



GOBIERNO DE
CHILE
Ministerio de Agricultura

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

Monografías de especies anuales, arbustivas y acuícolas con potencial energético en Chile

*Rebeca Iglesias Casanueva
Esteban Taha Hinojosa*

Marzo 2010

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
www.odepa.gob.cl

Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa)
del Ministerio de Agricultura

Marzo del 2010

Directora y representante legal (s)

Ema Labal Molkenbuhr

Informaciones:

Centro de Información Silvoagropecuaria, CIS
Valentín Letelier 1339 - Código Postal 6501970
Teléfono (56-2) 397 3000 - Fax (56-2) 397 3044
www.odepa.gob.cl

El presente artículo se puede reproducir total o parcialmente, citando la fuente.

Monografías de especies anuales, arbustivas y acuícolas, con potencial energético en Chile.

**Rebeca Iglesias C.
Esteban Taha H.**

Introducción

La superficie nacional destinada a la producción silvoagropecuaria alcanza 35,5 millones de hectáreas (VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, INE 2007). La producción primaria y agroindustrial obtenida en esta superficie demanda una cantidad importante de energía, de diversas fuentes. El uso oportuno, seguro y eficiente, tanto de la energía producida con fuentes convencionales como con fuentes renovables no convencionales (ERNC), constituye un factor importante de competitividad.

El sector silvoagropecuario puede producir una cantidad importante de biomasa, considerada dentro de las ERNC, que puede utilizarse en la producción de bioenergía. La generación de energía a partir de materias primas o biomasa de cultivos adecuados y de sus residuos es además un elemento que contribuye a la seguridad y diversificación de la matriz energética nacional y a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), al sustituir una fracción del uso de los combustibles fósiles en los procesos productivos.

El presente estudio, contratado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa), entrega información básica de algunos parámetros que permiten identificar varias especies vegetales y acuícolas y las zonas de adaptación a las condiciones climáticas y de suelos en Chile, las cuales podrían ser usadas como fuente de biomasa para producir biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

Se hace especial hincapié en que los datos incluidos en las fichas por especie se originaron de diversas fuentes bibliográficas disponibles a la fecha de elaboración del estudio. Estos parámetros no pretenden ser los únicos válidos y categóricos para cada especie y sólo son material de referencia. Las investigaciones y técnicas de manejo que se desarrollen y la disponibilidad de nuevas variedades adaptadas a las más diversas zonas agrícolas de Chile ampliarán los rangos de valores y, por tanto, estos parámetros deben ser revisados y actualizados constantemente.

Las especies incluidas en las monografías son consideradas como potenciales productoras de biomasa bajo la premisa de que no compitan con los recursos suelo y agua destinados a la producción de alimentos. En consideración a lo anterior, se incluyen en este estudio las especies como productoras de residuos agrícolas y agroindustriales en áreas tradicionales de cultivo, o de biomasa en terrenos marginales, susceptibles de industrializarse como fuente de bioenergía.

Antecedentes

Dentro de los cultivos con potencial energético en Chile destacan los cereales tradicionales, como trigo, maíz y cebada, además de otros cultivos, ricos en azúcares, como la papa y la remolacha, los cuales pueden destinarse a la elaboración de bioetanol. Las especies oleaginosas con potencial energético más típicas son la maravilla y el raps. Otras menos comunes son el cártamo y la mostaza, que presentan un alto contenido de aceites para utilizar en la elaboración de biodiesel.

En general, los cereales se distribuyen entre la IV Región de Coquimbo y la X Región de Los Lagos, entre los paralelos 30 ° y 41 °S, donde predomina un clima mediterráneo, que se caracteriza por la presencia de lluvias en la estación fría, un período seco durante la estación cálida y un régimen térmico subtropical. Este clima es apto para el cultivo en

secano de cereales como la cebada y el trigo y, en condiciones de regadío, para la gran mayoría de ellos. La cebada se distribuye un poco más al norte que el resto pudiendo cultivarse desde el paralelo 29 °S, alcanzando un clima de tierra fría que se caracteriza por presencia de heladas con inviernos suaves, donde los cultivos muy sensibles no son factibles. El trigo puede extenderse más al sur que los demás cereales, tolerando menores temperaturas, y logrando establecerse en el clima marino de Valdivia, paralelos 40 ° a 42 °S, con veranos frescos e inviernos relativamente suaves, sin estación seca y sólo dos meses húmedos.

Las especies oleaginosas tienen una distribución similar a la de los cereales, más concentrada en la zona centro-sur, donde domina el clima mediterráneo. Distribución similar tiene la remolacha. La papa es más versátil en cuanto a climas y se distribuye en gran parte del territorio nacional, principalmente de la IV Región de Coquimbo a la X Región de Los Lagos, presenciándose inclusive en la III Región de Atacama y algo en el resto de las regiones del país.

Entre las especies arbustivas con potencial de bioenergía, se encuentran algunas características de la vegetación natural de Chile, como el espino, y algunas especies de atriplex, además de algunas cultivadas, como la tuna. Alto potencial tienen algunas oleaginosas arbustivas, como el ricino y la jojoba, y en estudio están especies nativas como la guindilla (*Guindilia trinervis*) y otras exóticas, como la *Jatropha*. Estas especies, en general, se concentran entre las zonas centro norte y centro sur, principalmente entre las regiones de Coquimbo y del Libertador Bernardo O'Higgins, siendo algunas especies más propicias para el clima y suelos del norte chico, donde los suelos tienden a ser más arenosos y más salinos. Son los casos de la jojoba y el ricino, especies más tolerantes a la salinidad. El espino tiene la más amplia distribución, abarcando toda la zona de clima mediterráneo y clima mediterráneo marino, este último con inviernos suaves y una estación libre de heladas mayor a cuatro meses y medio. Por otro lado, destaca la guindilla, cuya distribución natural está por sobre los 1.500 msnm, donde existen bajas temperaturas, escasez de lluvias y presencia de nieve en el invierno.

El estudio de las algas ha adquirido gran relevancia por el potencial energético de algunas especies, destacando la *Spirulina*, la *Lessonia* y el *Macrocystis*. Las dos últimas presentan una amplia distribución natural en nuestro país, donde la *Lessonia* se distribuye desde la zona norte a la Región de Los Lagos, mientras *Macrocystis* va de la zona central al sur, llegando a encontrarse hasta Magallanes. El cultivo de estas algas para su uso en energía mediante praderas artificiales es un campo de estudio actual por algunas universidades nacionales, a fin de analizar la factibilidad técnica y económica del cultivo. En cuanto a la *Spirulina*, existen piscinas para su producción, ubicadas en el río Huasco en la Región de Coquimbo y algunos sectores de la zona norte. Es entre la II Región de Antofagasta y la V Región de Valparaíso donde Chile cuenta con las condiciones ambientales ideales para el cultivo de *Spirulina*, con una temperatura óptima entre 20 y 30 °C para su desarrollo y una alta luminosidad.

Monografías

En cada una de las Fichas se incluyen los parámetros de requerimiento de clima, suelos y nutrientes para 16 especies de cultivos anuales y 8 especies arbustivas.

