agroforestal o el silvopastoral, entonces es conveniente el segundo modelo, ya que deja espacio entre hileras para establecer un cultivo (hortalizas, cereales). El sistema silvopastoral también es factible de aplicar con el tercer modelo. Cuando el sistema de protección deba aplicarse en una o más áreas dentro de un predio, entonces cualquiera de los 3 primeros modelos podrá utilizarse para conformar una estructura de bosque, cuyo perímetro será equivalente a la zona a proteger más una franja adicional que impedirá que la degradación del área se siga extendiendo. Finalmente, el modelo de "cortaviento" cumplirá una misión específica de proteger potreros de cultivo o praderas y disminuir el riesgo de erosión eólica. Esta protección será igual a 10 ó 15 veces la altura media de los árboles que la componen (Benedetti y Perret, 1995).

En laderas es factible utilizar los modelos en hileras lineales acompañadas de herbáceas ó arbustivas dispuestas sobre la hilera, de modo que detengan el material que escurre con las lluvias evitando la pérdida de fertilidad.

8.6. UBICACIÓN ESPACIAL DE LA PLANTACIÓN

El lugar donde se establecerá la forestación debe ser aquel que, como se indicó anteriormente, no sea demandado en el corto plazo para producir cultivos agrícolas o praderas exclusivamente. Perentoriamente, deberán cubrirse con especies arbóreas todas aquellas zonas altamente erosionadas, laderas desprovistas de vegetación, orillas de ríos, esteros ó vertientes y humedales. Adicionalmente, aquellas zonas donde se desee implementar los sistemas agroforestales y silvopastorales y el forestal puro. De esta forma, una cierta superficie de terreno (un predio) podrá tener un ordenamiento espacial de diversos rubros productivos (cultivos, praderas, hortalizas, frutales, etc.) alternados con galpones, casas y caminos, mostrándose un paisaje armonioso y ecológicamente sustentable, evitando dejar áreas sin vegetación y obteniendo del sitio su máxima productividad a través del uso múltiple.

Una gran herramienta para la asignación de tipos de uso a los suelos es el **MAPA DE SENSIBILIDAD A LA EROSIÓN** (Lagos, 1998). Con la ayuda de este medio, es posible decidir qué áreas, dentro de un predio ó grupo de predios, por sus características topográficas, fisiográficas y de uso actual, requieren de una cobertura permanente como la de una plantación de especies forestales. Implementando este sistema, y aplicando un criterio flexible de asignación de usos, es posible

determinar cuáles son los sitios más adecuados para una siembra de trigo o una viña con manejo tradicional (suelos con baja sensibilidad), o para un trigo cero labranza (baja o media sensibilidad), o aquellos que deben tener una cobertura de sobre un 25 % en forma más permanente y sin labranza de suelo como es el caso de los sistemas forestal puro, agroforestal, silvopastoral o de protección (alta sensibilidad).

8.7. OBLIGACIONES LEGALES, INCENTIVOS, CRÉDITOS Y BONIFICACIONES

Existen en la legislación Chilena algunos instrumentos que permiten financiar las labores de forestación de pequeños propietarios en suelos de aptitud forestal y en suelos degradados. Tal es el caso del Decreto Ley 701 de 1974, sobre Fomento Forestal, reemplazado por el artículo 1° del Decreto Ley N° 2.565 de 1979, y modificado por el Decreto Ley N° 19.561 del 16 de Mayo de 1998, de la cual se extrae lo que sigue. En esta ley se establece que todos aquellos suelos clasificados como de **Aptitud Preferentemente Forestal -APF-** (es decir, aquellos que por las condiciones de clima y suelo no deban ararse en forma permanente, estén cubiertos o no de vegetación y que no sean factibles de ser utilizados en agricultura, ganadería o fruticultura intensiva), **Degradados** (es decir, aquellos suelos de secano y los de clase IV de riego, que presentan categorías de erosión de moderada a muy severa, susceptibles de ser recuperados mediante actividades, prácticas u obras conservacionistas de uso del suelo), **Frágiles** (es decir, aquellos susceptibles de sufrir erosión severa, debido a factores limitantes intrínsecos, tales como pendiente, textura, estructura, profundidad, drenaje, pedregosidad u otro), en proceso de **Desertificación** (es decir, en proceso de degradación en zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas, resultante de la influencia de diversos factores, tales como variaciones climáticas, actividades humanas u otros) y/o de **Pequeños Propietarios Forestales -PPF-** (es decir, de personas que, reuniendo los requisitos del pequeño productor agrícola, definido en el artículo 13 de la ley N° 18.910, trabajan y son propietarias de uno ó más predios rústicos, cuya superficie en conjunto no exceda de 12 hectáreas de riego básico, de acuerdo a su equivalencia por zona), podrán recibir una bonificación, por una sola vez por cada superficie, equivalente a un porcentaje de los costos netos de las actividades de forestación y cortas de mejoramiento.

Para acceder a este beneficio, los propietarios deben efectuar la calificación de terrenos, para lo cual se debe solicitar a CONAF que, en vista de los antecedentes contenidos en un estudio técnico elaborado por un ingeniero forestal o ingeniero agrónomo, extienda un certificado que acredite la calidad de terreno de aptitud preferentemente forestal, luego de lo cual deberán confeccionar un Plan de Manejo, que estipule las actividades que se pretende ejecutar, como así mismo las medidas de preservación y protección a adoptar. Una vez aprobado el plan, el propietario tiene un plazo máximo de 2 años para ejecutar todos los trabajos en él estipulados.

Aquellos propietarios considerados como PPF podrán eximirse de presentar los estudios técnicos y planes de manejo, siempre y cuando se acojan a los estudios o planes que, al efecto, elabore la CONAF.

Las actividades afectas a la bonificación del estado son las siguientes:

- a) Forestación en suelos frágiles, ñadis o en áreas en proceso de desertificación.
- b) Forestación en suelos degradados y las actividades de recuperación de dichos suelo o de estabilización de dunas.
- c) Cortinas cortavientos en suelos de cualquier clase, que se encuentren degradados o con serio peligro de erosión por efecto de la acción eólica.
- d) Forestación de PPF en suelos de APF o degradados de cualquier clase, **incluidas aquellas plantaciones con baja densidad para fines de uso silvopastoral**. En este caso, la bonificación será de un 90 % respecto de las primeras 15 ha. y de un 75 % respecto de las restantes. La bonificación del 90 % será pagada en un 75 % una vez verificado el prendimiento y el 15 % restante a los 3 años de efectuada la plantación.
- e) La primera poda y el raleo de la masa proveniente de las forestaciones realizadas por los PPF.
- f) y, forestaciones en suelos degradados con pendientes superiores al 100 %.

El porcentaje de bonificación será de un 75 % de los costos netos para las actividades a que se refieren las letras a), b), c) y e) más las bonificaciones por suelos degradados y estabilización de dunas cuando corresponda. Para las actividades a que se refiere la letra f), la bonificación será de un 90 % y se condiciona la explotación comercial a cortas selectivas o de protección, según especie.

El valor de los costos de las actividades bonificables serán fijados, en el mes de Julio de cada año, por la CONAF e incluirán la adquisición de plantas, actividades de preparación y cercado de terrenos, establecimiento de la plantación, labores de protección y los gastos generales asociados a las actividades bonificables. Tratándose de PPF, también se considerará la asesoría profesional y los costos de poda y raleo.

Las bonificaciones se pagarán cada vez que los beneficiarios acrediten la nueva superficie forestada o las intervenciones de manejo indicadas en el plan de manejo, mediante un estudio técnico elaborado por un ingeniero forestal ó ingeniero agrónomo especializado, previa aprobación de la CONAF.

El certificado de futura bonificación que extienda la CONAF para aquellos propietarios forestales que califiquen para obtenerla, podrá constituirse, mediante su endoso por el titular del mismo, en garantía para el otorgamiento de **Créditos de Enlace** destinados a financiar las actividades objeto de la bonificación. Estas líneas de crédito de enlace serán establecidas por el INDAP, de acuerdo a las normas que rigen en dicho instituto. Este Crédito tiene por objeto financiar las labores hasta que CONAF, un año después de efectuadas, pague la bonificación.

Por último, el incumplimiento del plan de manejo por causas imputables al propietario o al forestador,

será sancionado, atendida su gravedad, con multa de 5 a 15 UTM (de \$125.000.- a \$375.000.- aproximadamente) por hectárea. Se entenderá como falta grave el incumplimiento de la obligación de reforestar y de las medidas de protección contenidas en los planes de manejo y en los estudios técnicos de calificación de terrenos de APF.

Algunos costos de forestación referencial (\$/ha) establecidos por la CONAF (1998) para 1250 pl/ha a raíz cubierta en las Regiones VII y VIII:

- ✧ Costos generales de forestación : \$160.399
- ✧ Costos de forestación de PPF : \$315.873

8.8. ESQUEMA DE MANEJO

El suelo donde se establecerá la plantación deberá ser preparado con el fin de reducir la competencia de pastos y arbustos, los que limitan las posibilidades de obtener agua suficiente para la especie deseada (el árbol), para lo cual se recurrirá a un roce con herramientas y aplicación de herbicidas sobre la faja donde se establecerán las hileras de plantación. El tipo y dosis del producto a aplicar dependerán de las malezas presentes. Se sugiere el uso de Round up en dosis de 3-4 lt/ha mezclado con MCPA, en dosis de 1.5 lt/ha, ó Simazina, en dosis de 3-4 lt/ha, más un coadyuvante como Unifilm 707 en dosis de 200-300 cc/100 lt agua, en 250-300 lt/ha de agua. Valdebenito (1998) sugiere el uso de Velpar ó Gramazine en dosis de 5 lt/ha o también realizar un control manual.

Posteriormente, se llevará a cabo la hoyadura o subsolado del suelo según lo establecido en el punto 2. Para ello, se debe realizar la marcación alineada de las hileras para plantar sobre ellas a una distancia que puede ser representada por una vara de 2 a 3 metros según el espaciamiento deseado. En el caso de laderas y pendientes fuertes, se sugiere que las hileras se dispongan en curvas de nivel, para lo cual se deberá marcar las curvas en el terreno con la ayuda de un nivel de topógrafo o un nivel artesanal fácil de construir y de usar (Benedetti y Perret, 1995).

La plantación debería establecerse temprano en invierno, luego que ocurran las primeras lluvias de la temporada. Es deseable que las plantas tengan un baño de gel en sus raíces con el fin de evitar pérdidas rápidas de humedad durante el traslado de las plantas y primeros meses de plantación. Posterior a ella, se deberá aplicar fertilizantes alrededor de la planta, aproximadamente a una distancia de 20 cm, con una mezcla de NPK que derivará de una recomendación basada en un análisis químico efectuado al suelo. En el caso de la plantación en hoyo, se puede aplicar el fertilizante en el fondo de éste, cuidando de que las raíces no toquen directamente la mezcla. Valdebenito (1998) sugiere, en algunos casos, dosis de 50 gr/planta de Urea y 50 gr/planta de Super fosfato triple en una mezcla que incluye, entre otros, Potasio y Boro, principalmente. Ortega (1998) estima que dosis cercanas a 100 gr/planta de Urea y de Super fosfato triple son adecuadas para la zona.

Al año 1 deberá analizarse la posibilidad de replante si la mortalidad es importante. Igualmente, se podrá aplicar una segunda dosis de fertilizante, la que podría ser igual al doble de la dosis del año

0, la que se puede repetir hasta el año 3 ó 4 en función del cierre de copas y del riego suplementario aplicado. En caso de especies del género *Pinus* se podrían utilizar, a partir del tercer año, algunas plantas para ser vendidas como árboles navideños. Cerca de los 7 años, se puede programar un raleo, cuyos productos pueden ser polines, leña y/o carbón. A los 10-12 años se puede programar un raleo cuyos productos pueden ser metros ruma y polines. En aquellos casos en que el crecimiento es mayor, se pueden realizar podas tendientes a aumentar el valor de la madera aserrada resultante. Finalmente, se estima la cosecha final dentro de los 15 a 20 años de la plantación, de la que se obtendrán polines, metros ruma, madera aserrada y leña. En el caso del género *Eucaliptus*, se puede utilizar el mismo esquema de fertilización con un fuerte énfasis en el control de malezas. La cosecha se estima para el año 12 a 15, luego del cual, manejando el rebrote de tocón, la nueva rotación queda ya establecida.

Es deseable, además, que las plantas reciban un riego suplementario, al menos 1 vez por mes, equivalente a 4-5 lt. de agua por planta (Benedetti y Parret, 1995), lo cual deberá mantenerse por los primeros 2 años de la plantación.

8.9. RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN FORESTAL

Por cierto que la decisión de forestar el suelo no resulta fácil para quien no conoce de árboles. Tampoco lo es para quien debe decidir entre árboles y cultivos, o para quien no ve ningún incentivo en ello. Claro es que el tema de la forestación no es sólo un problema económico, sino que además involucra conceptos de sustentabilidad ecológica. Si quisiéramos valorar el costo de no forestar una ladera con 40 % de pendiente tendríamos que considerar la pérdida de suelo y de fertilidad, producto de los procesos erosivo, los cuales pueden llevarse más de 100 Ton/ha/año de suelo. Además, el costo de oportunidad, es decir, lo que habría ganado de haber ocupado el suelo en otra alternativa mejor, por ejemplo forestar, aún cuando no obtenga, necesariamente, ingresos por venta de productos derivados. Al forestar no sólo se pueden obtener productos comerciables como madera, leña, polines ó carbón, sino también, aumento paulatino de la productividad del sitio, protección para el suelo, mejor retención de humedad, sombra para animales, hongos comestibles, etc.

Junto con las diferencias enunciadas, respecto a forestar o no hacerlo, están aquellas referidas a los beneficios y obligaciones que impone el D.L. 701 a los forestadores. Chacón (1995) expone las diferencias fundamentales entre quién se acoge a la ley y quienes no lo hacen. En su análisis determina que aquellos propietarios que se acogen a la bonificación del estado obtienen mayores beneficios que aquellos que no y, por cierto, muchos más que aquellos que optaron por no forestar. Además, si calculamos el Valor Económico del Suelo, entendido como el valor actual de los beneficios netos futuros generados por el suelo, cuando éste tiene un uso (ej. forestal) y lo comparamos con una situación en que el suelo no tiene un uso y se encuentra desprovisto de vegetación, podremos ver que el VES es mayor para un suelo plantado.

Los antecedentes anteriores indican que, cualquiera sea el objetivo de la forestación, existe una rentabilidad fuertemente positiva sólo por el hecho de cubrir el suelo con vegetación. Interesantes

ingresos pueden obtenerse de la venta de los bienes y servicios que se logran de una plantación. Mejor aún, es la situación, si una verdadera diversificación de productos, como la que ofrecen los sistemas agroforestales y silvopastorales, se obtiene del suelo. Con ella se enfrentan mejor los vaivenes del mercado, a la vez que aumenta y mejora el abanico de posibilidades alimenticias para la población dependiente de un terreno con Uso Forestal.

8.10. LITERATURA CITADA

- BENEDETTI S. Y S. PERRET. 1995.** Manual de Forestación Zonas Áridas y Semiáridas. Manual N° 21. División Silvicultura, INFOR.CORFO. Santiago, 1995.
- CASTILLO, V. 1996.** Ensayo y evaluación de técnicas de repoblación con pino carrasco (*Pinus halapensis* Mill.), en ambientes mediterráneos semiáridos. En: Forestación y silvicultura en zonas áridas y semiáridas de Chile. Valdebenito y Benedetti, Editores. INFOR.CORFO. Santiago, 1997.
- CHACÓN, I. 1995.** Decisiones económico-financieras en el manejo forestal. Serie Ciencia y Tecnología de la Editorial de la Universidad de Talca. Talca, 1995.
- CONAF. 1998.** Tabla de costos, período de retroactividad. Dirección ejecutiva, Oficina de normativas forestales. Santiago, 1998.
- FLORES, L. 1996.** El mulch de residuos de cosecha como método de preparación de sitio para la reforestación con Pino Radiata (*Pinus radiata* D.DON): Una revisión de literatura. Tesis de grado de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción.
- FLORES, L. 1998.** Hacia una correcta asignación de uso de los suelos: conflictos de clase. Artículo presentado a la revista divulgativa Tierra Adentro del INIA. Por publicarse. Chillán, 1998.
- HASSAN, M. 1996.** Acacia saligna as potential shrub for forage use in arid zones. En: Forestación y silvicultura en zonas áridas y semiáridas de Chile. Valdebenito y Benedetti, Editores. INFOR.CORFO. Santiago, 1997.
- INFOR. 1994.** Diversificación y silvicultura: Nuevas experiencias. Actas tercer taller silvícola. Fundación Chile, Grupo silvícola, CONAF, INFOR. Concepción, 1994.
- LAGOS, M. 1998.** Control de erosión y propuesta para el establecimiento de distritos de conservación de suelos, aguas y vegetación. Documento Técnico, SAG. Santiago, 1998.
- ORTEGA, R. 1998.** Comunicación personal. Chillán, 1998.
- OVALLE, C. 1994.** La agricultura del secano interior. Ovalle y Del Pozo, Editores. INIA Cauquenes-Chile. Cauquenes, 1994.