Las Fichas 1 a la 24, individual para cada especie, incluyen parámetros utilizados para caracterizar a la especie y por ende sirven de base para definir posteriormente la zona de adaptación más adecuada de estas especies. Los parámetros son los siguientes:

- Requerimientos climáticos:
 - temperatura mínima
 - temperatura óptima
 - temperatura máxima

- foto período
- grados día mayor a 5 °C
- horas de frío
- precipitación
- humedad relativa
- índice de humedad
- período libre de heladas
- susceptibilidad a heladas
- nubosidad
- horas sol
- radiación solar
- evaporación
- altitud
- Requerimientos de suelo:
 - contenido de materia orgánica
 - textura
 - profundidad
 - pedregosidad
 - pH
 - tolerancia a salinidad
 - drenaje
 - pendiente
- Requerimientos fertilización:
 - nitrógeno
 - fósforo
 - potasio

Las fichas han sido agrupadas en cultivos anuales o bienales de cereales, oleaginosas, y raíces y tubérculos. Las especies arbustivas han sido agrupadas en leñosas, oleaginosas y de alto contenido de carbohidratos solubles, como la tuna. Las algas se han agrupado en orden alfabético, presentando la información de la revisión de la literatura sobre ellas, su distribución y experiencias de cultivo en nuestro país.

La información contenida en cada ficha es un compendio de datos obtenidos de la información nacional e internacional (en algunos parámetros cuando no estaba disponible para las condiciones de Chile). Otros parámetros fueron estimados sobre la base de promedios obtenidos de los datos correspondientes a las zonas o regiones agroclimáticas de distribución de la especie en Chile, como son los casos de los índices de humedad, nubosidad, radiación solar y evaporación. A veces se incluyen distintos valores para un mismo parámetro, como resultado de la diversidad de fuentes bibliográficas consultadas y de diversos niveles tecnológicos empleados en la producción de algunas especies. Las regiones de Chile, para fines prácticos, han sido mencionadas con sus números romanos correspondientes. Los requerimientos de fertilización se han expresado como unidades de nutrientes por hectárea: nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O), azufre (SO_4), magnesio (MgO), calcio (CaO) y Boro (B).

Adicionalmente se incluye un glosario de términos utilizados en estas fichas individuales por cultivo.

GLOSARIO

Fotoperíodo	Día corto	< 10 hrs luz
	Día neutro	10 - 14 hrs luz
	Día largo	> 14 hrs luz
Pedregosidad	Sin piedras	<5%
	No pedregoso	<15% piedras
	Pedregoso	15 - 30% piedras
	Muy pedregoso	35 - 60% piedras
	Extremadamente pedregoso	>60% piedras
Pendiente	Plano	0 - 2%
	Suave	2 - 6 %
	Inclinada	6 - 10%
	Muy inclinada	11 - 20%
	Fuertemente inclinada	21 - 30%
	Escarpada	31 - 60 %
Drenaje	Bueno	Sin nivel freático
	Moderadamente bueno	Sin nivel freático, moteados y oxidaciones a 100 cm
	Imperfecto	Nivel freático a 110 cm
	Pobre	Nivel freático a 50 cm
	Muy pobre	Nivel freático a 25 cm
Textura	Gruesa	Textura arenosa
	Moderadamente gruesa	Franco arenosa
	Media	Franco limosa, franco, franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa o franco-arcillo-limosa
	Fina	Arcillo limosa o arcillosa
	Muy fina	Arcillo densa
Contenido de materia orgánica	Bajo	1 - 4 %
	Moderado	5 - 7 %
	Alto	≥ 8
Cociente de transpiración	CT	Q de agua transpirada / Q de MS producida
Regiones de Chile	XV	Región de Arica y Parinacota
	I	Región de Tarapacá
	II	Región de Antofagasta
	III	Región de Atacama
	IV	Región de Coquimbo
	V	Región de Valparaíso
	VI	Región del Libertador General Bernardo O'Higgins
	VII	Región del Maule
	VIII	Región del Bío Bío
	IX	Región de la Araucanía
	XIV	Región de los Ríos
	X	Región de los Lagos

	XI	Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo
	XII	Región de Magallanes y la Antártica Chilena
	XIII	Región Metropolitana de Santiago
Estados de desarrollo	germ.	Germinación
	crec.	Crecimiento
	flor.	Floración
	elong.	Elongación
	fruct.	Fructificación
	org.cosech.	Órgano cosechado
Otros términos	var.	Variedades
	mac.	Macolla
	S/a	Sin antecedentes
Unidades	Centesimales	1 centésima = centésima parte del cielo cubierta por nubes
	mmhos/cm	Unidad que mide la salinidad a través de la conductividad eléctrica
	cal/ cm ² /día ó cal/(cm ² *día)	Del Sistema SI: unidad de energía. Se usa para medir unidades de radiación solar
	erg/cm ² /día	Del sistema CGS: unidad para medir energías muy pequeñas.
	kWh/m ² *día	Expresa energía por unidad de área. Se usa para medir unidades de radiación solar.
	Candela (cd)	Del Sistema SI: unidad de intensidad luminosa

CULTIVOS ANUALES O BIENALES

CEREALES

Ficha 1. Avena (*Avena sativa* L.)

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	28 ° – 43 ° / III a X
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral e invernal
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	2 y 3 (germ.); 5 (crec.); 20 (flor.); 22 (fruct.).
Temperatura óptima	°C	20 (germ.); 26 (crec.); 24-26 (flor.); 24-25 (fruct.).
Temperatura máxima	°C	30 (germ.); 40 (crec.); 33 (flor.); 23 (fruct.).
Fotoperíodo		Día largo, pero hay variedades de Día neutro
Grados/días sobre 5°C	grados/días	1.700
Horas de frío (vernalización)	h	168 – 1.176 (2 – 5 °C)
Precipitación	mm/ciclo	450 a 1.300
Humedad relativa	%	73 promedio, rango 61 a 81 *
Índice de humedad		2 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	60 – 100 Floración a llenado de grano
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	> 14
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	709 promedio *
Evaporación	mm/mes	90
Transpiración	CT	580
Altitud	msnm	0 – 3.000
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Moderado
Textura		Medias; arcillo-limosa, franco-arcillosa
Profundidad	cm	30 a 35 (soiling o pastoreo); > 60
Pedregosidad		Sin piedras a no pedregoso
pH	pH	5,2 a 6,5
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	5
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 – 8
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	100
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	240
Potasio (K ₂ O)	u/ha	150

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 2. Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	30 ° – 42 ° / IV a X
Hábito de crecimiento		Anual, invernal y primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	1 (germ.); 1 (crec.); 5 (flor.); 7 (fruct.).
Temperatura óptima	°C	20 (germ.); 20 (crec.); 16-17 (flor.); 20 (fruct.).
Temperatura máxima	°C	20 (germ.); 28 (crec.); 30 (flor. y fruct.).
Fotoperíodo		Día largo y Día neutro
Grados/días sobre 5°C	grados/días	1.100 – 2.500
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitación	mm/ciclo	500 - 800
Humedad relativa	%	74 promedio, rango 61 a 83 *
Índice de humedad		2 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	60 Floración a llenado de grano
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	10 - 14 (var. día neutro), > 14 (var. día largo)
Radiación solar	cal/(cm²*día)	717 promedio *
Evaporación	mm/mes	93 promedio *
Transpiración	CT	520
Altitud	msnm	0 - 3.500
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Alto
Textura		Medias
Profundidad	cm	> 60
Pedregosidad		Sin piedras a ligeramente pedregoso
pH	pH	6,6 - 7,3
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	12
Drenaje		Bueno a moderadamente bueno
Pendiente	%	0 - 6
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	Colchagua al norte: 60 (secano), 90 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 90 (riego)
	u/ha	Malleco al sur: 100 (suelos rojos), 100 (trumaos)
Fósforo (P_2O_5)	u/ha	Colchagua al norte: 45 (secano), 60 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 75 (riego)
	u/ha	Malleco al sur: 120 (suelos rojos), 190 (trumaos)

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 3. Maíz (*Zea mays* L.)

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	18 ° - 39° (grano) / I a IX
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	8 (germ.); 12 (crec.); 21 (fruct.)
Temperatura óptima	°C	25 (germ.); 30 (crec.); 30 (fruct.)
Temperatura máxima	°C	42 (germ.); 40 (crec.); 32 (fruct.)
Fotoperíodo		Día corto
Grados/día > 10°C	grados/día	900 – 1.500– 2.300
Horas de frío (vernalización)	h	no requiere
Precipitación	mm/ciclo	500 (5 mm/día)
Humedad relativa	%	73 promedio, rango 61 a 81 *
Índice de humedad		1,4 promedio *
Período libre de heladas	días	80 a 180
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	< 10
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	725 promedio *
Evaporación	mm/mes	99 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo	770
Altitud	msnm	0 - 3.300
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Alto
Textura		Media
Profundidad	cm	> 100
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	5,6 a 6,5
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	1,7
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 a 10 (plano hasta inclinada)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	180 - 200
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	120
Potasio (K ₂ O)	u/ha	60

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 4. Sorgo (*Sorghum vulgare*).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	35 ° - 41 ° / Secano interior VII a X (Osorno)
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	10 3 – 15 (germ.) ; 16 (crec.)
Temperatura óptima	°C	27
Temperatura máxima	°C	38
Fotoperíodo		Día corto, hay de día neutro
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.000 - 1.400
Horas de frío (vernalización)	h	No requiere
Precipitación	mm/ciclo	450 - 650
Humedad relativa	%	73 promedio, rango: 60 a 80 *
Índice de humedad		2,2 promedio *
Período libre de heladas	días	130 - 160
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	<10 (día corto), 10 - 14 (día neutro)
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	703 promedio *
Evaporación	mm/mes	85 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo	450 a 750
	mm/día	5 - 6
Altitud	msnm	0 - 1.700
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Tolera suelos bajo contenido
Textura		Franco-limosas, franco-arcillo-limosas, no calcáreos
Profundidad	cm	Mediana
Pedregosidad		Sin piedras a pedregosos
pH	pH	7 óptimo; rango 5 a 8,5
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	4 (bajo riego)
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	< 2% (mecanizado), < 4% (semimecan. o manual)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	80 - 200 (con riego)
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	180
Potasio (K ₂ O)	u/ha	36

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 5. Trigo candeal (*Triticum durum* Desf.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	30 ° - 36 ° / IV a VII (var. Corcolén: RM, V a VI); (var. Llaleta: Vallenar a Talca)
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	2 (germ., emerg., mac., elong.hojas); 6 (elong. tallo, fase reproductiva.)
Temperatura óptima	°C	15 – 20; más gluten y proteína a 20 - 25
Temperatura máxima	°C	30
Fotoperiodo		Día neutro y Día largo
Grados/día sobre 5°C	grados/día	150 (germ.); 540 (florac.); 1.045 - 1.200 (fructif.)
Horas de frío (vernalización)	h	no requiere
Precipitación	mm/ciclo	500 - 800
Humedad relativa	%	74 promedio, rango 66 a 83 *
Índice de humedad		1,6 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	210-270 (secano int. centro), 150-180 (sec. int. sur) Floración a llenado de grano
Nubosidad	centesimales	0,4 promedio, rango 0,4 a 0,5
Horas sol	h/día	10 - 14 ; >14
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	747 promedio *
Evaporación	mm/mes	113 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo	316
	mm/día	5 - 6
Altitud	msnm	0 a más de 3.000
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Moderado
Textura		Media
Profundidad	cm	> 50; > 30
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	5,6 - 6,5
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	6
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 a 10 (plano a inclinada)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	Colchagua al norte: 60 (secano), 90 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 90 (riego)
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	Colchagua al norte: 45 (secano), 60 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 75 (riego)
Potasio (K ₂ O)	u/ha	80

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 6. Trigo panadero (*Triticum aestivum* L.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	30 ° - 42 ° / IV a X, en riego y seco
Hábito de crecimiento		Anual. Primavera (var. Pandora: RM a IX) Invernal (var. Kumpa INIA: VIII a X) Alternativo (var. Rupanco: VIII a X)
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	0-1 (germ. y crec.); 10 (flor.); 12 (fruct.)
Temperatura óptima	°C	20 - 25 (germ.); 18 - 20 (crec.); 18 - 24 (flor.); 24 - 25 (fruct.)
Temperatura máxima	°C	37 (germ. y crec.); 32 (flor.); 31 (fruct.)
Fotoperíodo		De Día largo y Día Neutro
Grados/día sobre 5°C	grados/día	900 - 1.000 (primavera); 1.100 - 1.300 (invernal)
Horas de frío (vernalización)	h	No requiere (primavera); 800 (invernal)
Precipitación	mm/ciclo	500 - 800
Humedad relativa	%	74 promedio, rango 61 a 81 *
Índice de humedad		1,6 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	210 - 270 (secano int. centro), 150 - 180 (secano. int. sur) Floración a llenado de grano
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango: 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	10 - 14, > 14
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	717 promedio *
Evaporación	mm/mes	93 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo mm/día	316 5 - 6
Altitud	msnm	0 a más de 3.000
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Moderado
Textura		Media; franco arcillo limosas y franco arcillosas
Profundidad	cm	> 50
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	5,5 - 7,0
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	6
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 a 10
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	Colchagua al norte: 60 (secano), 90 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 90 (riego)
	u/ha	Malleco al sur: 100 (suelos rojos), 100 (trumaos)
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	Colchagua al norte: 45 (secano), 60 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 75 (riego)
	u/ha	Malleco al sur: 120 (suelos rojos), 190 (trumaos)

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 7. Triticale (*Triticosecale* Wittmack. (*Triticum* spp. x *secale cereale*)).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	33 ° - 41 ° / V (San Felipe); RM a IX (Aysén); X (Osorno)
Hábito de crecimiento		Anual, invernal, primaveral (var. Aguacero INIA) y alternativo (var. Peteroa y Antuco INIA)
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	5
Temperatura óptima	°C	13
Temperatura máxima	°C	30
Fotoperiodo		Día neutro (primaveral), Día largo y Día neutro (invernal)
Grados/día sobre 5°C	grados/día	900 - 1.000 (primaveral); 1.100 - 1.300 (invernal)
Horas de frío (vernalización)	h	No requiere (primaveral), 670 - 1.340 (< 9°C, invernal)
Precipitaciones	mm/ciclo	229 – 762
Humedad relativa	%	74 promedio, rango: 61 a 81 *
Índice de humedad		1,7 promedio *
Período libre de heladas	días	210 - 270 (secano int. centro), 150 - 180 (secano int. sur)
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango: 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	> 12 (primaveral), > 14 (invernal)
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	714 promedio *
Evaporación	mm/mes	91 promedio *
Altitud	msnm	0 a > 3.000
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Tolera bajo contenido
Textura		Media
Profundidad	cm	> 50
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	Bajo ácido, tolera más ácido que el trigo
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	6,1
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 a 10 (plano a inclinada)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	Colchagua al norte: 60 (secano), 90 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 90 (riego)
	u/ha	Malleco al sur: 100 (suelos rojos), 100 (trumaos)
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	Colchagua al norte: 45 (secano), 60 (riego)
	u/ha	Curicó – Bío Bío: 75 (secano), 75 (riego)
	u/ha	Malleco al sur: 120 (suelos rojos), 190 (trumaos)

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

OLEAGINOSOS

Ficha 8. Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	34 ° a 38 °/ VI a VIII
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral e invernol
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	7,4 (germ.); 15 (crec.)
Temperatura óptima	°C	20 - 25
Temperatura máxima	°C	30
Fotoperiodo		Día neutro
Grados/días	grados/días	
Horas de frío (vernalización)	h	< 14 - 16
Precipitaciones	mm/ciclo	600 - 1.200
Humedad relativa	%	68 promedio *
Índice de humedad		1,8 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas		Floración
Nubosidad	centesimales	s/a
Horas sol	h/día	10 a 14
Radiación solar	cal/(cm²*día)	729 promedio *
Evaporación	mm/mes mm/día	700 - 1000 5 - 6
Evapotranspiración		
Altitud	msnm	10 a 2.000
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Adaptada a bajo contenido
Textura		Franco, franco-arcillo-limosas y franco-arcillosas
Profundidad	cm	> 100; 35 - 50 mínima
Pedregosidad		
pH	pH	7 óptimo, rango: 6 a 8
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	5,3
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	135

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 9. Lino (*Linum usitatissimum* L.)