VALDEBENITO, G. 1998. Sistema de información forestal. Programa de investigación forestal del secano. Versión 1.0. PRODECOP-SECANO, INFOR, INDAP. Santiago, 1998.

VÉLEZ, G. Y F. MORENO. 1993. Principios de agrosilvicultura. Revista Crónica Forestal y del Medio Ambiente No. 8, 1993 p. 43-57. Colombia, 1993.

CAPÍTULO 9

Agricultura orgánica para el secano.



Agustín Infante L.
Ingeniero Agrónomo
cetyumb@arauco.reuna.cl

9. AGRICULTURA ORGÁNICA PARA EL SECANO

9.1. INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica, en la realidad agrícola comercial del país, representa una futura e interesante oportunidad de desarrollo para el sector, dentro del cual se encuentra el secano interior. En contraste a una extensa zona agrícola del país donde se han aplicado paquetes tecnológicos altamente dependientes de pesticidas y fertilizantes químicos, el secano interior se presenta como una zona, donde los agricultores ya sea por tradición cultural o por falta de recursos económicos, no utilizan productos químicos.

A pesar que Chile no posee una tradición y conocimiento tecnológico específico en agricultura orgánica, es interesante incorporarla y potenciar la condición del secano como sistema agrícola bastante natural y poco artificializado.

En este artículo se describen los principios y técnicas de la producción orgánica y específicamente el manejo productivo para la zona de secano. Además se presentan resultados productivos de diferentes rubros, un breve análisis del mercado, experiencias en comercialización y el impacto en la economía familiar.

9.2. AGRICULTURA ORGANICA

9.2.1 Principios y Fundamentos

Diversidad: En los ecosistemas naturales la diversidad en flora y fauna es máxima. Basta recordar la composición biótica de un bosque chileno. Así mismo, no sorprende ver en los sistemas agrícolas más tradicionales, como los predios campesinos, la altísima diversidad de elementos presentes. Se aprecian diversos cultivos, hortalizas, alta variedad de frutales, muchos árboles nativos, diversas aves, cerdos, vacunos, caballares y ovinos, todo rodeado de un entorno de plantas, matorrales e hierbas propias del sector. Si investigamos además los sistemas agrícolas tropicales, los asiáticos, la agricultura de los mayas, incas y en general las explotaciones indígenas, podemos describir similares características de alta diversidad. Esto sin duda ha permitido a estos sistemas ecológicos mantenerse en el tiempo sin grandes variaciones, demostrando alta estabilidad y capacidad buffer para resistir períodos de estrés medioambientales.

Unidad: En un bosque natural la unidad de los elementos es altísima. Todo cumple una función y existe una gama de interrelaciones entre ellos. Esto se ve claramente demostrado al estudiar las cadenas tróficas existentes en ese ecosistema y los ciclos naturales presentes. De igual forma, en sistemas agrícolas tradicionales los agricultores han sabido relacionar los diferentes elementos de su predio para comprender su funcionamiento. Han podido relacionar tipos de suelo con la vegetación existente, poblaciones de insectos y comportamiento de los animales. Además, han aprendido,

a través del tiempo, a relacionar el clima, combinación de cultivos, mejoramiento y adaptabilidad de razas animales y variedades de cultivos. Es así como también los agricultores, por tradición, han comprendido la importancia de entender y dar aplicaciones prácticas de la unidad de los elementos presentes, como la aplicación de prácticas concretas en la relación suelo - planta – animal.

Reciclaje: Otro concepto que se repite en el ecosistema natural y los agroecosistemas más tradicionales es el manejo del reciclaje. Las hojas de los árboles y el guano de los animales aportan la fertilidad de los bosques y mantienen la actividad microbiológica del suelo. No es extraño ver agricultores utilizando el guano de sus establos y el uso de los rastrojos como cama animal. La agricultura antigua hizo del reciclaje su gran aliado para mantener la fertilidad, sólo la llegada de los fertilizantes sintéticos logró disminuir esta importante práctica.

Economía de los recursos: En los sistemas naturales y en la agricultura tradicional podemos apreciar que gracias a la diversidad, la unidad y el reciclaje, se produce un uso óptimo del suelo, los nutrientes, el agua, la luz y los componentes bióticos. El uso de los recursos naturales en estos sistemas es bastante eficiente y no existe una dependencia tan alta de insumos externos como en la agricultura actual, así también, se utilizan en general los recursos renovables que son más baratos y a la vez no contaminantes.

La agricultura ecológica ha intentado combinar estas cualidades descritas con los conocimientos modernos de la agricultura y desarrollar una tecnología capaz de producir en forma económicamente viable, ecológicamente sustentable y socialmente aceptada.

9.2.2. Elementos técnicos de la agricultura orgánica

Los principios ecológicos anteriormente descritos nos permiten formular cinco características claves para el manejo de agroecosistemas sustentables:

- Asegurar condiciones de suelo favorables para el crecimiento de las plantas, especialmente al manejar la materia orgánica y aumentar la vida del suelo.
- Optimizar y equilibrar la disponibilidad y flujo de nutrientes, mediante la fijación de N, bombeo de nutrientes, reciclaje y uso complementario de fertilizantes.
- Reducir al mínimo las pérdidas de radiación solar y agua por medio de manejo de microclimas y control de erosión.
- Reducir al mínimo las pérdidas debido a plagas y enfermedades causadas a las plantas y animales, por medio de prevención y tratamientos adecuados.
- Explorar la complementariedad y el sinergismo en el uso de los recursos bióticos, lo que incluye su combinación en sistemas agrícolas integrados con un alto grado de diversidad funcional.

Para lograr la aplicación de estos elementos técnicos debemos tener especial cuidado de regenerar y conservar los recursos naturales, en especial el suelo, tanto sus elementos físicos como los químicos y biológicos, el agua, el germoplasma, cuidando las especies nativas y variedades tradicionales y mantener la selección de material genético, adaptado a la zona. Así mismo debemos conservar y aumentar la fauna y flora benéfica en especial los enemigos naturales de plagas y enfermedades y la vegetación de uso múltiple.

En el manejo técnico debemos aplicar los conceptos de diversificación tanto en el tiempo, por medio de rotaciones y secuencias de cultivos como en el espacio, a través del uso de policultivos y sistemas agroforestales. También es importante la integración animal y la zonificación, es decir la distribución de cultivos y árboles de acuerdo a la capacidad de uso y microclima, la diversificación debe ser aplicada a nivel de especies como de variedades, razas, etc.

El reciclaje de materia orgánica y de los recursos del predio es otro manejo fundamental. Considerar la biomasa vegetal como los rastrojos, los abonos verdes y la capacidad de las leguminosas de fijación simbiótica de N. Reciclar además la biomasa animal como el estiércol, la orina y en general el aprovechamiento de nutrientes internos y/o externos al predio.

Para la protección fitosanitaria y sanidad animal, es posible utilizar herramientas como es el uso del control natural, incentivando los mecanismos de regulación natural existentes, el uso del control biológico, introduciendo enemigos naturales, la utilización de variedades resistentes y como medida de emergencia, la preparación y aplicación de productos botánicos con características fungicidas e insecticidas.

Sin embargo, para la implementación de estos elementos se debe tomar en cuenta tres aspectos fundamentales:

- Definir prácticas concretas de regeneración, conservación y manejo de recursos dependiendo de condiciones agroecológicas, socioeconómicas y culturales imperantes en cada zona.
- La implementación puede ser a nivel de cuenca o microregión, de predio o de sistema de cultivo
- Debe hacerse a base de una concepción integradora y no solamente enfatizando elementos aislados
- Debe tener o recoger puntos de relación y coherencia con la cultura, manejo tradicional de recursos y lógica de los agricultores.

9.3. PRODUCCIÓN ORGÁNICA EN EL SECANO

Las características que definen al secano de la cordillera de la costa son bastante difíciles, erosión, degradación medioambiental, pobreza, minifundio y marginalidad social. Las alternativas apuntan a diferentes propuestas desde incorporación de tecnología y rubros comerciales hasta la forestación con pino y eucaliptus.

Otra alternativas productivas que se han definido para el secano, es la basada en la Agricultura Orgánica, aprovechando que es un sector de agricultura tradicional donde no existe grandes incorporaciones de productos químicos y el nivel de conocimiento que tienen los agricultores es de una agricultura menos artificializada.

Además, se debe considerar que el mercado de productos orgánicos es un mercado atractivo, con un crecimiento en países desarrollados de un 5% anual, lo que indica buenas expectativas a futuro. El costo mayor de esta tecnología es la mano de obra, donde el trabajo familiar será clave en el éxito productivo.

9.3.1. Manejo Técnico

La diferencia más importante entre la agricultura orgánica y la convencional, radica en que los agricultores orgánicos evitan o restringen el uso de fertilizantes y pesticidas químicos en sus prácticas agrícolas, mientras que los agricultores convencionales pueden usarlos extensivamente. De hecho, los agricultores orgánicos utilizan maquinaria moderna, variedades de cultivo recomendadas, semilla mejorada, manejo adecuado de ganado, prácticas recomendadas para la conservación de suelo y agua, innovadores métodos de reciclaje de desechos orgánicos y manejo de residuos.

Diseño predial: El diseño del predio es el punto inicial, de alta relevancia, ya que permite ordenar y definir la interrelación de los recursos existentes, potenciando la diversidad, la unidad y el reciclaje. Es así como se hace necesario establecer una rotación de cultivos, sistemas agroforestales, plantel animal, sistema de conservación de suelos y cosecha de agua, huertos familiares, tecnologías apropiadas y manejo de sectores bajos como las vegas.

En general los predios del secano tienen los elementos necesarios, para implementarlos adecuadamente basta sólo un diseño, ordenamiento y cuantificación.

Rotación de cultivos: Las pautas para la planificación de secuencias de cultivos en la rotación, se basan en la selección de cultivos que sean apropiados para el tipo de suelo local, cultivados con éxito en el área y cosechados fácilmente con equipo disponible. La mayoría de los sistemas de cultivo orgánico incluyen una rotación basada en las leguminosas, abonos verdes, cereales y praderas. Una rotación para el secano puede estar constituida por trigo, lenteja, garbanzos, arvejas, habas, avena con vicia y dos años de pradera natural mejorada con trébol subterráneo o lotera. Estos cultivos están presentes en los predios y los agricultores disponen de semillas. La mayor innovación es la incorporación de la vicia u otro abono verde.

Manejo del suelo: La adición regular al suelo de rastrojos, abono y otros materiales orgánicos, es una característica básica de la agricultura orgánica. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad para almacenar agua, intensifica la fertilidad y mejora el mullimiento del suelo. El compostaje del rastrojo del trigo, las leguminosas, el uso de las hojas de los árboles, la utilización del aserrín como cama animal, la utilización de la tierra de hoja de los bosquetes o en los cercos son prácticas comunes de la agricultura orgánica en el secano. En general se utilizan 15 a 20 ton de compost por hectárea aplicados al potrero con cultivos escardados como la arveja y el haba.

Grandes cantidades de rastrojos se pierden y muchas veces se utiliza el fuego para eliminarlo, como también las podas, es importante incorporar pequeñas chipeadoras para rastrojos y restos de poda, dentro de la maquinaria de los agricultores.

La clave para mantener la fertilidad del suelo en un sistema orgánico en el secano, radica en el aumento de la eficiencia del flujo de nutrientes del estado fijo al soluble. De esta manera se obtienen cantidades adecuadas de nitrógeno y se mantiene un alto nivel de materia orgánica en el suelo, para asegurar una máxima productividad. La principal fuente de N en los sistemas agrícolas orgánicos, la constituye el N atmosférico, fijado por bacterias asociadas con leguminosas. Las explotaciones orgánicas en el secano muestran como importante la utilización de abono orgánico (compost) elaborado con estiércol animal y rastrojos vegetales, el uso de cama animal de aserrín, la colecta de mantillo de bosquetes y otras fuentes material orgánico. La fertilidad del suelo se basa en la mineralización de la materia orgánica incorporada en forma abundante y sostenida.. Las fuentes de Fósforo además de la incorporada vía materia orgánica se complementa con adición de roca fosfórica y/o guano rojo. La materia orgánica incentiva, además, el desarrollo de lombrices de tierra y microorganismos del suelo. Es común además el uso de fertilizantes foliares como el té de compost y el supermagro.

La preparación de suelo debe ser conservacionista, realizando una labranza tipo vertical que no invierta las capas de suelo pero que a la vez logre cierto mullimiento que de mayor facilidad para la emergencia de plantulas y óptimo desarrollo de las raíces. La infiltración del agua resulta más expedita en los suelos bien conservados, reduciendo al mínimo el escurrimiento superficial y la erosión del suelo. En este sentido se hace necesario dejar el arado de vertedera y utilizar el arado de cincel de puntas flexibles.

Control ecológico de plagas y enfermedades: En los predios orgánicos, las malezas e insectos son controlados con métodos no químicos, con diferentes grados de eficacia. Los agricultores orgánicos combinan técnicas tales como rotaciones de cultivos, cultivos trampa y solarización, con un programa balanceado de manejo de suelo, adicionando materia orgánica y uso de agentes biológicos de control, para manejar las plagas y enfermedades.

Algunos agricultores han experimentado grandes dificultades para controlar con métodos no químicos los insectos en cultivos de hortalizas y frutales. En muchos casos han manejado adecuadamente los insectos mediante rotaciones selectivas de cultivos, favoreciendo, generalmente, las combina-

ciones de insecticidas orgánicos con métodos biológicos de control de plagas. Existen experiencias exitosas en el secano interior, se presentan algunas en el Cuadro Nº 39.

Cuadro Nº 39. Experiencias exitosas de control biológico de plagas en el secano.

PLAGA	ESTADO	AGENTE DE CONTROL
Afidos de hortalizas y frutales	adulto	Control natural con microavisas, Chinitas y Sífidos
Cuncunillas, lepidopteros en general	larva	<i>Bacillus Turhingiensis</i> (formulacion comercial),
	huevo	Trichograma
Bruco de la arveja	huevo	Control biológico con <i>Uscana senex</i>
Arañitas en frutales	huevo	Crisopas
Babosas	adulto	Nemátodos

Los fungicidas que se utilizan para prevenir enfermedades, incluyen el azufre, el caldo bordelés, minerales de extracción como cobre y carbonato de calcio, y otras formulaciones hechas basados en ajo, ají, jabón y cal. El uso de supermagro también ayuda al control de plagas y enfermedades.

Una alta proporción de humus en el suelo fomenta la resistencia del cultivo frente a plagas y agentes fitopatógenos de las plantas, puesto que las plantas cultivadas orgánicamente son más sanas que las fertilizadas con productos sintéticos, y por lo tanto más resistentes a los ataques.

Las malezas son, generalmente, un problema mayor que los insectos. Los métodos orgánicos de control de malezas incluyen rotaciones de cultivos incorporando praderas, labranza, segado, cultivos competitivos, cultivos intercalados, siembra y trasplante oportuno, espaciamiento intensivo de cultivos, uso de mulch y el deshierbe manual.

9.3.2. Actividades Productivas

Hortalizas

La producción de hortalizas en suelos con alto grado de deterioro ha sido posible con la incorporación de elevados contenidos de materia orgánica y la construcción de platabandas permanentes. La finalidad de esta práctica es concentrar en espacios delimitados, los esfuerzos técnicos tendientes a mejorar el suelo, aumentando la materia orgánica, debido a que este suelo era solo el depositario de los sedimentos provenientes de las cárcavas superiores.

Mediante el Proyecto con financiamiento FIA "Desarrollo de tecnología para la producción comer-

cial de hortalizas orgánicas en la VIII región”, ejecutado por INIA y CET, en el predio Reunión, comuna de Yumbel, se agregó una mezcla de 3,5 ton/ha de roca fosfórica, 24 ton/ha de estiércol de vacuno y 60 ton/ha aserrín descompuesto, para mejorar el suelo y evaluar la producción de hortalizas. Los resultados de fertilidad de suelos se presentan en el Cuadro N° 40.