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	40 ° - 41 ° / X a XIV
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	2 (germ.); 8 (crec.)
Temperatura óptima	°C	25 (germ.); 16 - 20 (flor.)
Temperatura máxima	°C	30 (germ. y crec.); 25 (flor.)
Fotoperiodo		Día largo
Grados/días sobre 0°C	grados/días	1.180 (siembra a maduración)
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitación	mm/ciclo	400 - 750
Humedad relativa	%	81 promedio *
Índice de humedad		3 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	Floración
Nubosidad	centesimales	0,7 promedio *
Horas sol	h/día	> 14
Radiación solar	cal/(cm²*día)	681 promedio *
Evaporación	mm/mes	64 promedio *
Altitud	msnm	
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Alta
Textura		Media
Profundidad	cm	> 80
Pedregosidad		Sin piedras a no pedregoso
pH	pH	5 a 6
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	1,7
Drenaje		Bueno a moderadamente bueno
Pendiente	%	0 - 6 (plano a suave)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	70 - 120
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	40 - 70
Potasio (K ₂ O)	u/ha	40 - 70

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 10. Maravilla (*Helianthus annuus* L.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	30 ° - 37 ° / IV a VIII
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	6 (germ., flor. y fruct.) 10 (crec.)
Temperatura óptima	°C	25 (germ.); 18 - 22 (crec.); 21 - 24 (flor. y fruct.)
Temperatura máxima	°C	35 (germ., crec. y fruct.); 26 (flor.)
Fotoperíodo		Día neutro
Grados/días > 10°C	grados/días	800 - 1.600 total
Horas de frío (vernalización)	h	no requiere
Precipitación	mm/ciclo	600 a 1.000;
Humedad relativa	%	71 promedio, rango: 61 a 81 *
Índice de humedad		1,5 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	130 - 145 Plántula - maduración; 6 - 8 hojas verdaderas
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango: 0,4 a 0,5
Horas sol	h/día	10 a 14
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	717 promedio *
Evaporación	mm/mes	93 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo	706
	mm/día	12 - 15
Altitud	msnm	0 - 1.900
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Alto; ricos en materia orgánica
Textura		Media franco, franco-arcillosas, arcillosa
Profundidad	cm	> 80
Pedregosidad		Sin piedras a no pedregoso
pH	pH	6,6 - 7,3
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	5
Drenaje		Bueno a moderadamente bueno
Pendiente	%	0 - 6 (plano a suave)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	60 - 100
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	40 - 60 (100 en trumaos)
Potasio (K ₂ O)	u/ha	48

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 11. Mostaza (*Brassica juncea* L.).

Variable	Unidad	Valor
Mostaza		
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	36 ° - 41 °/ VIII, IX a X
Hábito de crecimiento		Anual, evaluando siembra otoñal
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	6
Temperatura óptima	°C	15 - 18
Temperatura máxima	°C	27
Fotoperíodo		Día largo
Grados/días	grados/días	
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitaciones	mm/ciclo	500 – 4.200
Humedad relativa	%	Alta
Índice de humedad		2,5 promedio *
Período libre de heladas		
Nubosidad		0,6 promedio, rango: 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	>14
Radiación solar	cal/(cm²*día)	696 promedio *
Evaporación	mm/mes	77 promedio *
Altitud	msnm	500 a 4.200
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Moderada
Textura		Pesados, arenosos-arcillosos
Profundidad	cm	
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	5,5 a 6,8 óptimo, rango: 4,3 a 8,3
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	4
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	112 - 213
Fósforo (P_2O_5)	u/ha	34 - 45
Potasio (K_2O)	u/ha	34 - 67
Azufre (S)	u/ha	22 (suelos bien drenados)

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 12. Nabo forrajero (*Brassica rapa* L.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	35 ° - 44 ° / VII a la XI
Hábito de crecimiento		Primaveral e invernal
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	0 (primeros estados des.); 10 (crec.)
Temperatura óptima	°C	19 a 26
Temperatura máxima	°C	27,4
Fotoperíodo		Día largo
Grados/día	grados/día	350 - 550
Horas de frío (vernalización)	h	Requiere período de frío
Precipitación	mm/ciclo	350 - 450
Humedad relativa	%	73 promedio, rango: 61 a 81 *
Índice de humedad		2,2 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	Flor a silicua verde
Nubosidad	%	0,5 promedio, rango: 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	> 14
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	700 promedio *
Evaporación	mm/mes	83 promedio *
Altitud	msnm	50 a 2.300
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Alta, buena fertilidad natural
Textura		Liviana, óptimo franca
Profundidad	cm	> 50
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	Óptimo 5,5 a 7
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	2,3
Drenaje		Buen drenaje
Pendiente	%	0 a 6 (plano a suave)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	138
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	150 - 300
Calcio (CaO)	u/ha	325 **
Magnesio (MgO)	u/ha	109 **
Azufre (S)	u/ha	93 **
Boro (B)	u/ha	2 - 3

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

**Generalmente se aplican en forma de dolomita y yeso con el objetivo de neutralizar la fertilización nitrogenada y aportar estos nutrientes.

Ficha 13. Raps (*Brassica napus* L.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	33 ° - 41°/ V a X
Hábito de crecimiento		Anual, invernal y primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	2 (germ.); 4 (crec.).
Temperatura óptima	°C	20 (germ.); 19 - 24 (crec.).
Temperatura máxima	°C	30 (germ. y crec.).
Fotoperiodo		Día largo
Grados/días sobre 10°C	grados/días	350 - 550
Horas de frío (vernalización)	h	1.000 bajo 7 °C
Precipitaciones	mm/ciclo	300 - 500
Humedad relativa		73 promedio, rango: 61 a 81 *
Índice de humedad		1,8 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas		Floración
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango: 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	> 14
Radiación solar	cal/(cm²*día)	709 promedio *
Evaporación	mm/mes	90 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo	385
Altitud	msnm	50 a 2.300
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Alta
Textura		Medias; franca, franca-limosa, franca arcillo-arenosa y limosa
Profundidad	cm	> 60
Pedregosidad		Sin piedras a no pedregoso
pH	pH	5,3 a 6
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	4
Drenaje		Bueno a moderadamente bueno
Pendiente	%	0 - 10 (plano a pendiente inclinada)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	invernal: 90 - 150 (lomaje), 120 - 200 (plano) primaveral: 100 - 180 (lomaje), 120 - 200 (plano)
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	invernal y primaveral: 150 - 300 (lomaje y plano)
Potasio (K ₂ O)	u/ha	50 - 70