Cuadro N° 40. Análisis de fertilidad de suelos en hortalizas (en los 20 primeros centímetros).

Suelo	N	P	K	PH	M. O.
	ppm	ppm	ppm		%
Original	14 B	5 B	60 B	6,2	1,8
Mejorado	49 A	53 MA	791 MA	7,2	5,1
Después de cosecha	9 MB	17 A	282 MA	6,8	2,7

MB: muy bueno

M: medio

A: alto

MA: muy alto

Los rendimientos obtenidos en el suelo original y mejorado se presentan en el Cuadro N° 41.

Cuadro N° 41. Rendimientos de hortalizas orgánicas en suelo mejorado y sin mejorar.

	Rendimientos obtenidos	
	Suelo mejorado (ton/ha) ¹	Suelo original (ton/ha)
Acelga	71,8	35,9
Lechuga	18,3	8,0
Cebolla	23,5	6,3
Zanahoria	40,5	12,5

Rendimiento total, incluye desecho.

Además de la incorporación de materia orgánica, recurso escaso en la zona, resultó fundamental la planificación e incorporación de una rotación de cultivos compuesta por abono verde, leguminosa y hortaliza. Este manejo, ha permitido incorporar nitrógeno mediante la fijación simbiótica con rizobios y materia orgánica mediante la incorporación de rastrojos. Además de disminuir los problemas de plagas y de enfermedades, cortando los ciclos biológicos.

En la evaluación de fertilizantes foliares se hizo una primera experiencia sobre rendimientos de repollo. Se observó que bajo las condiciones del secano existe respuesta a la aplicación de dos productos orgánicos, los resultados se presentan en la Figura N° 50.

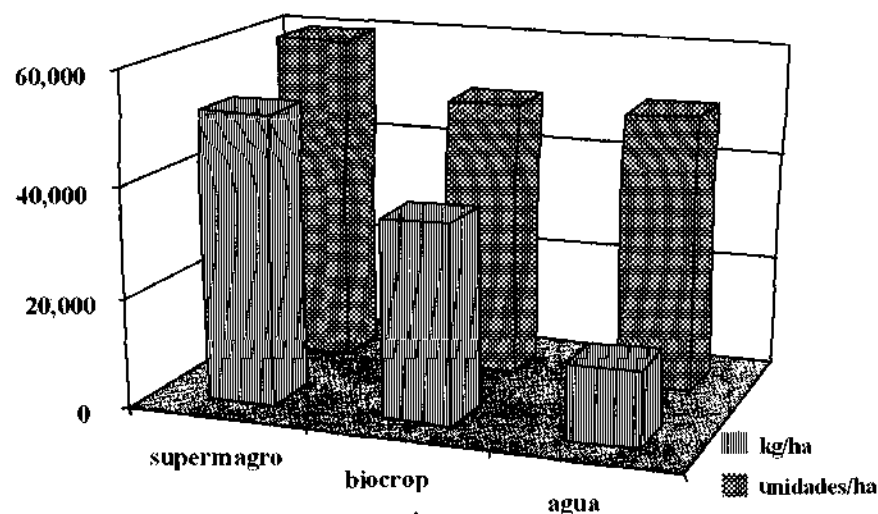


Figura N° 50. Rendimiento de repollo.

Leguminosas

Las leguminosas cumplen múltiples propósitos, tales como la cosecha del grano, la incorporación de nitrógeno gracias a la asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno, la incorporación de materia orgánica con los rastrojos, los que también se utilizan como alimento de ganado y el establecimiento de ellas para abono verde.

Los abonos verdes más comunes son vicia, vicia/avena, lupino, arvejas, son cultivos que se siembran con el fin de ser incorporados en floración al suelo para aumentar la materia orgánica del mismo. Los rendimientos de vicia en las condiciones de secano son variables, en una evaluación realizada el año 1997 en la Central del CET se obtuvo 13 ton/ha de materia fresca.

En el Cuadro N° 42 se presentan los rendimientos obtenidos en predio orgánico de CET y los que se obtienen en la zona tradicionalmente.

Cuadro N° 42. Rendimientos de leguminosas bajo tecnología orgánica (ton/ha).

	Rendimientos	
	Obtenidos	locales*
Garbanzo	1,2	1,0
Chícharo	1,45	1,05
Lenteja	1,1	0,8
Arveja	1,2	1,5
Haba	7,0	7,0
Frejol	0,9	1,2

*Rendimientos obtenidos históricamente en la zona

Frutilla

El cultivo de la Frutilla es una innovación importante para el secano, con el objetivo de mejorar los ingresos y disminuir la aplicación de pesticidas el CET ha evaluado los rendimientos de frutilla organica. La producción se basa en la aplicación de las técnicas ya descritas para mejorar las condiciones de suelo y en la plantación asociado con ajo. Se evaluaron los rendimientos de ajo y frutilla en policultivo y monocultivo, y la incidencia de enfermedades en frutillas. Los resultados se presentan en la Figura N° 51.

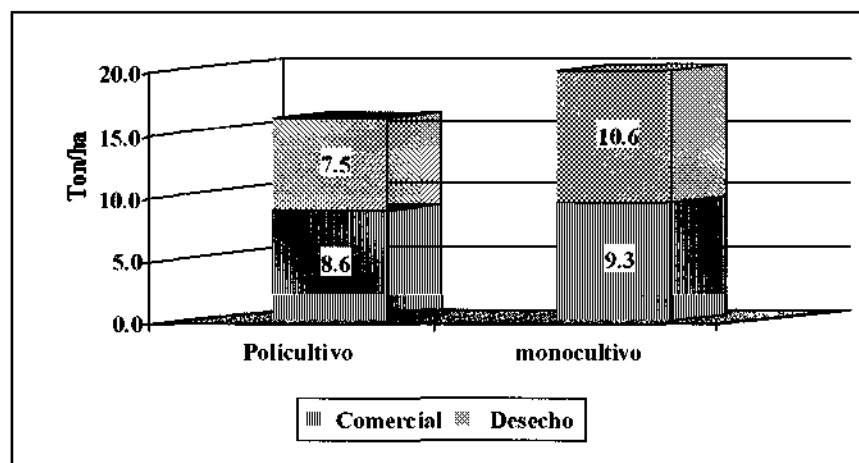


Figura N° 51. Producción de frutilla en monocultivo y en policultivo con ajo.

Existen otras experiencias de producción organica con bastante potencial pero aun poco cuantificadas. Dentro de ellas esta la producción de cerezas orgánicas exportadas durante la temporada anterior a EE.UU. El grupo de cerezeros orgánicos de Yumbel usa fertilización en base a compost, aplicación de supermagro y guano rojo. Controla enfermedades via garlic (producto comercial) y caldo bordelés. Entre hilera siembra vicia y el control de malezas es mecánico

La producción de trigo orgánico no tiene mayores dificultades, es necesario mantener los niveles de fertilidad y el control de enfermedades por medio de una adecuada rotación basada en leguminosas, el uso de semillas locales da mayor seguridad. También se esta trabajando en la producción de miel y subproductos, siendo el control de la varroa su principal dificultad. Se estan utilizando con bastante éxito especies como ruda, quillay y otras nativas. Debe considerarse un distanciamiento de 3 km de cualquier fuente de contaminación, para poder ser certificada como orgánica. Pueden tener alto potencial el vino, las mermeladas y conservas, especies de recolección o silvestres como mosqueta, hierba de San Juan, etc.

9.4. PERSPECTIVAS DE MERCADO

En la actualidad existe en el mercado externo una creciente demanda de productos agrícolas orgánicos, debido a la conciencia que se ha adquirido con relación a los riesgos a la salud por el consumo de productos agrícolas con residuos tóxicos. Todos los agentes de comercialización están de acuerdo en que en la actualidad la demanda supera ampliamente la oferta de productos orgánicos.

Las exportaciones de diversos alimentos orgánicos de Chile han llegado a Estados Unidos, Europa y Japón, obteniendo sobreprecios con relación a los convencionales. Por ejemplo, en la última temporada, productos chilenos como espárragos, alcanzaron sobreprecio de un 26% y kiwis un 53% en el mercado externo. La Comunidad Europea está dispuesta a aumentar su consumo durante la década del 90 de un 2% a un 20% en productos orgánicos, del total de los productos agrícolas que allí se comercializan. Los precios siempre superan en un 25% a su similar procedente de la agricultura química. A su vez, en Estados Unidos el mercado para los productos orgánicos está aumentando considerablemente. Se estima que el 5% de la población está muy interesado en los productos orgánicos y esta cifra podría aumentar.

La experiencia de productores pequeños en comercialización exterior de productos orgánicos ha sido efectuada con pimentones, leche, legumbres, arveja congelada, cerezas, entre otros. Además ya se realizó una serie de contactos con empresas comercializadoras las cuales han solicitado legumbres, cereales, frutas frescas, deshidratadas y en conservas, hierbas medicinales, miel, hortalizas, etc.

La implementación de la agricultura orgánica comercial en el área del secano, para consumo interno apunta a satisfacer la preferencia de los consumidores por consumir alimentos más sanos, frescos y sabrosos que los provenientes de otras regiones, por lo tanto espera mejorar la comercialización más que obtener un sobreprecio, como en el caso del mercado externo.

En el área de Yumbel se ha comprobado el interés del mercado interno por los productos orgánicos, debido a que desde hace 6 años se realiza anualmente la "Muestra campesina", que reúne a 80 expositores, teniendo una fuerte oferta de productos orgánicos. Se calcula que aproximadamente 4.000 personas visitan y compran anualmente en esta exposición.

9.5. IMPACTO ECONÓMICO

Al evaluar el impacto de la producción orgánica en predios minifundistas, es posible concluir que el uso adecuado del espacio con manejo orgánico es más eficiente, desde el punto de vista económico y medioambiental, que el tradicional de la zona. Esto se demuestra en el Cuadro N° 43.

Cuadro N° 43. Estudio económico El Pajal, 1995.

	Unidad de medida	Producción del Entorno	Producción en Mediería
Superficie	m ²	600	45.000
Producción	Kg.	3.000	5.200
Alimento disponible	Kg.	3.000	2.700
Ingreso	US\$	2.138	1.230
Mano de Obra	Hrs semanal	30	70
Valor hora	\$	500	126
Aporte Nutricional	%	60 calorías 100 resto	30 calorías 100 resto

A través de los años, se van incorporando diferentes procesos que superan al autoconsumo, los cuales van desde la comercialización de excedentes en la comunidad hasta otros sistemas de comercialización más complejos (ferias locales, muestra campesina, quioscos, etc.) lo que genera nuevos niveles de ingreso para la familia campesina y crecientes grados de organización. Este proceso se presenta en la Figura N° 52.

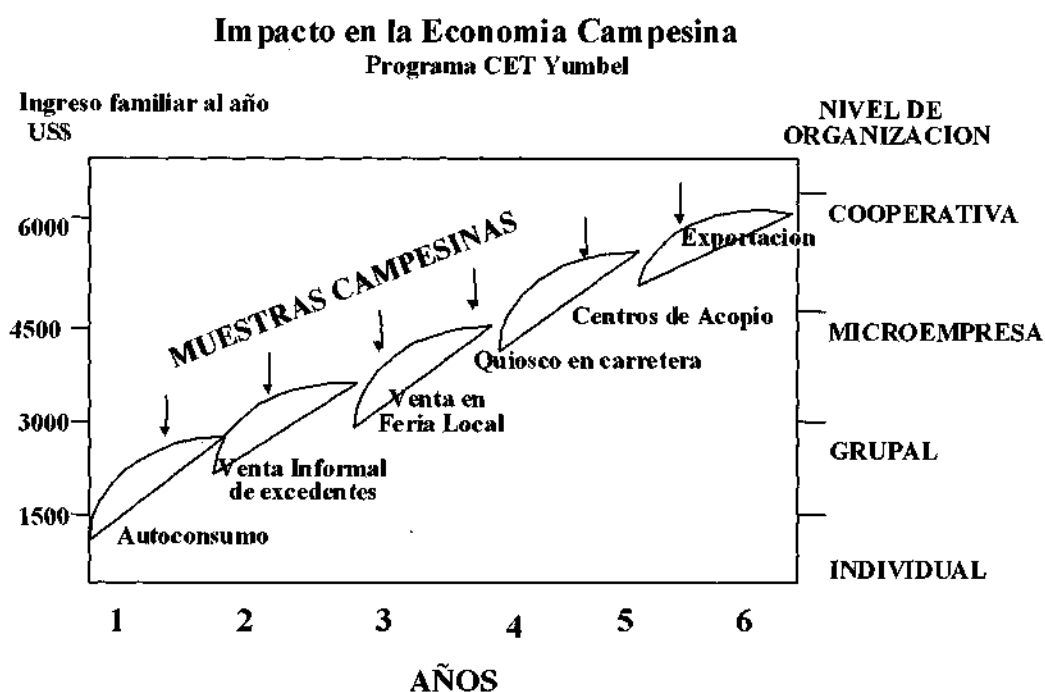


Figura N° 52. Estudio de impacto en la economía campesina, Yumbel, 1997.

CAPÍTULO 10

Establecimiento y manejo de viñedos modernos en el secano interior centro sur de Chile.



Juan Pedro Sotomayor Soler
Ingeniero Agrónomo, Enólogo
cauquene@quilamapu.inia.cl

10. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DE VIÑEDOS MODERNOS EN EL SECANO INTERIOR CENTRO SUR DE CHILE

10.1. INTRODUCCIÓN

La vitivinicultura nacional ha experimentado cambios drásticos entre 1985 y 1997; es así, como la superficie de viñedos destinados a la producción de vinos en el año 1985 era de 67.132 hectáreas, las cuales se redujeron en 1993 a 53.093 hectáreas y a partir de este año comenzó un crecimiento sostenido de las plantaciones para situarse en 63.550 hectáreas en el año 1997; sin embargo, esta superficie es inferior en un 5% a la de 1985 (SAG, Catastro Vitícola Nacional).

Las regiones más importantes en relación a la superficie de vides plantadas para la producción de vino son la VII y VIII; ambas, con una superficie similar en 1985 (27.355 y 27.600 hectáreas, respectivamente; representando el 81,9% de la plantación nacional; sin embargo, en 1993 solo representaban el 73% y en 1997 el 65,9%. Esta baja es dada principalmente por la disminución de los viñedos en la VIII región que alcanza para 1997 un 53% respecto a la superficie que existía en esta región en 1985. Esta disminución no es compensada por el aumento de un 6% registrado en la VII región para el mismo periodo. Por otro lado, es importante indicar que entre los años 1985 y 1997 las plantaciones en la V región, Región Metropolitana y VI región crecieron 381%, 81% y 65%, respectivamente. En la V región este gran crecimiento se debe casi exclusivamente al desarrollo del Valle de Casablanca. (SAG, Catastro Vitícola Nacional).

En relación a la distribución nacional de las diferentes variedades de vid destinadas a la producción de vino, estas han disminuido entre 1985 y 1997 en un 5% los cultivares blancos (24.964 a 23.718 hectáreas) y en un 6% los cultivares tintos (42.175 a 39.799 hectáreas). Los cultivares blancos que más han disminuido en el periodo señalado son: Semillón (61%) y Moscatel de Alejandría (36%); esta última, cultivada especialmente en la VIII región. La reducción de superficie de estas dos variedades en conjunto alcanzó a 7.143 hectáreas. En relación a los cultivares tintos que disminuyeron fuertemente en este periodo destaca País, con un 48%; representando 14.143 hectáreas menos. Esta variedad se concentra fundamentalmente en el Secano Interior de la VII y VIII región. (SAG, Catastro Vitícola Nacional).

Por otro lado, entre 1985 y 1997 las variedades blancas que más aumentaron fueron: Chardonnay con 2.173% (245 a 5.563 hectáreas) y Sauvignon 33% (4.961 a 6.576 hectáreas). Para los cultivares tintos destacan los aumentos de superficie de: Cabernet Sauvignon con 97% (8.134 a 15.995 hectáreas) y Merlot con 441% (1.000 a 5.411 hectáreas). Estas son las principales variedades en relación a la superficie que ellas representan; sin embargo, es importante señalar que hay otras variedades que porcentualmente han crecido, pero que su superficie por el momento no es relevante en comparación a las indicadas. Estas son principalmente variedades tintas, como: Pinot Negro o Malbec con 301% (103 a 411 hectáreas) y las siguientes que solo aparecen en el catastro de 1997, Carménère (330 hectáreas), Syrah (201 hectáreas), y Cabernet Franc (64 hectáreas), principalmente. (SAG, Catastro Vitícola Nacional).