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 14. Soya, soja (*Glycine max*).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	29 ° - 38° / IV a VIII (Coquimbo a Bío Bío - Malleco)
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	10 (germ. y crec.)
Temperatura óptima	°C	15 - 18 (siembra); 25 - 30 (desarrollo); 25 (floración).
Temperatura máxima	°C	40
Fotoperiodo		Día corto
Grados/día	grados/días	
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitación	mm/ciclo	300
Humedad relativa	%	73 promedio, rango: 61 a 83 *
Período libre de heladas		
Nubosidad	centesimales	0,4 promedio, rango: 0,4 a 0,5 *
Horas sol	h/día	< 10
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	741 promedio *
Evaporación	mm/mes	109 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo	385
Altitud	msnm	0 - 1.600
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Tolera bajo contenido, suelos pobres
Textura		Francos
Profundidad	cm	> 60 (primeros 60 cm gran masa radicular) 1,5 m óptimo (raíz pivotante)
Pedregosidad		
pH	pH	6 a 6,8
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	5
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 - 2 (plano, nivelado)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	50
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	40 - 60 (100 en trumaos); 100 - 150
Potasio (K ₂ O)	u/ha	120 - 150

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

RAÍCES Y TUBERCULOS

Ficha 15. Remolacha (*Beta vulgaris* L.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	34 - 41° / VI a X
Hábito de crecimiento		Anual (remolacha), bienal (semilla), primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	3 (germ.); 10 (crec.); 6 – 8 (mad.)
Temperatura óptima	°C	>7 (germ.); 18 - 22 (crec.).
Temperatura máxima	°C	30 (germ.); 20 (alargamiento escape floral, luego de vernalización); 30 (crec.).
Fotoperiodo		Día Largo
Grados/días sobre 5°C	grados/días	1.400
Horas de frío (vernalización)	H	1.344 a 1.680 entre 2 - 8 °C
Precipitación	mm/ciclo	500 a 900
Humedad relativa	%	74 promedio, rango: 61 a 81 *
Índice de humedad		2,6 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas		Estado emergencia a cotiledón
Nubosidad	centesimales	0,6 promedio, rango: 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	16 para inducción floral (luego de vernaliz.); >14
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	696 promedio *
Evaporación	mm/mes	77 promedio *
Evapotranspiración	mm/mes mm/día	5 - 6
Altitud	msnm	0 - 3.000
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		
Textura		Media; francos, textura media ligeramente pesada
Profundidad	cm	> 100
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	< 6 a 7,3
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	7
Drenaje		Bueno a moderadamente bueno
Pendiente	%	0 - 6 (plano a suave)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	96 - 192 (Curicó/Bío Bío), 80 - 112 (Bío Bío al sur)
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	150 - 400
Potasio (K ₂ O)	u/ha	80 - 120
Azufre (S)	u/ha	80 - 100
Boro (B)	u/ha	10
Calcio (Ca)	u/ha	arenosos: 224 - 364 (Curicó/Bío Bío); 364 (Temuco al sur)
	u/ha	trumaos: 364- 560 (Curicó/Linares); 560 - 728 (Ñuble/Bío Bío); 728 - 1.120 (Temuco al sur)
	u/ha	arcillosos: 560 - 840 (Curicó/Linares); 728 – 1.120 (Ñuble/ Bío Bío); 1.120 – 1.456 (Temuco al sur)

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 16. Papa (*Solanum tuberosum* L.)

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	28 ° – 42,5 ° / IV a X, algo III y resto país
Hábito de crecimiento		Anual, primaveral
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	15 (germ.); 5 (crec.), 10 (cosecha).
Temperatura óptima	°C	15-20 (germ.) 20 (crec.) 15-20 (cosecha)
Temperatura máxima	°C	25 (germ.) 30 (crec.) 30 (cosecha)
Fotoperiodo		Día corto, neutro y largo
Grados/días sobre 10°C	grados/días	900 - 1.100
Horas frío (vernalización)	h	No requiere, pero mejora la producción
Precipitaciones	mm/ciclo	500 (var. 120 días) - 700 (var. 150 días)
Humedad relativa	%	74 promedio, rango: 61 a 83 *
Índice de humedad		1,6 promedio *
Período libre de heladas	días	> 90
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio, rango: 0,4 a 0,7 *
Horas sol	h/día	10 - 14
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	717 promedio *
Evaporación	mm/mes	93 promedio *
Evapotranspiración	mm/ciclo	571
Altitud	msnm	0 - 600
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Alta. Rico en materia orgánica
Textura		Medias; franco, franco-arenosos y franco-limosos
Profundidad	cm	> 60
Pedregosidad		Sin piedras a no pedregoso
pH	pH	7,4 a 7,8
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	1,7
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 a 10 (plano a inclinada)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	150 - 200
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	20 - 25
Potasio (K ₂ O)	u/ha	150 - 180
Calcio (CaO)	u/ha	40 - 60
Magnesio (MgO)	u/ha	20 - 30

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

CULTIVOS PERENNES

ARBUSTIVOS LEÑOSOS

Ficha 17. Atriplex (*Atriplex remanda*).

Variable	Unidad	Valor
Atriplex		
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	28 ° - 32 ° / III (Río Huasco) a IV (Quilimarí); IV a V (Chincolco)
Hábito de crecimiento		Perenne
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	- 5
Temperatura óptima	°C	30 - 35
Temperatura máxima	°C	s/a
Fotoperíodo		
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.885 promedio *
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitación	mm	8 - 224; min. 150
Humedad relativa	%	77 promedio, rango: 69 a 82 *
Índice de humedad		0,3 promedio *
Período libre de heladas	días	Ausencia período heladas
Nubosidad	centesimales	0,4 promedio *
Horas sol	h/día	> 12
Radiación solar	cal/(cm²*día)	766 promedio *
Evaporación	mm/mes	108 promedio *
Altitud	msnm	0 a 1.500
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Tolera bajo contenido
Textura		Arenosos- areno-limosos; arenosos
Profundidad		Profundos
Pedregosidad		Sin piedras a pedregosos
pH	pH	6,8 - 8,2
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	12 a 16
Drenaje		Bueno
Pendiente		0 -10 (plano a inclinado)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	s/a
Fósforo (P_2O_5)	u/ha	s/a
Potasio (K_2O)	u/ha	s/a

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 18. Atriplex (*Atriplex nummularia*).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	29 ° - 34 ° / IV (mayoría) a VI (Rengo)
Hábito de crecimiento		Perenne
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	- 8 a - 12 (por algunas horas solamente)
Temperatura óptima	°C	30 - 35
Temperatura máxima	°C	s/a
Fotoperiodo		
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.655 promedio *
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitación	mm/ciclo	50 – 200
Humedad relativa	%	76 promedio, rango: 69 a 82 *
Índice de humedad		0,4 promedio *
Período libre de heladas	días	307 promedio *
Nubosidad	centesimales	0,4 promedio, 0,4 a 0,5 *
Horas sol	h/día	12
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	756 promedio *
Evaporación	mm/mes	112 promedio *
Altitud	msnm	
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Contenido medio o moderado
Textura		Óptimo media, hasta delgados con texturas pesadas y pobres y arenosos
Profundidad		Media
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	Tolera suelos salinos y ácidos
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	16 a 22
Drenaje		Bueno
Pendiente		0 a 6 (plano a suave)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	38