De lo señalado, es importante indicar que en general los cultivares que disminuyeron corresponden a los productores de vinos corrientes, lo que se contrasta con los cultivares que aumentaron su superficie que corresponden a productores de vinos de calidad y que constituyen la base exportable del país; constituyéndose en la respuesta lógica del sector hacia este mercado principalmente.

Las exportaciones de vino entre 1991 y 1997 crecieron en un 243% (64.764.147 a 222.088.145 litros); estacándose la exportación de los vinos con Denominación de Origen que crecieron en 235% (30.699.354 a 102.991.714 litros); los precios promedios para este segmento de vinos aumentó en 39% para el mismo periodo (US\$ 1,87 a US\$ 2,61 por litro), que es el valor más alto de los vinos exportados junto con los espumosos. (Banco Central).

Para regular la producción de vinos con Denominación de Origen, está en vigencia desde 1995 el Decreto 464 que establece la Zonificación Vitícola y fija las normas para su utilización. En dicho Decreto, se establecen regiones, subregiones, zonas y áreas vitivinícolas, indicando además, los cultivares que pueden acceder a esta denominación.

Para el establecimiento de viñedos modernos productores de uva para vinos de calidad que puedan acceder a la Denominación de Origen (Decreto 464), se debe tener siempre presente: La elección de la variedad; las características agroclimáticas donde se cultivará esta; la tecnología que se utilizará para la producción de la uva y la tecnología a emplear en la transformación de la uva en vino y su posterior conservación, envejecimiento (si corresponde) y envasado.

10.2. ELECCIÓN DE LA VARIEDAD

El éxito en el establecimiento de un viñedo moderno radica en primer lugar en la correcta elección de la variedad: En el mundo existen alrededor de 15.000 variedades de uva para vino; de las cuales, solo 50 son significativas (Costa, 1998). En Chile, las variedades para la obtención de vinos que se incluyen en el Decreto 464 son:

Variedades Blancas		Variedades Tintas	
Chardonnay	Riesling	Cabernet Franc	Petit Verdot
Chenin Blanc	Sauvignon	Cabernet Sauvignon	Pinot Gris
Gewurztraminer	Sauvignon Blanc	Cot	Pinot Noir
Moscatel de Alejandria	Semillón	Merlot	Sangiovese
Moscatel Rosada	Torontel	Mouvedre	Syrah
Pinot Blanc	Viognier		Zinfandel

De las variedades indicadas hay algunas de probado reconocimiento para la obtención de vinos de alta calidad, como: Chardonnay, Riesling y Sauvignon Blanc, entre las blancas, y Cabernet Sauvignon, Merlot, Syrah y Pinot Noir, entre las tintas.

Las variedades productoras de vinos de calidad más abundantes en el mundo son: Cabernet Sauvignon (160.000 hectáreas), Merlot (120.000 hectáreas) y Riesling (75.000 hectáreas). (Costa, 1998).

En este sentido la elección de la variedad a plantar se puede enfocar bajo dos puntos de vista: La elección de variedades de reconocimiento probado en los mercados y/o la elección de nuevas variedades con alto potencial, que vendrían a diversificar la oferta de vinos y que tendrían que posicionarse favorablemente en el mercado.

En relación a las variedades productoras de vinos blancos con reconocimiento probado en los mercados; por el momento no parece adecuado aumentar la superficie con nuevas plantaciones de Sauvignon Blanc, debido a que Chile tiene el 24,6% de la superficie mundial con este cultivar y sus vinos a este nivel presentan un estancamiento importante en su demanda (Costa, 1998; Pszczółkowski, 1998): En el caso de Chardonnay, la participación Chilena en la superficie mundial alcanza a un 9% (Costa, 1998), pero aún continúa existiendo un nicho para nuevas plantaciones, por la reconocida calidad de los vinos obtenidos de este cultivar. En relación a Riesling, Chile participa en un 0,4% de la superficie mundial (Costa, 1998) y los vinos provenientes de este cultivar se asocian generalmente a los producidos en Alemania, razón por la cual nuevas plantaciones a nivel nacional no parecen adecuadas, aunque en nuestro país se utiliza para la producción de espumosos.

Respecto a las variedades productoras de vinos tintos con reconocimiento probado en los mercados; Cabernet Sauvignon ocupa la mayor superficie con vides tintas del país y representa el 8,1% de la superficie mundial con este cultivar; las plantaciones en Chile se han prácticamente duplicado entre 1985 y 1997, y debido a la reconocida calidad de sus vinos y a las propiedades antioxidantes de los vinos tintos en general, se continuará plantado; situación similar ocurre con Merlot, que representa el 2,6% de la superficie mundial con este cultivar (Costa, 1998). En relación a Syrah y Pinot Noir, ambas producen vinos muy interesantes y la participación de Chile en la superficie mundial con estos cultivares es muy baja, pero sus plantaciones pueden ser interesantes si se ubican en las condiciones agroecológicas adecuadas.

En cuanto a nuevas variedades blancas con alto potencial, contempladas en el Decreto 464 y con poco desarrollo en Chile se tiene: Gewurztraminer, productora de vinos de aroma muy característico y Viognier, que produce vinos muy aromáticos, complejos y de gran calidad.

En variedades tintas con alto potencial, contempladas en el Decreto 464 y con poco desarrollo en Chile se tiene a: Cabernet Franc, Cot o Malbec y Carménère aunque no está incluida en el Decreto 464, por el momento; se le reconocen características sobresalientes al vino. Existen otros cultivares que producen potencialmente vinos de menor calidad que los mencionados, como. Mouvedre, Sangiovese y Zinfandel.

Como una consideración final, independiente de la variedad seleccionada, es importante asegurarse de la pureza varietal, situación que cada día esta siendo exigida con mayor rigurosidad por parte de las empresas que compran la materia prima o que los vinos que se vendan correspondan al cultivar que les dio origen.

10.3. ELECCIÓN DEL ÁREA AGROCLIMÁTICA

Si bien es cierto que el éxito para la obtención de un vino de calidad radica fundamentalmente en la elección del cultivar adecuado, estos no tienen el mismo comportamiento en diferentes áreas agroecológicas; a pesar que la vid crece y puede llegar a producir en una amplia gama de suelos, climas y condiciones topográficas comprendidas fundamentalmente en Chile entre los paralelos 28°55' y 36°30' de latitud sur y la cordillera de los Andes y de la Costa.

En este sentido en Chile no existen estudios acabados para sustentar una Denominación de Origen de los vinos, puesto que lo que se señala en el Decreto 464, es mas bien una Denominación de Procedencia que indica solo el origen geográfico de los vinos, sin señalar su calidad, la cual es parte de la Denominación de Origen.

El Secano Interior de la VII y VIII región se caracteriza por: la concentración de la pluviometría en los meses de mayo, junio y julio registrándose en estos meses el 60% de las precipitación anual; el periodo libre de heladas, se extiende desde mediados de octubre hasta mediados de abril; la máxima radiación solar se presenta en los meses de diciembre y enero y es alrededor de 600 cal/cm²/día; la temperatura media de los meses de invierno (junio, julio y agosto) son mayores a 8 °C, lo que hace que los inviernos no sean tan rigurosos; en el periodo estival las temperaturas medias máximas del mes mas caluroso (enero) varían entre 28,8 y 31,6 °C. Los suelos pertenecen a tres tipos principales: derivados de rocas graníticas, derivados de rocas metamórficas y argílicos provenientes de sedimentos lacustres; en relación a la fertilidad de los suelos los principales elementos limitantes son el contenido muy bajo de materia orgánica (< 2%) y los bajos contenidos de nitrógeno (< 20 ppm), fósforo disponible (< 8 ppm), potasio (0,4 meq/100 g) y boro, que están relacionados al crecimiento de las vides en el área.

Estas condiciones sin lugar a dudas son muy favorables para el crecimiento de la vid, constituyéndose en la limitante más importante la falta de agua durante el periodo de crecimiento vegetativo, que coincide con el periodo de menores precipitaciones; por lo que, para asegurar el crecimiento de esta especie y especialmente de los cultivares productores de uva para vinos de calidad, es necesario contar con agua de riego.

Los cultivares señalados en la elección de la variedad, contempladas en el Decreto 464 y que pueden ser una alternativas de plantación, tienen cabida en el área del Secano Interior; donde, se deben reservar las áreas con influencia marítima para la plantación de las variedades blancas principalmente (Chardonnay, Gewurztraminer y Viogner) y variedades tintas como Pinot Noir.

10.4. PLANTACIÓN DEL VIÑEDO

El cultivo de la vid se puede ver seriamente afectado en su crecimiento y producción si en la elección del terreno a plantar no se toma en cuenta lo siguiente:

Topografía. Prácticamente no presenta problemas del punto de vista de la plantación, pero si condiciona el sistema de conducción y riego a implementar, como el sistema de manejo.

Profundidad del suelo. Esta debe ser superior a 70 centímetros y no presentar estratas cementadas (toscas).

Drenaje. Debe tener buen drenaje, con ausencia de napa freática superficial. De existir, es necesario considerar antes de la plantación, la habilitación del terreno construyendo un buen sistema de drenaje.

Agua. Disponer de agua para riego durante todo el ciclo vegetativo de la vid (septiembre a marzo).

Sanidad. Determinar la presencia de nemátodos, especialmente en suelos arenosos que han sido utilizados para en el cultivo del ají, tomate, pimiento, sandías, melones, entre otros.

En la elección del terreno para el establecimiento de viñedos en el Secano Interior, la disponibilidad de agua para riego será la principal condicionante de la superficie a plantar.

La distancia de plantación a elegir dependerá fundamentalmente del sistema de conducción que se elija. Si bien es cierto, existen muchos sistemas de conducción; para las condiciones del Secano Interior dos son los mas recomendados: Espaldera simple y Doble Cruceta.

La elección del sistema de conducción estará condicionado primero, por el tipo de cosecha de la uva que se va a emplear y segundo, por el tipo de topografía del terreno elegido. Si la cosecha se realizará en forma mecanizada se deberá utilizar el sistema de conducción en espaldera y si se realiza en forma manual se pueden utilizar cualquiera de los dos sistemas, privilegiándose el sistema de doble cruceta. En relación a la topografía en pendientes pronunciadas o cuando se presentan irregularidades leves, el sistema de conducción en espaldera es mas dúctil que el de doble cruceta.

Si el sistema de conducción elegido es la espaldera simple la distancia entre hileras debe variar entre 2,8 y 3,0 metros, con las plantas a 50 centímetros sobre la hilera; si es doble cruceta, la distancia entre hileras debe ser de 3,5 a 4,0 metros (por el espacio que ocupan las crucetas), con las plantas a 25 centímetros sobre la hilera.

El sistema de poda a utilizar prácticamente en todas las variedades es el cordón apitonado de un largo máximo de 50 centímetros (Lavín y Sotomayor, 1991), esta es la razón de plantar sobre la hilera a 50 y 25 centímetros en los sistemas de conducción en espaldera y doble cruceta respectivamente.

La plantación propiamente tal se debe realizar entre los meses de agosto a septiembre, con plantas arraigadas provenientes de vivero, realizando una fertilización base con fósforo y potasio ubicado en el fondo del hoyo o zanja de plantación, terminando con un riego para colocar en íntimo contacto las raíces con el suelo, para lo cual el sistema de riego seleccionado (goteo, microjet o cinta) debe estar operando.

El sistema de conducción seleccionado se debe instalar inmediatamente después de la plantación, para permitir el adecuado manejo de conducción y formación de las plantas durante el primer año.

10.5. MANEJO POST PLANTACIÓN DEL VIÑEDO

En el manejo post plantación y hasta el primer invierno se deben tener los siguientes cuidados:

Podas. Una vez terminada la plantación se podan las plantas dejando dos yemas. Posteriormente y con el objetivo de tener un buen crecimiento pero concentrado en determinadas partes de la planta, se recurre a la poda en verde eligiendo el mejor brote, teniendo en cuenta su vigor, ubicación y dirección, de tal manera que constituya la prolongación natural del pequeño tronco ya existente.

Riegos. Durante el primer año los riegos deben ser frecuentes y ligeros debido al escaso desarrollo radicular. También es importante considerar el tipo de suelo en esta práctica.

Fertilización. Fundamentalmente hay que aplicar nitrógeno que es el elemento que más estimula el crecimiento vegetativo. Este debe ser aplicado en pequeñas cantidades y en forma repetida durante toda la temporada de crecimiento.

Sanidad. Siempre una planta sana crecerá mejor que una enferma. En el Secano Interior el principal problema es el Oidio (*Uncinula necator*), su prevención no es difícil si se es constante y cuidadoso. El azufre sigue siendo un buen preventivo de esta enfermedad. Otro problema puede ser la Falsa Araña Roja de la Vid (*Brevipalpus chilensis*) y a partir de la última temporada hay que tener presente el Mildiú (*Plasmopara viticola*), especialmente cuando las primaveras son lluviosas.

Malezas. Estas deben ser eliminadas, especialmente sobre la hilera, pues estarán permanentemente usando el agua y fertilizantes destinados al crecimiento de las plantas de vid. En esta etapa de establecimiento la eliminación manual o mecánica es la más apropiada.

Amarra. Para guiar el brote seleccionado en la poda en verde al alambre acerado del sistema de conducción se utiliza una cinta plástica a la cual se va amarrando permanentemente el brote elegido para aprovechar todo el potencial de crecimiento de la planta en el primer año de plantación.

La meta que se debe alcanzar en el año de establecimiento; es que, todas las plantas lleguen al primer alambre de conducción (alambre acerado). Si en esta etapa, el brote que se seleccionó para concentrar el crecimiento no permitió formar la planta, estas deben podarse a dos yemas (volver la planta a dos yemas) en la poda de invierno, para reintentar el proceso en la temporada siguiente,

con una planta que dispone de un mejor sistema radicular y ambientada a su lugar definitivo. Las plantas que se encuentran en esta situación, deben ser manejadas del punto de vista de la poda en verde y amarra descritos.

10.6. MANEJO DE PRODUCCIÓN DEL VIÑEDO

Sistema de poda. Existen diferentes sistemas que se agrupan de acuerdo a los elementos que se dejan como cargadores, en largos, cortos y mixtos. De acuerdo a los antecedentes que dispone el INIA en Cauquenes, se recomienda la poda en cargadores cortos, en cordón, denominado Cordón Apitonado que puede ser unilateral o bilateral, con 2 o 3 yemas por pitón. Escaparían a este sistema los cultivares Viogner, y Carménère, los cuales se adaptan mejor a una poda con cargadores largos (Pszczółkowski, 1998).

Fertilización. La mejor manera de saber si las plantas están bien fertilizadas, es midiendo directamente el contenido de elementos en los tejidos de ellas, por la técnica del análisis foliar, que es una excelente herramienta para tomar la decisión correcta.

Si bien es cierto la vid no es muy exigente en nutrientes, hay que tener presente las necesidades de nitrógeno, potasio y boro especialmente; de los cuales una dosis razonable de estos fertilizantes le basta para producir bien. Además, se logra un mejor aprovechamiento del nitrógeno aplicándolo parcializado durante toda la temporada de crecimiento.

Riego. El riego en un viñedo en producción debe realizarse de manera tal que la planta reciba el agua suficiente para tener una cantidad de follaje que permita madurar bien toda la fruta que se deje.

En este sentido, a principios de la temporada es conveniente estimular el crecimiento de los brotes para tener pronto una buena masa de hojas, por lo tanto, es muy importante regar bien hasta la floración y cuaja; posteriormente, limitar con precaución los riegos, para tener uvas de buena calidad.

Malezas. Las malezas deben ser controladas, puesto que estarán permanentemente usando el agua y fertilizantes destinados a las vides. Para las condiciones del Secano Interior es fundamental controlarlas sobre la hilera, que es donde se localiza el riego.

Para su control existen varias alternativas: manual, mecánica y química. El control manual aunque laborioso y caro, es útil cuando las plantas están nuevas y los otros métodos puedan causarles daño. Con el control mecánico se debe tener cuidado de no dañar las plantas. El control químico, es recomendable realizarlo en viñedos en producción, en plantas con tronco alto y despejado de brotes; el tipo de herbicida a utilizar dependerá principalmente del tipo de malezas presentes y de la época de su aplicación.

Sanidad. En el Secano Interior, el crecimiento, producción y calidad de la fruta se puede ver afectada por dos problemas principales: el Oídio (*Uncinula necator*) y la Falsa Araña Roja de la Vid (*Brevipalpus chilensis*). Otros problemas que afectan el cultivo de la vid con menor incidencia son la Botrytis (*Botrytis cinerea*) y el Mildiú (*Plasmopara viticola*), especialmente en primaveras lluviosas.

Algunos cultivares presentan una mayor susceptibilidad a los problemas sanitarios indicados que otras, a sí se tiene:

... *Susceptibles a Oídio:* Chardonnay y Cabernet Franc.

... *Susceptibles a Botrytis:* Sauvignon Blanc, Riesling, Pinot Noir, Syrah, Cabernet Franc y Zinfandel.

Susceptibles a la Falsa Araña Roja de la Vid: Riesling, Cabernet Sauvignon y Carménère (Pszczółkowski, 1998).

Susceptibles a Mildiú: Carménère (Pszczółkowski, 1998).

10.7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realizó un análisis económico con un horizonte de 10 años, utilizando dos variedades: una fina, Cabernet Sauvignon y otra corriente, País.

El cultivar Cabernet Sauvignon se analizó en dos sistemas de conducción: espaldera simple plantada a 2,8 metros entre hileras por 0,5 metros sobre la hilera (7.143 plantas por hectárea); y doble cruceta plantada a 4,0 metros entre la hilera por 0,25 metros sobre la hilera (10.000 plantas por hectárea), con planta enraizada en ambos sistemas de conducción. El cultivar País plantado en cabeza a 1,4 metros sobre y entre la hilera (5.100 plantas por hectárea), directamente de estaca.

El análisis se realizó por hectárea plantada en cada caso y se resume en el Cuadro N° 44, donde se indican las producciones y el precio de venta de la uva, cuyo producto es el **Ingreso Total**.

Como **Inversión Inicial** para el cultivar Cabernet Sauvignon, en ambos sistemas de conducción, se consideró: Plantas, estructura de conducción, instalación riego por goteo, mano de obra, fertilizantes, agroquímicos, fletes, gastos varios e imprevistos (5%). Para el cultivar País se consideró: Las estacas, tutores, gastos varios e imprevistos (5%).

Como **Costo de Operación** para el cultivar Cabernet Sauvignon, en ambos sistemas de conducción, se consideró: Mano de obra, tratos para la cosecha, fertilizantes, agroquímicos, fletes, comisión venta uva, gastos varios e imprevistos (5%). Para el cultivar País se consideró: Mano de obra, fertilización con nitrógeno, aplicación de azufre, flete de uva, gastos varios e imprevistos (5%).

El mejor resultado económico se obtiene para estas condiciones con Cabernet Sauvignon plantado a una densidad de 10.000 plantas por hectárea y conducido en doble cruceta; donde, el VAN es positivo (\$10.079.105, al 12%) y el TIR de 48,92% y el peor resultado es con el cultivar País cuyo VAN es negativo (- \$ 549.550, al 12%) y no tiene TIR; un resultado intermedio se obtiene con el cultivar Cabernet Sauvignon aon una densidad de 7.143 plantas por hectárea y conducido en espaldera, donde el VAN es positivo (\$ 5.246.608, al 12%) y un TIR de 35,65%).

Además, en el Cuadro N° 44 se observa que el **Flujo Acumulado** se torna positivo para Cabernet Sauvignon en espaldera al quinto año, para Cabernet Sauvignon en doble cruceta al cuarto año y para País al décimo año, aún, continúa siendo negativo.

Cuadro N° 44. Análisis económico establecimiento de vides (por hectárea).

CABERNET SAUVIGNON EN ESPALDERA SIMPLE

(7.143 plantas/hectárea - 2,8 x 0,5 metros)

	AÑO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilos/Hectárea	-	2.000	6.000	12.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
\$/Kilo	-	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Ingreso Total	-	520.000	1.560.000	3.120.000	3.900.000	3.900.000	3.900.000	3.900.000	3.900.000	3.900.000
Costo operación	-	510.785	561.323	735.883	797.003	797.003	797.003	797.003	797.003	797.003
Utilidad antes impuesto	-	9.215	998.677	2.384.117	3.102.997	3.102.997	3.102.997	3.102.997	3.102.997	3.102.997
Impuesto	-	(1.382)	(149.802)	(357.618)	(465.450)	(465.450)	(465.450)	(465.450)	(465.450)	(465.450)
Inversión inicial	3.409.999									
Reinversión										3.409.999
Flujo	(3.409.999)	7.833	848.875	2.026.499	2.637.547	2.637.547	2.637.547	2.637.547	2.637.547	6.047.546

CABERNET SAUVIGNON EN DOBLE CRUCETA
(10.000 plantas/hectárea - 4,0 x 0,25 metros)

	AÑO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilos/Hectárea	-	3.000	8.000	16.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
\$/Kilo	-	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Ingreso Total	-	780.000	2.080.000	4.160.000	5.200.000	5.200.000	5.200.000	5.200.000	5.200.000	5.200.000
Costo operación	-	620.233	605.812	994.148	898.853	898.853	898.853	898.853	898.853	898.853
Utilidad antes impuesto	-	159.765	1.474.188	3.165.852	4.301.147	4.301.147	4.301.147	4.301.147	4.301.147	4.301.147
Impuesto	-	(23.965)	(221.128)	(474.878)	(645.172)	(645.172)	(645.172)	(645.172)	(645.172)	(645.172)
Inversión inicial	4.212.674									
Reinversión										4.212.674
Flujo	(4.212.674)	183.730	1.695.316	3.640.730	4.946.319	4.946.319	4.946.319	4.946.319	4.946.319	4.946.319

PAÍS EN CABEZA
(5.100 plantas/hectárea - 1,4 x 1,4 metros)

	AÑO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kilos/Hectárea	-	-	250	750	1.500	2.500	4.000	4.000	4.000	4.000
\$/Kilo	-	-	90	90	90	90	90	90	90	90
Ingreso Total	-	-	22.500	67.500	135.000	225.000	360.000	360.000	360.000	360.000
Costo operación	-	215.670	217.403	231.261	248.318	271.061	305.175	305.175	305.175	305.175
Utilidad antes impuesto							54.825	54.825	54.825	54.825
Impuesto							(8.224)	(8.224)	(8.224)	(8.224)
Inversión inicial	285.285									
Reinversión										285.285
Flujo	(285.285)	(215.670)	(194.903)	(163.761)	(113.318)	(46.061)	46.601	46.601	46.601	331.886

10.8. LITERATURA CITADA

- COSTA, V. 1998.** La vitivinicultura mundial frente a la situación chilena y proyecciones. En Tópicos de actualización en vitivinicultura y enología. Pontificia Universidad Católica de Chile. 210-231.
- LAVIN, A. y SOTOMAYOR, J. P. 1991.** Sistemas de poda de producción en vides cv. Cabernet Sauvignon y sus efectos sobre crecimiento, productividad y algunas características del vino. IV Jornadas Vitivinícolas. Fundación Chile. Santiago. 140-152.
- LAVIN, A. y SOTOMAYOR, J. P. 1994.** Situación actual y perspectivas de la vitivinicultura y de la fruticultura. En La Agricultura del secano Interior. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 117-148.
- LAVIN, A., SOTOMAYOR, J. P., CABAS, N. y RUIZ, C. 1993.** Manejo de viñedos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Quilamapu N° 44. 23 p.
- PSZCZOLKOWSKI, PH. 1998.** Encepado de vides finas de Chile: Problemática y diversificación. En Tópicos de actualización en vitivinicultura y enología. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2-14.
- SAG.** Catastro Víticola.
- SOTOMAYOR, J.P., LAVIN, A., CABAS, N. y RUIZ, C. 1993.** Plantación de viñedos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie Quilamapu N° 43. 27 p.

CAPÍTULO 11

Investigación y transferencia tecnológica de leguminosas de grano en el secano costero e interior de las regiones del Maule y Bío-Bío.



Juan Tay Urbina
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.
jtay@quilamapu.inia.cl

11. INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE LEGUMINOSAS DE GRANO EN EL SECANO COSTERO E INTERIOR DE LAS REGIONES DEL MAULE Y BÍO-BÍO

11.1. INTRODUCCIÓN

En el secano interior en suelos de lomajes con diferentes grados de erosión y de baja fertilidad, los agricultores siembran en otoño e invierno (abril-mayo) principalmente lentejas y arvejas para vaina verde. Las siembras normalmente se hacen al voleo con preparación de suelo con arado de vertedera o a pelo de hierba, es decir sobre el rastrojo de trigo. El uso de insumo tales como fertilizantes y herbicidas es más bien escaso, bajo éstas condiciones los rendimientos son bajo, 4 a 6 qq/ha en lenteja y 1000 a 1500 kg/ha en arveja verde y de 7 a 14 qq/ha, para arveja grano seco. Las comunas que se destacan por la producción de éstas leguminosa son en la región del Maule, Curepto y Chanco y en la región del Bio-Bio, San Nicolás, Ninhue, Portezuelo y Trehuaco.

En el secano costero, además de los cultivos señalados para el secano interior, tenemos garbanzo, chícharo y poroto en suelos de vegas, con siembras en primavera. La comuna de Curepto, se destaca por la producción de garbanzo, chícharo y lenteja en suelos de vega, Chanco, por la producción de chícharo y la mayoría de las comunas de la provincia de Arauco por la producción de arveja y poroto. En ambas regiones agroecológicas está presente el cultivo del haba para vaina verde, en pequeña escala, pero que sin embargo en los últimos 3 años, esta tomando importancia debido a que se cosecha más temprano y menor incidencia de enfermedades que en el valle central, siendo este factor de interés para la agroindustria.

El presente trabajo entrega resultados de investigaciones y difusión, realizadas por CRI-Quilamapu, en alguna comuna del secano interior y costero de las regiones del Maule y Bío-Bío.

11.2. MATERIALES Y MÉTODOS

11.2.1. Investigación

En los diferentes experimentos y demostraciones de fechas de siembras y evaluación de variedades se ha utilizado semilla inoculada con los rizobios específicos para cada cultivo, fertilización según el análisis de suelo con el P_2O_5 aplicado en el surco de siembra junto a la semilla en la forma de superfosfato triple. Las dosis de semilla utilizada son 80 kg/ha para lenteja, 120 kg/ha para arveja y chícharo, 150 kg/ha para garbanzo, 120 kg/ha para lupino blanco, 100 kg/ha para lupino australiano y 200 kg/ha para haba.

11.2.2. Transferencia Tecnológica

Los programas de difusión se basan en el uso de variedades de grano grande o precoces, sembradas bajo un sistema de producción INIA, basado en el uso de fertilizantes fosfatados, inoculación de la

semilla con rizobios y el uso de herbicidas de pre-emergencia. Siembra en hilera, con una separación de 40 a 50 cm entre hileras, y no más de 5 a 7 cm de profundidad de siembra. Para lograr ésta profundidad se ésta recomendando el uso del arado de palo o "chanchero" o cuando se usa el arado de vertedera, sembrar surco por medio y tapar con una rastra de clavo. La mayor separación entre hilera facilita el paso de cultivadores de tiro animal.

Garbanzo. Variedad Alfa-Inia

Dosis de semilla : 160 kg/ha. Semilla desinfectada con fungicida por vía húmeda.
Fertilización : 74 kg/ha de P_2O_5 , aplicado en el surco de siembra a la forma de superfosfato triple 50 kg/ha de N, aplicado al voleo después de la siembra
Herbicida : Simazina 2 kg/ha de p. c. aplicado de pre-emergencia
Insecticida : Piretroide 60 cc/ha, aplicado para el control de la cuncunilla de la vaina del garbanzo

Lenteja. Variedad SuperAraucana-Inia

Dosis de semilla : 80 kg/ha
Fertilización : 74 kg/ha de P_2O_5 , aplicado en el surco de siembra a la forma de superfosfato triple
Herbicida : Simazina 2 kg/ha de p.c. aplicado de pre-emergencia
Cebo : Para el control de babosa, en siembras de invierno

Programa de Difusión de Cultivos de Leguminosas a través de la entrega de Semilla de Calidad por el Sistema 2x1 en la provincia de Arauco.

Programa financiado con Fondo Nacionales de Desarrollo Regionales de la Intendencia de la región del Bío-Bío, que consiste en la entrega de semilla de calidad, a través del sistema 2x1 es decir al agricultor por ejemplo se le entregan 100 kg y el devuelve el doble de esa cantidad a la cosecha. Además se recomienda un sistema de producción similar al señalado para el programa anterior.

Mejoramiento de la calidad de las leguminosas de granos producidas en el secano costero a través de la introducción de variedades de grano grande. Este proyecto es financiado por el Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP, a través del subcomponente de investigación del Prodecop Secano y administrado por la Fundación para la Innovación Agraria, FIA. Este proyecto se inició el presente año.

11.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.3.1. Investigación

Comparación del rendimiento entre seis cultivos de leguminosas de grano

En el Cuadro N° 45, se presentan los resultados de un ensayo establecido en cuatro localidades del secano costero interior y costero, donde se comparan la adaptación y el potencial de rendimiento de seis leguminosas de granos sembradas en invierno (Tay, Paredes y France, 1994). En el secano interior (Cauquenes y Portezuelo), los cultivos que presentaron los mayores rendimientos fueron arveja y lupino correspondientes a 37 y 38 qq/ha en Cauquenes, y a 35 y 23 qq/ha en Portezuelo, respectivamente. Además, ambos cultivos se destacaron por una ausencia total de enfermedades foliares, produciendo semilla muy sana, libre de patógenos. En relación a la madurez de cosecha, ésta ocurre a fines de noviembre.

En las localidades del secano costero (Chanco y Cañete), debido principalmente a una mayor disponibilidad de humedad, los niveles de rendimientos para todos los cultivos son altos, pero nuevamente se destacaron arveja y lupino, apareciendo además el haba como un cultivo con alto potencial de rendimiento. Cabe que de todos los cultivos evaluado, el haba es el de mayor demanda de humedad (Brebaum y Boland, 1995). En Chanco (Cuadro N° 45), la arveja alcanzó 48 qq/ha y el lupino 29 qq/ha, debiendo señalarse que el rendimiento real del lupino se estima en mucho más, cercano a los niveles obtenidos en Cañete, ya que en la madurez fisiológica se produjo un fuerte ataque de roedores de difícil control. En Cañete, la arveja y el haba alcanzaron 47 qq/ha, y el lupino 44 qq/ha.

El cultivo del lupino no se siembra en los secanos, a pesar que la especie *Lupinus angustifolius* una gran adaptación a las condiciones agroclimáticas de la zona, como se observa con el excelente desarrollo del lupino azul o "lupina", que existe como una maleza en esta área. Esta especie, que la literatura indica como una especie mejoradora del suelo y recomendada para suelos marginales y degradados, debiera ocupar un importante lugar en el secano interior. Además del alto potencial que alcanza esta especie en el secano interior, debemos destacar la cosecha temprana, la primera semana de diciembre y con una gran calidad de los granos producidos, sobre todo en lo que se refiere a humedad y libre de hongos transmisible por la semilla, como *Colletotrichum gloeosporioides* y *Pleiocheta setosa*, causante de las enfermedades antracnosis y mancha café del lupino, respectivamente. Situación que no ocurre en la región de la Araucanía, donde se siembra el 90% de la superficie dedicada a este cultivo en el país. Esto nos está señalando que el Secano Interior, sería un área muy adecuada para la producción de semilla de lupino sana y de alta calidad (Cuadro N° 46), debiendo agregar que esto también es válido para el caso de la producción de los otros cultivos de leguminosas.

Cuadro N° 45. Rendimiento en grano seco (qq/ha) de seis cultivos de leguminosas de grano sembrados en invierno.

Cultivo	Cultivar	Localidades			
		Cauquenes	Portezuelo	Chanco	Cañete
Lenteja	Araucana-INIA	12	20	25	30
Arveja	Botancia-INIA	37	35	48	47
Chicharo	Quila-Blanco	21	18	28	34
Garbanzo	California-INIA	15	8	11	16
Lupino	Uniharvest	38	23	29	44
Haba	Portuguesa-INIA	13	22	42	47
C.V. (%):		18,6	13,1	12,2	10,1
DMS (P,05)		5,7	3,3	4,5	4,6
Fecha de siembra:		May-25	May-20	Jul-30	Jul-29

Cuadro N° 46. Fechas de floración y madurez de cosecha de los cultivares Uniharvest y Multolupa, en diferentes localidades de la VII y VIII regiones.