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 19. Espino (*Acacia caven*).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	29 ° - 37 ° / IV (Vicuña) a VIII (Los Ángeles)
Hábito de crecimiento		Caducifolio
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	- 3.2 (clima mediterráneo); 9,4 (clima mediterráneo - marino)
Temperatura óptima	°C	14 – 15
Temperatura máxima	°C	16 – 31,3
Fotoperíodo		
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.324 promedio *
Horas de frío (vernalización)	h/año	
Precipitación	mm/ciclo	28 a 1.338;
Humedad relativa	%	63 a 100
Índice de humedad		1,5 promedio *
Período libre de heladas	días/año	286 promedio *
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio *
Horas sol	h/día	12
Radiación solar	cal/(cm²*día)	719 promedio *
Evaporación	mm	63 - 150
Altitud	msnm	0 – 1.300
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Tolera bajo contenido (suelos pobres y erosionados)
Textura		Medias a pesadas, franco-arenosa
Profundidad	cm	Media a profunda
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	
Drenaje		
Pendiente	%	0 - 6 (plano a suave)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	Mejores resultados con fertilización, aunque no es necesaria.
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	
Potasio (K ₂ O)	u/ha	

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

ARBUSTIVOS OLEAGINOSOS

Ficha 20. Guindilla (*Guindilia trinervis*, *Valenzuelia trinervis*).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	33 ° – 35 ° / Crece en Cordillera de Los Andes y de la Costa, entre Valparaíso y Maule
Hábito de crecimiento		Perenne
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	6,2 promedio; 1,2 (media julio, mes más bajo)
Temperatura óptima	°C	12,7 promedio
Temperatura máxima	°C	19,5 promedio; 22,9 (media enero, mes más alto)
Fotoperíodo		<i>En estudio</i>
Grados/días sobre 10°C	grados/días	680
Horas de frío (vernalización)	h/año	<i>En estudio</i>
Precipitación	mm/año	715; tolera 5 - 6 meses de sequía **
Humedad relativa	%	53 promedio *
Período libre de heladas	días	184
Índice de humedad		1,4 promedio *
Nubosidad	centesimales	0,4 promedio *
Horas sol	h/día	12
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	723 promedio *; adaptada a alta radiación solar **
Evaporación	mm/mes	89 promedio *
Altitud	msnm	> 1.500 (hasta los 2.000 se ha observado) **
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Baja , desde suelos inertes a alta materia orgánica **
Textura		Adaptada a amplio rango **
Profundidad	cm	
Pedregosidad		Sin piedras a muy pedregoso **
pH	pH	Básicos; también se han medido ácidos 5,2 a 5,8 **
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	<i>En estudio</i>
Drenaje		Buen drenaje **
Pendiente	%	0 - 37 (Plano a escarpada)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	<i>En estudio</i>
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	
Potasio (K ₂ O)	u/ha	

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

** Ing. Agrónoma, Doris Prehn, comunicación personal (2009).

Ficha 21. *Jatropha* (*Jatropha curcas*).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	23 ° - 32 ° / Zona norte, II a VIII; III (Vallenar); IV (Coquimbo, Ovalle, Illapel).
Hábito de crecimiento		Perenne
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	0; 20 (germ.)
Temperatura óptima	°C	20
Temperatura máxima	°C	35
Fotoperíodo		Indiferente
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.885 *
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitación	mm	250 - 2.380;
Humedad relativa	%	75 promedio *
Índice de humedad		0,1 promedio *
Período libre de heladas	días	334 promedio *
susceptible a heladas		
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio *
Horas sol	h/día	
Radiación solar	cal/(cm²*día)	781 promedio *
Evaporación	mm/mes	128 promedio *
Altitud	msnm	0 – 1.200
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		
Textura		Arenosos
Profundidad	cm	> 60
Pedregosidad		Sin piedras a pedregosos; adaptada a suelos rocosos
pH	pH	5 a 7
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	Muy tolerante; adaptada a suelos salinos
Drenaje		Imperfecto a bueno
Pendiente		0 a 20 (plano a muy inclinado)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	12,3
Fósforo (P_2O_5)	u/ha	2,2
Potasio (K_2O)	u/ha	4,4

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 22. Jojoba (*Simmondsia chinensis*).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	28 ° - 31 ° / III (Vallenar) - IV (Ovalle)
Hábito de crecimiento		Perenne
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	-2 (daño a yemas florales); 0 (desarrollo inicial)
Temperatura óptima	°C	24 – 38
Temperatura máxima	°C	45
Fotoperíodo		s/a
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.885 promedio *
Horas de frío (vernalización)	h	
Precipitación	mm/anual	; 75 - 450
Humedad relativa	%	75 promedio *
Índice de humedad		0,1 promedio *
Período libre de heladas	días	334 promedio *
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio *
Horas sol	h/día	12
Radiación solar	cal/(cm ² *día)	781 promedio *
Evaporación	mm/mes	128 promedio *
Altitud	msnm	0 a 1.600
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Bajo contenido, suelos pobres
Textura		Arenosa, limo-arenoso, franca; franco-arenosa
Profundidad	cm	Profundos
Pedregosidad		Sin piedras a pedregosos
pH	pH	7,3 a 8,2
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	35
Drenaje		Bueno
Pendiente	%	0 a 10 (plano a inclinada)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	50 - 120
Fósforo (P ₂ O ₅)	u/ha	s/a
Potasio (K ₂ O)	u/ha	s/a

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Ficha 23. Ricino, higuera (*Ricinus communis* L.).

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	18 ° - 37 ° / I (var. nativa); III y IV (valle norte chico) a VIII
Hábito de crecimiento		Perenne (var. nativa: sanguínea, morada); bienal (var. exóticas: Baker 296)
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	15
Temperatura óptima	°C	20 - 24
Temperatura máxima	°C	40
Fotoperíodo		Día largo
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.885 promedio (var. exóticas) *
Horas de frío bajo 7 °C	h	400 - 600 (III Región)
Precipitaciones	mm	> 500 – 700 (VII a VIII regiones)
Humedad relativa	%	75 promedio (var. exóticas) *
Índice de humedad		0,1 promedio *
Período libre de heladas	días	150 a 180 ; frutos requieren 5 a 6 meses sin heladas
Nubosidad	centesimales	0,5 promedio (var. exóticas) *
Horas sol	h/día	12
Radiación solar	cal/(cm²*día)	781 (var. exóticas)*
Evaporación	mm/mes	128 (var. exóticas) *
Altitud	msnm	0 a 1.200
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		Tolera suelo pobre; alta en suelos arcillosos
Textura		Franco a franco-arenosos
Profundidad	Cm	>60; 150 (ideal para desarrollo raíz principal).
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	Cercano a 6
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	Tolera suelos salinos
Drenaje		Buen drenaje
Pendiente	%	0 - 12
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	22,5
Fósforo (P_2O_5)	u/ha	45
Potasio (K_2O)	u/ha	50

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

ARBUSTIVAS ALTO CONTENIDO CARBOHIDRATOS

Ficha 24. Tuna (*Opuntia ficus indica* Mill.)