Localidad	Zona Agroecológica	Fecha siembra	Fecha floración	Fecha Madurez de cosecha
		cv. Uniharvest		
Cauquenes	Secano Interior	May-25	sept. 13	nov. 22
Portezuelo	Secano Interior	May-26	sept. 15	nov. 20
Chanco	Secano Costero	Jul-30	nov. 21	ene. 18
Cañete	Secano Costero	Jul-29	nov. 15	ene. 28
El Carmen	Precordillera	May-13	sept. 14	dic. 20
Chillán	Valle Central	Jun-27	oct. 10	dic. 26
		cv. Multolupa		
Cauquenes	Secano Interior	May-12	sept. 26	dic. 20
El Carmen	Precordillera	May-13	sept. 18	ene. 10
Cañete	Secano Costero	Jul-29	nov. 26	feb. 05
Chillán	Valle Central	Jun-27	oct. 16	ene.

Respuesta de la arveja para vaina verde variedad Perfect Freezer a la fertilización con P y N.

En las tres localidades del secano interior estudiadas, Cauquenes, Ninhue y Portezuelo, se tuvo un incremento estadísticamente significativo con el incremento de las dosis de P_2O_5 , con ambas fuentes de P_2O_5 , utilizadas, superfosfato triple y fosfato normal (Cuadro N° 47). Los rendimientos promedios con 60 U/ha de P_2O_5 , fluctuaron en 6697 kg/ha en Portezuelo, 4488 kg/ha en Ninhue y 5119 kg/ha en Cauquenes. En relación a la fuente de P_2O_5 , hubo un mayor rendimiento con las aplicaciones de fosfato normal, en Ninhue y Cauquenes, atribuible probablemente al efecto de azufre, contenido en este fertilizante. En Ninhue y Cauquenes, también se tuvo un efecto significativo en el rendimiento con las aplicaciones de 50 kg/ha de N. Llama la atención los niveles de rendimientos que se alcanzaron sin aplicación de fertilizantes, que en Portezuelo fue de 4591 kg/ha, en Ninhue 2294 kg/ha y en Cauquenes 2932 kg/ha, esto nos estaría señalando, que la arveja es una planta que tiene la capacidad de producir en suelos de baja fertilidad, cuando el resto de los otros factores, como control de malezas, método y fecha de siembra, se manejan en forma óptima.

Cuadro N° 47. Rendimiento de vaina verde en kg/ha, variedad Perfect Freezer con diferentes dosis y fuentes de P_2O_5 en dos localidades de secano interior.

Dosis P_2O_5	Fuentes de P_2O_5		Promedio Dosis
(Kg/ha)	SFT	FN	
Portezuelo			
0	4861	Oct-11	4591 c
30	6140	Ago-17	6284 b
60	6907	Oct-17	6697 ab
120	7108	Mar-18	6873 ab
240	8475	7300	7888 a
Promedio Fuentes	6698	Ene-17	
C.V.: 11,9			
Ninhue			
0	2125 c	2463 d	2294
30	3313 b	4100 c	3707
60	3963 ab	5013 b	4488
120	4150 a	5768 a	4959
240	4500 a	4700 bc	4600
Promedio Fuentes	3610 A	4409 B	
C.V.:17,4			
Cauquenes			
0	2763 b	3100 c	2932
30	2900 b	5475 b	4188
60	3525 ab	6713 a	5119
120	3725 ab	7013 a	5369
240	3450 a	6750 a	5544
Promedio Fuentes	3455 A	5810 B	
C.V.: 16,8			

En las columnas (letras minúsculas) y filas (letras mayúsculas medias seguidas por una misma letra, no son significativamente diferente [Duncan $P < 0,05$].

Respuesta de la lenteja variedad SuperAraucana-Inia a la fertilización N y P.

En ambas localidades del Secano Interior, Portezuelo y Cauquenes, se obtuvieron diferencias significativas en los rendimientos de lenteja, a partir de la aplicación de 30 U/ha de P_2O_5 , con ambas fuentes de fósforo utilizadas, superfosfato triple y fosfato normal (Cuadro Nº 48). En Cauquenes, se encontraron también diferencias significativas entre ambas fuentes de P_2O_5 . Los rendimientos promedios con las diferentes dosis de fertilizantes en Portezuelo, fue de 14.6 qq/ha con superfosfato triple y 12.8 qq/ha con fosfato normal. En Cauquenes fueron de 13 qq/ha con superfosfato triple y 16 qq/ha con fosfato normal.

Cuadro Nº 48 Rendimiento de lenteja en qq/ha variedad Araucana-INIA con diferentes dosis y fuentes de P_2O_5 , en dos localidades del Secano Interior.

Dosis P ₂ O ₅	Fuentes de P ₂ O ₅		Promedio Dosis
(Kg/ha)	SFT	FN	
Portezuelo			
0	9 b	9 c	9
30	15 a	12 b	13,5
60	16 a	13 ab	14,5
120	17 a	15 a	16
240	16 a	15 a	15,5
Promedio Fuentes	14,6	12,8	
C.V.: 20,2			
Cauquenes			
0	8 c	10 b	9
30	12 b	16 a	14
60	14 ab	16 a	15
120	14 ab	19 a	16,5
240	17 a	19 a	18
Pormedio Fuentes	13 A	16 B	
C.V.: 31,3			

En columnas (letras minúsculas) y fila (letras mayúsculas) medios seguidos por una misma letra, no son significativamente diferente (Duncan < 0,05)

11.3.2. Transferencia Tecnológica

Difusión de las Variedades de Garbanzo Alfa-Inia y Lenteja SuperAraucana-Inia a través de siembras comerciales (1 ha) con agricultores de las comunas de Curepto y Chanco.

Garbanzo

En el Cuadro N° 49 se presentan los resultados de siembras de diecisiete agricultores de la comuna de Curepto, que sembraron en vegas garbanzos tres tuvieron un fuerte daño de pájaros y conejo en la emergencia, que destruyeron más del 80% de las plántulas, ante lo cual los agricultores sembraron otros cultivos. Dos agricultores tuvieron bajos rendimientos por daño de pájaro durante el período de llenado de grano. En el resto de los agricultores, 12 el establecimiento fue muy bueno con una población de plantas sobre las 20-25 plantas/m² y un rango de rendimiento de 9.1 qq/ha, para el menor y 23.1 qq/ha para el mayor, con un promedio de 15.6 qq/ha. Al considerar este rendimiento de los agricultores que no tuvieron problema en su cultivo, significa un aumento de un 92%, por sobre del rendimiento promedio regional, que según el Instituto de Estadísticas en los últimos 5 años fue de 8.1 qq/ha. Esto nos indica el gran impacto que tienen los insumos tecnológicos; semilla, fertilizantes y herbicidas; aplicados bajo un sistema de producción que no altera significativamente al utilizado normalmente por los agricultores, donde todas las labores de preparación de suelo y siembra se hace con tracción animal. En relación al mejoramiento del tamaño de los granos, lo que en leguminosa significa calidad, y uno de los objetivos del programa, en el Cuadro N° 49, observamos que la producción de los calibres grandes obtenidos por los agricultores va de un 75% para el menor hasta un 95% para el mayor. Siendo el gran tamaño de los granos una de las características más sobresalientes de la variedad Alfa-Inia. Al respecto podemos señalar que la producción actual de garbanzo mayoritariamente de granos de tamaño mediano.

Cuadro N° 49. Rendimiento (qq/ha) y calibres de garbanzo variedad Alfa-INIA obtenidos por los agricultores beneficiarios del programa "Difusión de variedades de garbanzo y lenteja para el mercado externo". Curepto. Temporada 1997/1998.

Agricultor	Sector	Fecha siembra	Fecha cosecha	%Calibre			Rendimiento qq/ha
				Grandes	Mediano	Chico	
Pedro Gajardo	La Orilla	21-Oct	19-Feb	81,6	16,1	2,3	14,5
Enrique Valenzuela	La Orilla	07-Nov	07-Mar	95	3,9	1,1	6,6*
Ramón Márquez	La Orilla	04-Nov	-	-	-	-	..**
Sergio Montencinos	La Orilla	07-Nov	07-Mar	90,8	7,1	2,1	5,3*
Marcial Marquez	La Orilla	07-Nov	25-Feb	88,5	9,2	2,3	12,8
Alfonso Espina	Lien	31-Oct	03-Feb	82,3	14,4	3,3	18,4
Gabriel Peredo	Lien	31-Oct	18-Feb	81,8	15,5	2,7	12
Carlos Reyes	Lien	17-Nov	15-Feb	83,2	12,4	4,4	9,1
Domingo Avendaño	Lien	-	-	-	-	-	..**
Danor Barrios	Deuca	24-Nov	07-Mar	90,2	8,1	1,7	10,6
Orlando Espina	Deuca	01-Dic	-	-	-	-	..**
Santiago Márquez	Calpún	24-Oct	18-Feb	72,8	21,4	5,8	14,4
Camilo Díaz	Calpún	04-Nov	18-Feb	82,2	12,1	5,7	23,1
Nicolás González	Paraguay	21-Oct	09-Feb	93,1	6	1	20,1
Desiderio Mejías	El Rodeo	05-Nov	18-Feb	88,4	9,4	2,2	20
Oscar Correa	El Rodeo	18-Nov	07-Mar	92,5	5,6	2,9	21,8
Juana Ramírez	El Rodeo	24-Nov	07-Mar	92,3	4,6	3,1	10,2

* Rendimientos bajos debido a daño de pájaro durante el período de llenado de grano, granos inmaduros son comidos por pájaros.

** Daño de pájaro y conejo a la emergencia, que destruyeron más de un 80% de las plántulas.

Chanco

En Chanco, Cuadro N° 50, dos de las seis siembras se perdieron totalmente por la crecida de un estero que inundo totalmente los potreros por varios días. El resto tuvieron un buen establecimiento, con poblaciones de 22-28 plantas/m². En relación al rendimiento este tuvo un rango de 13 qq/ha y 22,9 qq/ha para el mayor, con un promedio de 16,8 qq/ha, muy similar a lo obtenido en Curepto. Sin embargo en Chanco todas las siembras fueron establecidas en suelo de lomas, y la fecha de siembra se estima tardía, lo que habría limitado un mayor rendimiento. En relación al tamaño de los granos como se observa en el Cuadro N° 50, el porcentaje de granos con calibres grandes fue

inferior a Curepto, esto también lo podríamos atribuir a la fecha tardía de siembra. En todo debemos considerar, lo mismo que para las siembras de vega de Curepto se ésta produciendo garbanzo de calibres grandes en un alto porcentaje, cuya oferta por parte de los agricultores en la actualidad no existe. Además debemos agregar, que con éstos resultados de las siembras de garbanzo, el programa ésta agregando un nuevo cultivo a la agricultura de la comuna de Chanco, ya que las siembras de garbanzo a nivel de agricultores no se conocían.

Cuadro N° 50. Rendimientos (qq/ha) y calibres de garbanzo variedad Alfa-INIA obtenidos por los agricultores beneficiarios del programa "Difusión de variedades de garbanzo y lenteja por el mercado externo". Chanco Temporada 1997/1998.

Agricultor	Sector	Fecha siembra	Fecha cosecha	%Calibre			Rendimiento qq/ha
				Grandes	Mediano	Chico	
Octavio Espinoza	Rari	31-ago	14-ene	72,2	22,6	5,2	17,8
Alejandro Parra	Rari	25-nov	-	-	-	-	.*
Ramón Avendaño	Rari	01-oct	-	-	-	-	.*
Gerardo Sánchez	Batuco	26-oct	04-feb	76,8	19,2	2,8	14,4
Alejandro Martínez	Lircay	25-oct	04-feb	70,4	24,7	4,9	13
Alfredo Andaur	Las Margaritas	24-oct	04-feb	73,9	20,4	5,7	21,9

* Siembras totalmente perdidas por crecida de esteros, por exceso de lluvia que dejó inundado el terreno por varios días. Lenteja.

Por la fecha que se inició el programa, el mes de agosto, no fue posible efectuar siembras de lomas, especialmente en Chanco, por lo que se efectuaron sólo tres siembras. En Curepto, como se observa en el Cuadro N° 51, los rendimientos obtenidos con la variedad SuperAraucana-Inia fueron muy bajo y con granos con un bajo porcentaje de 7 mm. La causa de esto fue un intenso y virulento ataque de la enfermedad la roya de la lenteja, que aunque se hicieron dos aplicaciones de fungicidas no fue posible lograr un buen control. En cambio en Chanco los rendimientos fueron aceptable sin ser lo esperado y hubo un mejor control de la enfermedad y obteniéndose un alto porcentaje de granos de 7 mm. En todo caso, de acuerdo a resultados experimentales y validaciones con agricultores se esperaba tener un mayor control de la enfermedad a través de las aplicaciones de fungicidas.

Cuadro N° 51. Rendimientos y calibres de granos de lenteja variedad SuperAraucana-INIA, con aplicaciones de fungicidas para el control de la roya, obtenidos por los agricultores beneficiarios del programa "Difusión de nuevas variedades de garbanzo y lenteja para el mercado externo".

Agricultor	Sector	Fecha	Fecha	% Calibre	Rendimiento
		siembra	cosecha	7 mm	qq/ha
CHANCO					
Javier Montecinos	Vega de Reloca	25-Nov	10-Mar	82,3	12,8
Juan Cansino	Vega de Reloca	29-Nov	18-Mar	76,6	10,9
CUREPTO					
Marcial Márquez	La Orilla	18-Nov	20-Mar	8	3,5

Programa de Difusión de Cultivos de Leguminosas a través de la entrega de Semilla de Calidad por el Sistema 2x1 en la provincia de Arauco.

En el Cuadro N° 52, se presenta una listado del resultado de un grupo de agricultores beneficiarios de Programa 2x1. Donde se Destaca la producción de leguminosas hortícolas y de la arveja Botánica-Inia, para la producción de grano partido. Además de dar acceso a los pequeños agricultores a nuevas variedades y con semilla de calidad se ha introducido el sistema de producción INIA, destacando un mayor uso de fertilizante, herbicidas pre-emergentes y control del bruco de la arveja.

Cuadro N° 52. Rendimiento de Leguminosas obtenido por algunos agricultores de la provincia de Arauco beneficiarios del Programa 2x1. Temporada 1997/1998.

Cultivo/Agricultor	Variedad/uso	Localidad	Rendimiento/ha.
Arveja	Grano seco		26.2 qq
Manuel Yevilao S.	Botánica-Inia	Curaco-Morhuilla/	25.4 qq
José Paillao	Botánica-Inia	Tranaquepe	18.3 qq
Luis Lobos V.	Botánica-Inia	Ponotro-Tirua	29.8 qq
José Salazar J.	Botánica-Inia	Ponotro-Tirua	28.9 qq
Alejandro Castillo S.	Botánica-Inia	Manqueche-Tirua	30.0 qq
Ismael Molina C.	Botánica-Inia	Ruca-Raqui	31.0 qq
Gabriel Melin A.	Botánica-Inia	Lencanboldo	21.0 qq
Juan Lincopan	Botánica-Inia	Tranaquepe	25.4 qq
	Vaina verde		4486 kg
José Melita C.	Perfect Freezer	Reposo	3500 kg
Elba Santi	Perfect Freezer	Tirua	2900 kg
Hernán Cona M	Perfect Freezer	Tirua	4500 kg
Dagoberto Millapi M	Perfect Freezer	Tirua	5200 kg
Delia Paine M	Perfect Freezer	Tirua	3800 kg
Domingo Cayuqueo N	Perfect Freezer	Cañete	6100 kg
Sergio Millapi M	Perfect Freezer	Tirua	5400 kg
	Lupino		18.0 qq
Inst. Educ. Rural	Gungurru	Peleco	18.0 qq
Haba	Vaina verde		4119 kg
Bernardo Anifir Ch	Portuguesa-Inia	Pangue	4755 kg
Carlos Salgado G	Portuguesa-Inia	Ranquilco	3483 kg
Poroto	Poroto granado		4086 kg
Renato Sepúlveda	Rayo-Inia	Cañete	4850 kg
María Anifir	Rayo-Inia	Cañete	3780 kg
Gabriel Anifir	Rayo-Inia	Los Alamos	5600 kg
Ricardo Barriga	Rayo-Inia	Cayucupil	6200 kg

Cultivo/Agricultor	Variedad/uso	Localidad	Rendimiento/ha.
	Poroto verde		5029 kg
Juan Millanao	Apolo	Lebu	3600 kg
Renato Contreras	Apolo	Cañete	4600 kg
Héctor Cuevas	Apolo	Lebu	5500 kg
Gabriel Aníñir	Peumo	Los Alamos	4900 kg
Pedro Irulao	Peumo	Lebu	
Ariel Burgos	Peumo	Lebu	6500 kg
			3300 kg

11.4. CONCLUSIONES

Los resultados de las investigaciones que ha realizado INIA, en algunas de éstas comunas señalan que es posible producir una serie de leguminosas en los suelos de lomaje suave con una buena productividad, siempre y cuando se tomen algunas medidas como las siguientes:

- Efectuar una labranza conservacionista
- Sembrar en curva de nivel o en franjas
- Siembra en hilera o a "cola de buey" y a 40-50 cm entre hileras
- Sembrar a una profundidad máxima de 5 a 6 cm.
- Uso de fertilizantes fosfatados, localizado en el surco de siembra
- En algunos cultivo también se debe utilizar fertilizantes nitrogenados
- Uso de herbicidas para el control de las malezas
- Uso de cebos tóxico para el control de las babosas

La introducción y difusión de nuevas variedades de lenteja y garbanzo de grano grande en el área, puede mejorar significativamente los precios y la demanda de éstas leguminosas, especialmente en el mercado externo.

El secano interior tiene un gran potencial para la producción de semilla de lenteja, lupino, arveja y habas de calidad, que se destacan por estar libre de enfermedades transmisibles por la semilla, siendo innecesaria la aplicación de fungicidas al follaje a diferencia del valle central, donde las aplicaciones de fungicidas son imprescindibles.

Tanto el secano interior y costero, tienen condiciones excepcionales para producir cosechas temprana o primores de leguminosas hortícola, como arveja, haba, poroto verde y poroto grañado.

11.5 LITERATURA CITADA

BREBAUM, S. and BOLAND, G. J. 1995. Sweet white lupin: a potential crop for Ontario. *Canadian Journal of Plant Science* 75:841-849.

TAY, U. J., PAREDES, C. M. y FRANCE, I. A. 1994. Producción de Leguminosas de Grano. En *la Agricultura del Secano Interior*. Ovalle, M. C. y Del Pozo, L. A.(Eds). INIA. Cauquenes, pp. 83-99

PROGRAMA DE DIFUSION DE VARIEDADADES DE GARBANZOS Y LENTEJAS PARA EL MERCADO EXTERNO EN LAS COMUNAS DE CUREPTO Y CHANCO. Informe Temporada 1997/1998. Gobierno Regional de la Región del Maule. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. CRI-Quilamapu.

PROGRAMA DIFUSION DEL CULTIVO DE LEGUMINOSAS SISTEMA 2X1. Informe Temporada 1997/1998. Gobierno Regional de la Región del Bío-Bío. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. CRI-Quilamapu.

CAPÍTULO 12

El cultivo del trigo en el secano interior.



Mario Mellado Zambrano
Ingeniero Agrónomo, M.S.
mmellado@quilamapu.inia.cl

12. EL CULTIVO DEL TRIGO EN EL SECANO INTERIOR¹

12.1. INTRODUCCIÓN

El trigo en el secano interior de la zona centro sur está sometido a una serie de limitantes, tales como la escasa fertilidad del suelo, la erosión severa y las restricciones impuestas por el clima, principalmente, la mala distribución de las lluvias. El área sembrada con trigo alcanzaría a unas 40.000 hectáreas, con un rendimiento medio no superior a 15 qqm/ha.

Es un cultivo que se efectúa con muy poca tecnología y, en general, su producción está destinada al autoconsumo.

La secuencia de cultivo más usada en el secano interior, es **barbecho - trigo**, la que contempla dos modalidades:

1. Barbecho efectuado a salidas del invierno, que permanece descubierto hasta la siembra del trigo en el otoño siguiente. Después de la cosecha, el rastrojo de trigo es usado por el ganado. Dos a tres años más tarde, se vuelve a barbechar para sembrar trigo.
2. Barbecho efectuado a salidas del invierno, que se siembra en primavera con una leguminosa como, por ejemplo, garbanzo o chícharo (de ahí el nombre de barbecho cubierto). En este rastrojo se siembra trigo en el otoño siguiente. Después de la cosecha del cereal, el rastrojo es usado por el ganado. Dos a tres años más tarde, se vuelve a barbechar para sembrar una leguminosa y, a continuación, el trigo.

12.2. VARIEDADES

En estos suelos del secano interior, con déficit hídrico recurrente en la etapa reproductiva de los trigos, se han encontrado marcadas diferencias en el comportamiento de variedades de distinto período vegetativo. Ello ha permitido realizar un tipo de **mejoramiento genético por eficiencia en el uso del agua**, seleccionando variedades de primavera (precoces) que maximizan el rendimiento en función del agua disponible en los períodos más críticos, especialmente entre la espigadura y grano acuoso.

¹ Seminario Taller "Proposiciones tecnológicas para un Desarrollo Sustentable del Secano". Talca, 1° y 2 de octubre de 1998.

En términos generales, las variedades más convenientes para suelos donde la única fuente de agua es la lluvia, son aquellas que producen el máximo rendimiento cuando la lluvia es abundante, y que presentan sólo una pequeña reducción cuando las precipitaciones son escasas.

El uso de variedades precoces, ofrece tres ventajas importantes:

- 1) disminuyen la erosión hídrica, al tener un mayor desarrollo y cubrimiento del suelo que los trigos tardíos, durante la época de lluvias;
- 2) se cosechan alrededor de un mes antes que los trigos tardíos, lo que adquiere importancia desde el punto de vista social y económico, y
- 3) rinden significativamente más que los trigos tardíos y, generalmente tienen un grano de mejor calidad.

El rendimiento de grano de algunas variedades de primavera se indica en el Cuadro Nº 53.

Cuadro Nº 53. Rendimiento (qqm/ha) de trigos primaverales en el secano interior de Cauquenes.

Variedades	Año 1995	Año 1996
Nobo –INIA	50	35
Saeta –INIA	53	32
Ciko – INIA	47	33
Domo –INIA	50	33
Huayun – INIA	53	32

12.3. NORMAS DE MANEJO

Algunas normas de manejo para la producción de trigo del secano interior se indican en el Cuadro N° 54.

Cuadro N° 54. Paquete tecnológico para producir trigo en el secano interior de la séptima y octava regiones.

Insumos y labores	Recomendaciones
Suelo	Sembrar las partes más planas del predio, es decir aquellas con menor pendiente.
Preparación de suelo	Usar arado que invierta la capa arable, sólo en aquellos suelos que tengan menos de 5% de pendiente.
Rotación	Sembrar trigo después de una leguminosa como lenteja o pradera de hualputra o trébol subterráneo.
Variedad	Usar exclusivamente variedades primaverales.
Fecha de siembra	La primera quincena de mayo.
Dosis de semilla	160 - 200 kg/ha
Desinfección de semilla	Usar fungicida sistémico.
Fertilización	Aplicar nitrógeno y fósforo en la relación 2:1. Por ejemplo 60 kg/ha de N y 30 kg/ha de P_2O_5 , ó 120 kg/ha de N y 60 kg/ha de P_2O_5 .
Control de malezas	Aplicar, preferentemente, herbicidas para malezas de hoja ancha.
Desagües	Trazar desagües cortando la mayor pendiente para disminuir la erosión hídrica.
Cosecha	Cosechar lo más pronto posible cuando el grano esté seco, lo que generalmente ocurre en la primera quincena de diciembre.

12.4. FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y FOSFATADA

Los suelos del secano interior, en general, se caracterizan por su erosión avanzada y la escasez de materia orgánica (1,5 a 2,5%). Los agricultores que siembran trigo en estos suelos obtienen bajísimos rendimientos debido, fundamentalmente, a que utilizan variedades tardías y a que los pocos productores que aplican fertilizantes, usan dosis muy reducidas. Cuando se discute el tema de la fertilización en trigo en los Días de Campo, la mayoría de los agricultores señala que, por la falta de agua en la primavera y la erosión de los suelos, no es económico usar fertilizantes. La respuesta de los técnicos a esta afirmación es que si los productores usan una variedad de trigo precoz, bien fertilizada, se logrará un rendimiento aceptable desde el punto de vista económico.

Para demostrar lo anterior, a continuación se entregan resultados de tres ensayos efectuados en el Centro Experimental Cauquenes durante los años 1992, 1993 y 1994, y de un ensayo en el Fundo Parronal de Hualañe el año 1994.

Los sitios de ensayo eran bajos en materia orgánica (1,5 a 2,0%), bajos en nitrógeno (2-14 ppm), bajos a medios en fósforo (7-10 ppm) y potasio (67-139 ppm).

En todos los ensayos se utilizó la variedad precoz Saeta INIA, sembrada el mes de mayo con una dosis de semilla de 160 kg/ha. Las malezas se controlaron con graminicidas y herbicidas para hoja ancha.

Para evaluar los resultados, se calculó el Incremento Neto de Rendimiento (INR) -definido como la diferencia en kg/ha de trigo- entre el rendimiento bruto de grano con fertilización, menos el valor de la fertilización y menos el rendimiento sin fertilización. Es decir:

INR = Rendimiento con fertilización - Costo de los fertilizantes - Rendimiento sin fertilizante.

Para el cálculo del incremento neto de rendimiento debido a la fertilización, se consideraron los precios correspondientes a mayo de 1996 (US\$= \$400). Las unidades de N y P_2O_5 se valorizaron en \$670 y \$312, respectivamente, y el kilo de trigo a \$100. En los cálculos se incluye el valor de la aplicación de los fertilizantes, estimado en 10 kg/ha de trigo.

En el Cuadro N° 55 se indica el efecto de la fertilización del trigo en el secano interior de Cauquenes, cuando el nitrógeno y el fósforo se aplican en la proporción 3:1. Se puede apreciar el gran aumento del rendimiento neto de grano al fertilizar con 60 kg de nitrógeno y 20 de P_2O_5 . Se trata de una fertilización que tiene un costo de 474 kilos de trigo por hectárea, y que produce una utilidad de 1.106 kilos de trigo por hectárea. Este resultado aparece confirmado con los experimentos realizados en los años 1993 y 1994 en la misma zona de Cauquenes (Cuadro N° 56). En este caso, la dosis de 60 kg de N y 20 de P_2O_5 dio una utilidad de 875 kg/ha de trigo. Para el caso de agricultores con mayor capacidad económica, se puede recomendar la combinación de 120 kg/ha de N y 60 kg/ha de P_2O_5 , que señala una ganancia de 1.046 kg/ha de trigo.

En el caso de un experimento llevado a cabo en la zona de Hualañé, la situación es muy similar, ya que aparecen como más recomendable las mismas dosis antes mencionadas para Cauquenes, con la diferencia que las utilidades son mayores (Cuadro N° 57). Esta diferencia se podría explicar por las características del suelo, ya que aun cuando ambos suelos eran franco arcilloso, el de Hualañé tenía un 5% menos de arcilla, 0,5% más de materia orgánica y un 10% más de retención de humedad a Capacidad de Campo.

Cuadro N° 55. Rendimiento bruto e INR de trigo debido a la fertilización. INIA Centro Experimental Cauquenes, 1992.

Fertilización (kg / ha)		Valor de la fertilización en kg/ha de trigo	Rendimiento bruto (kg/ha)	Incremento neto de rendimiento(kg/ha)
Nitrógeno	P ₂ O ₅			
0	0	0	990	-
30	10	242	1.906	674
60	20	474	2.570	1.106
120	40	939	3.254	1.325
180	60	1.403	3.870	1.477

Cuadro N° 56. Rendimiento bruto e INR de trigo debido a la fertilización. INIA Centro Experimental Cauquenes. Promedio 1993 y 1994.

Fertilización (kg / ha)		Valor de la fertilización en kg/ha de trigo	Rendimiento bruto (kg/ha)	Incremento neto de rendimiento(kg/ha)
Nitrógeno	P ₂ O ₅			
0	0	-	2.293	-
30	10	242	2.857	322
30	15	258	3.039	488
60	20	474	3.642	875
60	30	506	3.600	801
120	40	938	4.188	957
120	60	1.002	4.341	1.046
180	60	1.402	4.674	979
180	90	1.498	4.497	706

Cuadro N° 57. Rendimiento bruto e INR de trigo debido a la fertilización. Hualañé, 1994.

Fertilización (kg / ha)		Valor de la fertilización en kg/ha de trigo	Rendimiento bruto (kg/ha)	Incremento neto de rendimiento(kg/ha)
Nitrógeno	P₂O₅			
0	0	-	2.797	-
30	10	242	4.155	1.116
30	15	258	4.378	1.323
60	20	474	5.106	1.835
60	30	506	4.612	1.309
120	40	938	4.825	1.090
120	60	1.002	5.397	1.598
180	60	1.402	5.288	1.089
180	90	1.498	5.808	1.513

12.5. LITERATURA CITADA

- MELLADO Z., MARIO. 1993.** Producción de trigo en el Secano Interior VII y VIII Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Quilamapu. Serie Quilamapu N° 39. 61p.
- MELLADO Z. MARIO. 1997.** Secano Interior. Más nitrógeno y fósforo para el trigo. Tierra Adentro N°13: 21-23.
- MELLADO Z., MARIO. 1994.** Producción de trigo. En: Ovalle M., Carlos y Del Pozo L., Alejandro. La Agricultura del Secano Interior. INIA. Cauquenes, Campo Experimental Cauquenes. p: 59-82.
- MELLADO, Z. MARIO, y VELASCO, H. ROBERTO. 1997.** Trigo. Producción en zona centro sur. En: Anuario del campo. Alternativas para la modernización y diversificación agrícola. Santiago, Chile. Publicaciones Lo Castillo S.A., p. 75-84.

CAPÍTULO 13

Evaluación económica de proyectos silvoagropecuarios.



Rodrigo Avilés Rodríguez
Ingeniero Civil Industrial
raviles@quilamapu.inia.cl

13. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS SILVOAGROPECUARIOS

13.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

13.1.1. Factores en un Sistema Silvoagropecuario

Un sistema productivo silvoagropecuario está condicionado por diversos factores, sean internos y externos.

Los factores internos, son aquellos que el productor del sistema los tiene bajo control, por ejemplo:

Económicos: Cantidad de tierra, mano de obra, capital y capacidad administrativa.

Biológicos: Vegetación, insectos, etc.

Socio/sicológicos: actitudes, valores, objetivos, etc. relacionados con la familia.

Los factores externos, son aquellos que el productor no los puede modificar e inciden sobre el sistema, por ejemplo:

Políticos: Asistencia técnica, investigación, uso y distribución de la tierra, etc.

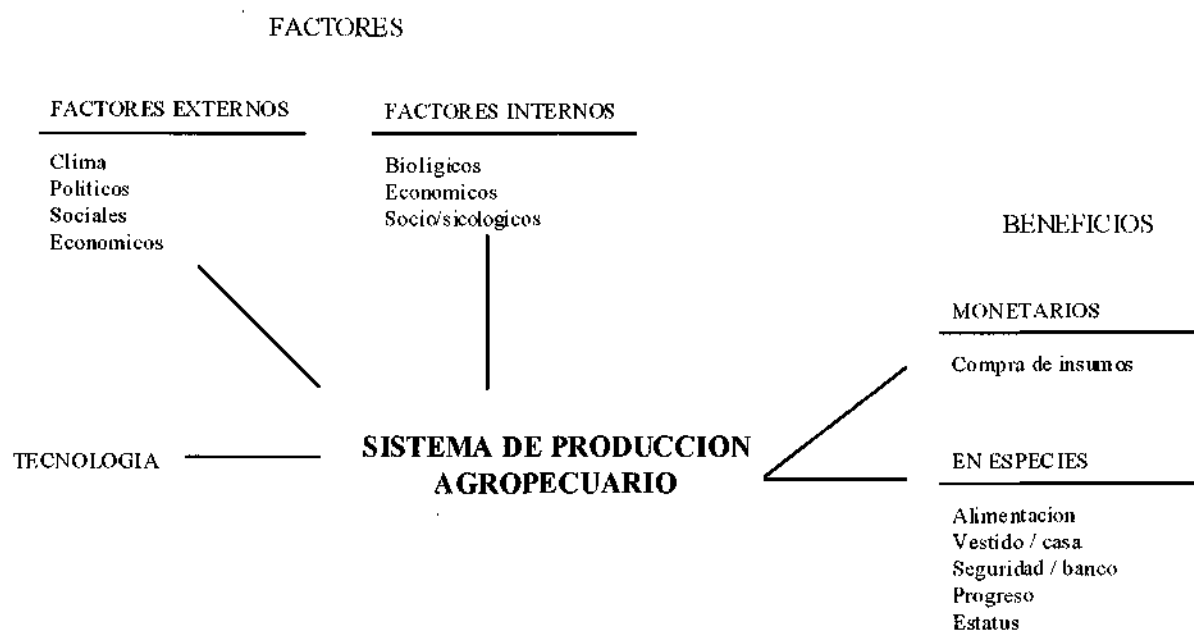
Sociales: Educación, organizaciones, etc.