Variable	Unidad	Valor
Distribución	° lat. Sur/ Regiones	30 ° - 35 ° / IV (Vicuña) a VII (Curepto)
Hábito de crecimiento		Perenne
Requerimientos climáticos		
Temperatura mínima	°C	-10
Temperatura óptima	°C	18 - 25 (desarr.); 25 - 32 (madur. frutos).
Temperatura máxima	°C	20 - 30
Fotoperíodo		Día neutro
Grados/días sobre 10°C	grados/días	1.659 promedio *
Horas de frío (vernalización)	h	No requiere
Precipitaciones	mm	100 – 125
Humedad relativa	%	72 promedio, rango 69 a 73 *
Índice de humedad		0,4 promedio *
Período libre de heladas susceptible a heladas	días	Máx. 5 heladas/año Floración
Nubosidad	centesimales	0,4 promedio *
Horas sol	h/día	10 a 14
Radiación solar	cal/(cm²*día)	756 promedio *
Evaporación	mm/mes	115 promedio *
Altitud	msnm	0 - 2.000
Requerimientos de suelo		
Contenido materia orgánica		
Textura		Finas y francas; livianos y arenosos
Profundidad	cm	> 20 - 40
Pedregosidad		Sin piedras a pedregoso
pH	pH	7 - 9,5
Tolerancia a salinidad	mmhos/cm	2,5
Drenaje		Bueno a imperfecto
Pendiente	%	0 - 6 (plano a suave)
Requerimientos fertilización		
Nitrógeno (N)	u/ha	60
Fósforo (P_2O_5)	u/ha	s/a
Potasio (K_2O)	u/ha	54
Mg (MgO)	u/ha	18
S (SO_4)	u/ha	66

* Elaboración propia con datos del Mapa Agroclimático de Chile y antecedentes de distribución de la especie en nuestro país.

Algas

Lessonia sp.

Distribución

Lessonia nigrescens es el alga dominante en áreas intermareales rocosas en el sur del Perú y en Chile (Santelices, 1989, citado por Vásquez y Erika A. Fonck, 1993).

Lessonia nigrescens se encuentra a lo largo de toda la costa chilena, desde Arica a Tierra del Fuego, formando forestas submarinas en lugares rocosos y en la zona inferior de las mareas. Se la puede ver colgando de las rocas verticales, por lo que recibe el nombre de “chascón” y alcanza su máximo desarrollo en las costas abiertas, pero se la encuentra también en los estrechos y bahías (Etcheverry, 1958).

Entre el área norte y la central, hasta Valparaíso, están presentes *Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata*, que habitan ambientes sumergidos y pueden medir hasta cuatro metros, continuando su distribución hacia el sur. *L. nigrescens* se extiende con mayor intensidad entre Puerto Montt y Chiloé hasta Magallanes y el Cabo de Hornos.

En el área magallánica, pero especialmente en el Canal Beagle y el Cabo de Hornos se suman a *L. nigrescens* las especies *L. flavicans* y *L. vadosa*. Estas últimas se encuentran desde el Canal Trinidad (49 °S) hasta el Cabo de Hornos (55 °S). A su vez, *L. flavicans* se encuentra en las islas subantárticas (Santelices 1989, citado por UCV, 1996).

L. trabeculata forma praderas sublitorales extensas en todo el litoral norte, centro y centro sur, extendiéndose desde 0 m hasta 20 m o más metros de profundidad.

Antecedentes

Oliveira (1989, citado por Vásquez *et al*, 1993) sostiene que el cultivo de macroalgas para la producción de alginatos es innecesario en países como Argentina, Perú y Chile. Estos países tienen suficiente biomasa de alginofitas como para pensar en actividades que aumenten aún más la materia prima ya existente. No obstante, la recuperación de poblaciones de macroalgas expuestas a perturbaciones naturales podría efectuarse a través de actividades de cultivo y repoblamiento masivo.

El efecto catastrófico del fenómeno de El Niño sobre *Lessonia nigrescens* y *Lessonia trabeculata* en el norte de Chile, ha promovido algunas actividades de cultivo y de repoblamiento. Esporofitos de *L. trabeculata*, obtenidos en condiciones de laboratorio, fueron cultivados masivamente en el mar a tres metros de profundidad. La tasa máxima de crecimiento lineal alcanzada fue de $7,5 \pm 1,6$ mm/d durante verano tardío (Edding *et al.*, 1990, citado por Vásquez *et al*, 1993). Estos autores sugieren que el cultivo de *Lessonia trabeculata* en el mar puede ser utilizado como una alternativa de repoblamiento de áreas sobreexplotadas o sobrepastoreadas.

Los trasplantes experimentales de ejemplares juveniles y adultos de *L. nigrescens* han sido ineficaces para repoblar áreas intermareales rocosas en el norte de Chile. Aun cuando las plantas tienen una buena capacidad de readhesión, la constitución granítica del sustrato y lo expuesto de las costas del Pacífico Sur (entre 18 °- 42 °S) impiden la permanencia de elementos de sujeción usados en actividades de repoblamiento (Vásquez & Tala, 1992, citado por Vásquez *et al*, 1993). La “siembra de esporas” (40 litros para 10 m² de costa [200.000 esporas/ml]) y de “atados de frondas reproductivas” de *Lessonia nigrescens*, permitieron recuperar los patrones de distribución y abundancia de esta especie, en áreas intermareales del norte de Chile (Vásquez & Tala, en prensa, citado por Vásquez *et al*, 1993).

Requerimientos climáticos

De acuerdo a un estudio realizado por la Universidad Católica de Valparaíso sobre la prefactibilidad técnica para el cultivo de algas nativas, los antecedentes técnicos de cultivo y manejo para *Lessonia* se basan en aquellos existentes para el orden Laminariales, principalmente géneros *Lessonia*, *Laminaria*, *Macrocystis* y *Alaria* (UCV, 1996). Según Matsui *et al*, (1992, citado por UCV, 1996) alternando luz blanca con azul o verde, los gametofitos crecen y se ramifican rápidamente llegando a su fertilidad antes que aquellos sometidos a cultivo solamente con luz blanca, mientras que la luz roja favorece la permanencia latente de fertilidad e inhibe el crecimiento de esporofitos.

Algunos trabajos con *L. nigrescens*, manipulando intensidades de iluminación, han concluido sobre el rol importante que juega ésta en la fertilidad de gametofitos, su desarrollo y tiempo de fecundación (UCV, 1996).

En cuanto a temperaturas, esta variable incide en el desarrollo de los gametofitos. Egan *et al*. (1989) y Penniman *et al*. (1988, ambos citados por UCV, 1996) afirman que el crecimiento óptimo de éstos para *Laminaria longicruris* se desarrolla entre 15 ° y 20 °C, presentando un significativo detrimento a temperaturas inferiores a este rango. Para *Lessonia abyssalis* se han señalado temperaturas óptimas levemente superiores a los 18° – 20 °C (da Costa Braga *et al*, 1994, citado por UCV, 1996).

***Macrocystis* sp.**

Distribución

En Chile *Macrocystis pyrifera* se distribuye desde Tocopilla (28 °S) (Levring 1960), hasta el Cabo de Hornos (55 °S) (Hoffmann & Santelices, 1997; Buschmann *et al.* 2004; citados por Plana, Mansilla y Navarro, 2007). Sus poblaciones forman cordones continuos paralelos a la costa, de hasta 100 m de ancho, habitando preferentemente áreas protegidas y semiprotegidas del oleaje (Plana *et al.*, 2007). *M. pyrifera* forma extensos cinturones costeros en el sur de Argentina y Chile (Santelices & Ojeda, 1984; Dayton, 1985; citados por Vásquez *et al.*, 1993), constituyendo la mayor reserva mundial de alginatos.

En las áreas norte y central, hasta Valparaíso, está presente la especie *Macrocystis integrifolia*. Siguiendo desde la zona central hasta Puerto Montt y Chiloé, es reemplazada paulatinamente por *M. pyrifera*. Ésta continúa su distribución desde Puerto Montt y Chiloé hasta Magallanes, especialmente en el Canal Beagle y el Cabo de Hornos (Programa manejo y gestión de macroalgas, 2001).

M. integrifolia crece desde Arica a Talcahuano (Etcheverry, 1958). *M. integrifolia* forma pequeños bancos submareales en áreas semiexpuestas y protegidas a lo largo de la costa del Pacífico, entre los 4° y los 37 °S.