Clima: Pluviosidad, temperatura, etc.

Económicos: Mercado de los productos, demanda, oferta, etc.

Los factores dependen de cada región o área en un momento dado. De igual forma, el grado de incidencia es distinto sobre los distintos sistemas existentes y es así que no se puede hablar de un factor determinante de la producción, por un periodo prolongado y mucho menos en toda una región.

El marco de factores que inciden y regulan un sistema de producción y los beneficios que derivan de él, se puede esquematizar de la siguiente forma:



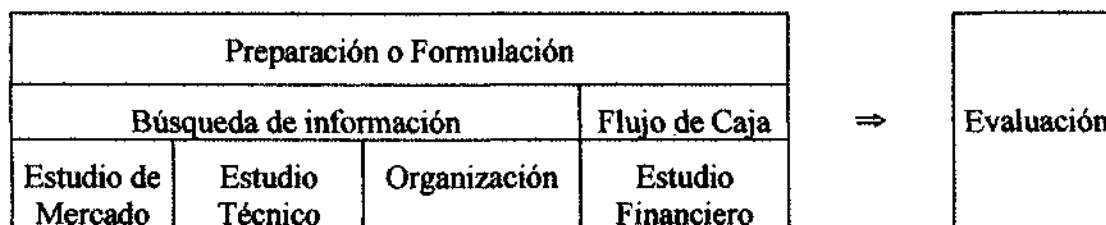
13.1.2. Evaluación de Proyectos

La evaluación de proyectos es el proceso que tiene como propósito establecer la conveniencia o inconveniencia de asignar recursos a la realización de un plan de inversión u operación.

En cualquier caso, se distinguen dos etapas principales en la evaluación de todo proyecto, independiente de la profundidad, la de preparación y la de evaluación. En la etapa de preparación se definen todas las características que tengan efecto en el flujo de ingresos y egresos monetarios del proyecto. En la etapa de evaluación se aplican metodologías para determinar la rentabilidad de la inversión.

En el Cuadro N° 58 se esquematiza las etapas del estudio de proyectos.

Cuadro N° 58. Etapas del estudio de proyectos



13.1.3. El Concepto “Con” y “Sin” Proyecto

La clave para identificar los beneficios y costos de un proyecto es determinar la diferencias de lo que ocurrirá “Con” el proyecto de los que sucederá “Sin” (o en ausencia de) él. Sólo de esta de esta forma se puede determinar los efectos del proyecto sobre el sistema considerado.

13.1.4. Evaluación *Ex ante* y *Es post* de proyectos

La evaluación *ex ante* de proyectos es la efectuada con anterioridad a la ejecución de un plan. Su propósito es determinar la conveniencia de realizar el proyecto.

Los impactos de un proyecto dependen del comportamiento de eventos que ocurrirán, obviamente algunos de ellos no se tienen control, sin embargo los evaluadores deberán estimar sus consecuencias, sobre la base de información relevante, opinión de expertos o propias expectativas.

La evaluación *ex post* es efectuada con posterioridad a la ejecución de una actividad, donde adquieren relevancia los costos y beneficios históricos.

13.1.5. Renta económica

Se denomina renta económica a la diferencia entre el ingreso neto que recibiría un recurso (tierra, capita, trabajo, recurso natural) en un proyecto y el ingreso mínimo necesario para asignarlo a ese proyecto.

Bajo el criterio de maximizar ingresos monetarios netos y en ausencia de riesgo, el ingreso mínimo necesario para asignar un recurso a un proyecto es igual a su costo de oportunidad, es decir, al ingreso neto que se deja de percibir por no destinarlo a la alternativa más conveniente. Obviamente, un proyecto será conveniente si puede generar renta económica positiva.

13.2. Evaluación

13.2.1. Introducción

La evaluación de un proyecto se realiza para conseguir los siguientes fines:

Decidir la aceptación o rechazo del proyecto específico.

Decidir el orden de varios proyectos en función de su rentabilidad, cuando son mutuamente excluyentes o existe escasez de recursos.

Para ambos casos las metodologías son las mismas, aunque para el segundo caso se requieren consideraciones especiales de interpretación de los resultados comparativos entre proyectos.

Un proyecto es rentable si la capitalización, a la tasa de interés pertinente para la empresa, de su flujo de caja es positivo al término de su vida útil.

13.2.2. Conceptos matemáticos para la evaluación

Las principales técnicas de evaluación, las de flujo de cajas descontados, requiere de la utilización de matemática financiera para su aplicación.

Suponga que invierte \$ 100 a una tasa del periodo de 10 % compuesta. Al término del periodo tendrá los \$ 100 invertidos más \$10 de interés sobre la inversión, es decir \$110. Esto se obtuvo

$$100 + (10/100) * (100) = 110$$

Equivalente a:

$$100 * (1 + 0.1) = 110$$

Si:

VA = Valor Actual, en este caso Inversión Inicial.

VF = Valor Futuro o resultado de la operación.

i = Interés.

Entonces generalizando:

$$VA * (1 + i) = VF$$

Si al término del periodo la ganancia no se retira, sino que se mantiene depositada junto con la inversión inicial, por un periodo igual al anterior, se tendrá por el mismo procedimiento:

$$110 + 110 * (0.1) = 121$$

que es equivalente a:

$$110 * (1 + 0.1) = 121$$

Reemplazando con el procedimiento como se obtuvo 110, se tiene:

$$100 * (1 + 0.1) * (1 + 0.1) = 121$$

Si se simplifica:

$$100 * (1 + 0.1)^2 = 121$$

o según la nomenclatura y generalizando para más periodos equivalentes:

$$VA * (1 + i)^n = VF$$

que es equivalente a:

$$VA = VF * \left[\frac{1}{(1 + i)^n} \right]$$

Si en una situación sin inversión, pero con ingreso anual constante C, periodo equivalente a un año, se puede generalizar como sigue para un periodo n:

$$VF = C * (1 + i)^0 + C * (1 + i)^1 + \dots + C * (1 + i)^{n-1}$$

o

$$VF = C * \sum_{t=0}^{n-1} (1 + i)^t$$

Si se quiere calcular el valor actual de la misma anualidad en moneda equivalente al periodo cero, se determina por:

$$VA = C * \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1 + i)^t}$$

13.2.3. El criterio del valor actual neto

Este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su valor actual neto (VAN) es igual o superior a cero, donde el VAN es la diferencia entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual.

Utilizando los conceptos del punto 13.3.2., el criterio se expresa:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1 + i)^t} - I_0$$

simplificando la ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1 + i)^t} - I_0$$

Donde:

Y_t : Ingreso del periodo t.

E_t : Ingreso del periodo t.

I_0 : Inversión inicial (periodo 0).

i : tasa de descuento.

n : Horizonte de evaluación

Equivalentemente $Y_t - E_t$ se puede expresar como BN_t , que se Beneficio Neto en el periodo t, desde el periodo 0 hasta n. BN_t puede tomar valor positivo o negativo. De esta forma generalizando,

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1 + i)^t}$$

Si i representa la tasa alternativa de retorno:

VAN	< 0 renta negativa	$\sum_{t=0}^n BN_t$	< 0 los ingresos no recuperan los costos > 0 los ingresos recuperan los costos, pero son menores a los que se recibirían si los fondos se colocaran a la tasa i
	= 0 renta cero		Los ingresos recuperan los costos, pero son iguales a los que se recibirían si los fondos se colocaran a la tasa i
	> 0 renta positiva		Se recuperan los costos y los ingresos netos son mayores que los que se recibirían a la tasa i

Interpretaciones del VAN:

Mide, en términos actualizados, la renta económica de un proyecto, es decir, cuánto más rico es el inversionista por invertir en el proyecto en lugar de hacerlo en la alternativa que resulta a la tasa i .

Representa lo máximo que se puede pagar por el proyecto para obtener un periodo igual a i .

Ventaja:

Considera de manera explícita la tasa alternativa de retorno.

Desventaja:

Su interpretación es menos intuitiva que la tasa interna de retorno.

13.2.4. El criterio de la tasa interna de retorno

Este criterio evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con la cual los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos también actualizados, o dicho de otra forma, es la tasa con la cual el VAN del proyecto es igual a cero.

La tasa interna de retorno, TIR, se obtiene resolviendo la siguiente ecuación:

$$\sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

Donde

r : Tasa interna de retorno, TIR.

Interpretaciones de la TIR:

Si $TIR > i$ entonces se genera una renta económica positiva.

Máxima tasa de actualización para obtener un VAN no negativo.

Retorno porcentual medio del proyecto por n periodos.

Máxima tasa de interés que se podría pagar por un préstamo que financiara todo el proyecto, sirviendo la deuda con los ingresos netos en el momento y magnitud que estos se generen, y obtener un VAN igual a cero.

Ventaja:

Es más intuitiva que el VAN.

Desventaja:

Supone que existen otras oportunidades de inversión con tasas de retorno igual a la TIR del proyecto que está siendo evaluado.

No entrega la magnitud de la renta económica.

Ocasionalmente, aunque rara vez, la TIR puede ser múltiple. Un polinomio de grado n puede tener más de una raíz real.

13.2.5. Tasa Interna de Retorno versus Valor Actual Neto

La tasa interna de retorno y el valor actual neto pueden en ciertas circunstancias conducir a resultados contradictorios. Ello puede ocurrir cuando se evalúa más de un proyecto con finalidad de jerarquizarlos, independiente de la circunstancia, mutuamente excluyentes o restricción de capital.

Ejemplo

En el Cuadro N° 59 se expresa el flujo de fondos para cada uno de los proyectos.

Cuadro N° 59. Flujo de fondos para cada uno de los proyectos.

Proyecto	Periodo			
	0	1	2	3
Proyecto 1	(\$12.000)	1.000	6.500	10.000
Proyecto 2	(\$12.000)	10.000	4.500	1.000

En base al flujo de fondos se determina el VAN de cada uno de los proyectos para diversas tasas de descuento, en el Cuadro N° 60.

Cuadro N° 60. VAN de cada uno de los proyectos para diversas tasas de descuento.

Proyecto	Tasa de Descuento				
	5%	10%	15%	20%	25%
Proyecto 1	\$3.486,45	\$1.794,14	\$359,66	(\$865,74)	(\$1.920,00)
Proyecto 2	\$2.469,28	\$1.561,23	\$755,81	\$37,04	(\$608,00)

Esquematisando los resultados, se tiene:

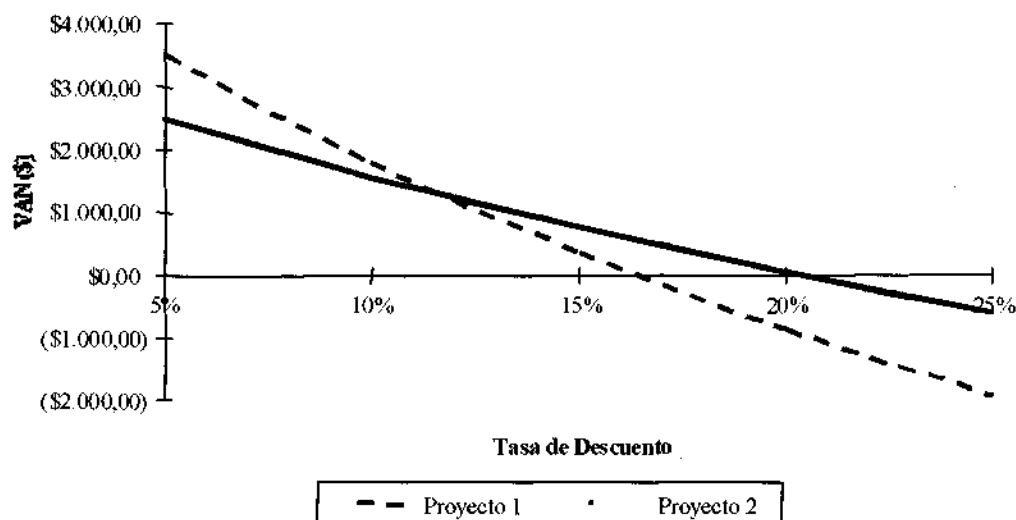


Figura N° 53. VAN v/s TIR para dos proyectos.

13.2.6. Proyectos de Innovación en Sistemas Productivos

Los proyectos de innovación tecnológica consisten en actividades de investigación y desarrollo de tecnologías de procesos, de servicios, incluyendo modelos, prototipos y pruebas piloto de introducción al mercado que inciden en un sistema productivo.

En estos casos se evalúa:

- Disminución de costos.
- Aumento de producción.
- Incremento de valor agregado.
- Nuevos productos.
- Creación de nuevas empresas.

Según el tipo de innovación a que apunta el proyecto, se debe medir la rentabilidad de su inversión, diferenciando:

- a. Proyecto orientado a implementar o desarrollar nuevos productos o procesos. En este caso se realizará el análisis costo beneficio puro, considerando la inversión, los ingresos y los egresos totales generados por el mismo.

b. Proyecto cuyo objetivo es mejorar productos y/o procesos en sistemas en marcha. En esta situación se realiza un análisis costo beneficio incremental, en relación al sistema sin proyecto. Considerando para ello las diferencias en inversión, ingresos y egresos asociados a la realización del proyectos. Es decir, Situación Con Proyecto "menos" Situación Sin Proyecto.

La evaluación se realiza en base al grado de transferencia de los resultados de la investigación como los beneficios que esto le reporta al sector objetivo del proyecto, requieren de un período de tiempo antes de hacerse efectivos en un 100%. La proyección de beneficios del proyecto debe tener en cuenta este aspecto, y debe estimarse una curva de logro en el tiempo de los objetivos del proyecto a partir de su aplicación a escala productiva. La curva de adopción propuesta debe tener en cuenta las características de la tecnología y del sector objetivo, en cuanto a las dificultades inherentes a la transferencia tecnológica como también la capacidad de absorción del sector al que se transfiere.

13.3. CASOS

13.3.1. Tasa interna de retorno y valor actual neto

Si se tiene el siguiente flujo de Beneficios netos:

Año	0	1	2	3
BN	(\$1.000)	(\$500)	\$1.000	\$2.000

$$i = 12\%$$

$$VAN = \$774,33$$

$$TIR = 35\%$$

13.3.2. Proyecto en un sistema agropecuario

Se pretende desarrollar un Centro para producción de aceite de oliva para un área determinada, para ello se requiere realizar cuatro años de investigación para desarrollar la tecnología, en cuanto a variedades, manejo y sistema de producción en el huerto y producción de aceite.

Con esta tecnología se pretende captar una meta de 700 ha. de producción al 10 año de terminado el proyecto de I&D.

El valor de desarrollo de la tecnología en los primeros cuatro años es:

Año 1: MM\$ 150.

Año 2: MM\$100.

Año 3: MM\$ 95.

Año 4: MM\$ 60.

Para desarrollar en escala productiva se tiene los siguientes supuestos:

Inversión en plantación: 2.500.000 \$/ha.

Mantenimiento del huerto: 400.000 \$/ha.

Cosecha: 45 \$/kg.

Transporte: 4 \$/kg.

Costo industrial: 1500 \$/lt. Aceite.

Producción del huerto: 50 kg/árbol desde el 8 año. Se inicia producción en año 3 con 2 kg/árbol.

Árbol/ha. 400.

Rendimiento: Un litro de aceite por cada 5 kg. de olivas.

Inversión planta de aceite: MM\$ 85

Rendimiento planta de aceite: 500 kg. olivas /hr.

Precio aceite: 3000 \$/lt.

13.4. LITERATURA CITADA

ANDALAF, A. Apuntes de Preparación y Evaluación Estratégica de Proyectos. 1995.

BIERMAN, H. Y SMIDT, S. El Presupuesto de Bienes de Capital. México: Fondo de Cultura Económica, 1977.

HORTON, D., BALLANTYNES, P., PETERSON, W., URIBE, B., GASPASIN, D. Y SHERIDAN, K. (EDITORES). Seguimiento y Evaluación de la Investigación Agropecuaria. Tercer mundo Editores. ISNAR. 1994.

MORALES, R. Apuntes de Preparación y Evaluación de Proyectos Forestales. 1993.

NAVARRO, H. Evaluación Económica de Sistemas Agropecuarios. Boletín Técnico N° 75. Estación Experimental Remehue. 1984.

SAPAG, J.M. Evaluación de Proyectos. Ediciones Copygraph. 1997.

SAPAG, N. Y SAPAG, R. Preparación y Evaluación de Proyectos. Segunda edición. Mc Graw Hill. 1989.