Hábito de crecimiento

M. pyrifera es una especie perenne; sin embargo, los renuevos son posibles en las partes basales de las frondas (Etcheverry, 1958).

Requerimientos climáticos

La luz del sol estimula el crecimiento de *Macrocystis* sp., especialmente en épocas de mayor iluminación (primavera - verano). Así como temperatura, luz, nutrientes y abonos en el agua de cultivo ayudan a estas algas, la existencia de sustratos o fondos de piedra permiten también que existan buenas condiciones para su desarrollo.

Hay factores o condiciones climáticas adversas especialmente en la zona centro-norte y norte de Chile, como temperaturas muy elevadas del agua por efecto de El Niño, temperaturas superiores a 20 °C, 25 °C o casi 30 °C (dependiendo de la latitud a la que se mida), ocasionan la destrucción de estas praderas, dificultando su recuperación.

M. pyrifera se distribuye hasta la Región de Magallanes, la cual se caracteriza por estar en el límite transaccional entre el clima trasandino y el clima de estepa frío, recibiendo influencias de ambos. Las temperaturas medias anuales se encuentran en torno a 5,8 °C. La precipitación media anual fluctúa entre los 400 a 620 mm, y los registros más altos de precipitación ocurren en verano y otoño (Pisano, 1977, citado por Plana *et al.*, 2007). La temperatura superficial del agua decrece considerablemente durante la época invernal (junio/julio) registrándose valores que varían entre 3,8 y 5,2 °C (Iriarte *et al.* 2001, citado por Plana *et al.*, 2007).

M. pyrifera vive en el interior de las bahías, ensenadas y sobre toda clase de fondos, más allá de los 20 m de profundidad (Etcheverry, 1958).

Luz

Cada hoja de *M. pyrifera* absorbe alrededor de dos tercios de la luz blanca incidente (Mc Farlnad y Prescott, 1959, citado por Santelices 1977). Para *Macrocystis*, el crecimiento de la generación gametofítica requiere más de 100 millones de erg/cm²/día de incidente iluminación (Anderson y North, 1969, citado por Santelices, 1977).

Existe una relación lineal entre la intensidad luminosa y la fotosíntesis, hasta alcanzar un punto de saturación: cuando la intensidad luminosa más allá de ese punto no aumenta la velocidad de fotosíntesis. Para *Macrocystis* el punto de compensación ocurre en intensidades luminosas de alrededor de 15 candelas (North, 1967, citado por Santelices, 1977). Las primeras evidencias de saturación lumínica aparecen a la intensidad de 400 candelas y el alga se satura completamente a la intensidad de 1.600 candelas.

El umbral de iluminación para la sobrevivencia de gametofitos cambia con la longitud de onda. Los valores oscilan entre 25 a 30 g*cal/cm²/seg cuando se usa luz azul y 6 a 8 g*cal/cm²/seg cuando se usa luz roja. Valores subletales de iluminación se han registrado durante periodos de neblina, nubosidad parcial o total (North y Anderson, 1969, citados por Santelices, 1977).

Requerimientos de fertilización

Los requerimientos minerales de estas algas incluyen elementos como nitrógeno, fósforo, magnesio, calcio, sodio y potasio, azufre, yodo, bromo, cloro, fierro, manganeso, zinc, cobre, boro y cobalto. El requerimiento normal de nitrógeno en porcentaje de materia seca es de 1,28 para *M. pyrifera* (Vinogradov, A.P., 1953, citado por Santelices, 1977). El cobre es requerido en pequeñas concentraciones ya que en exceso puede llegar a ser inhibitorio. Por ejemplo las frondas de profundidad de *M. pyrifera* sufren una reducción de la velocidad de fotosíntesis equivalente a un 50% en cuatro días si son puestas o incubadas en concentraciones de 0,1 mg Cu/l. (Santelices, 1977).

Sustrato

Macrocystis sp. requiere de un sustrato rocoso, especialmente macizos rocosos o bloques (Programa manejo y gestión de macroalgas, 2001).

***Spirulina* sp.**

Es un alga verde-azulosa, microscópica, con forma de espiral, cianobacteria, perteneciente a la familia *Oscillatoriaceae*. Ha sido utilizada como alimento desde hace muchos siglos por los habitantes de las riberas de los lagos Chad (África) y Texcoco (México) (Vonshak y Richmond, 1998, citados por Green, 1997), donde crece naturalmente. Dentro de las diversas utilidades, fuera de su uso como alimento y por diversas propiedades terapéuticas, se encuentran la extracción de ficocianina como colorante natural y como biofertilizante para ciertos cultivos (Green, 1997).

Distribución

Spirulina spp. se desarrollan en forma natural en numerosos lugares. Sus principales poblaciones se han encontrado en lagos de África, principalmente en Kenia, Etiopía, Egipto, Sudán, Argelia, Congo, Zaire y Zambia. Se las encuentra además en Asia tropical y subtropical (India, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka, China, Tailandia y Rusia), en América (Perú, Uruguay, California) y en Europa (España, Francia, Hungría y Azerbaijón), en cuerpos de agua poco profundos que están situados sobre depósitos de bicarbonato de sodio, con un pH alcalino y una salinidad elevada (Vonshak y Tomaselli, 2000; Cifuentes-Lemus *et al.*, 2005, citados por Ramírez y Olvera, 2006).

Requerimientos climáticos

Spirulina spp. son algas de aguas poco profundas, con un pH altamente alcalino y una salinidad elevada (Vonshak y Tomaselli, 2000; Cifuentes-Lemus *et al.*, 2005; citados por Ramírez *et al.*, 2006). La mayoría de las especies de estas algas se han encontrado en aguas alcalinas, principalmente en lagos, donde crecen en forma masiva; pero algunas han sido encontradas también en aguas de manantiales, ríos y estanques. No se ha informado de su presencia en ambientes marinos, pero con adecuados suplementos de nutrientes, junto a un pH y una salinidad adecuados, podrían ser producidas en agua de mar (Tomaselli, 2000, citado por Ramírez *et al.*, 2006).

Por ser cianobacteria obtiene la energía de la radiación solar más eficientemente que otras plantas, captando un 25% de la radiación solar, mientras que otros cultivos como el maíz captan solo un 0,2% (Ayala, Mora, Mönckeberg, citados por Green, 1997).

Dentro de los principales factores ambientales que influyen en la productividad de *Spirulina* se mencionan:

- la luminosidad de 4 lux y un fotoperíodo de 12/12
- sólidos disueltos: 10 - 160 g/L
- pH entre 8,5 y 10,5. Se recomienda un pH entre 10 y 10,3 (Romero, 1998).
- Presencia de macro y micronutrientes: C, N, P, K, S, Mg, Na, Cl, Ca y Fe, Zn, Cu, Ni, Co, Se (Ciferri, 1983; Ayala, 1998; citados por FAO, 2008)

Parek y Srivastava (2001, citados por FAO, 2008) encontraron un fotoperíodo óptimo de 16 horas/día para *S. platensis*.

Requerimientos de temperatura

Para el cultivo en condiciones artificiales, se ha mencionado que la temperatura óptima oscila entre 35 ° y 37 °C, considerándose los 15 °C como la temperatura mínima para que exista algún grado de crecimiento. Otras fuentes mencionan 20 ° a 22 °C como aceptable para llevar a cabo el cultivo (Vinshak *et al.*, 1988, citados por Romero, 1998).

Esta alga requiere gran cantidad de luz para llevar a cabo su fotosíntesis. Se menciona el sector norte de Chile, por sus condiciones de luminosidad adecuadas, con intensidades de luz superiores a 3 Klux. Se recomienda mantener el cultivo alrededor de los 10 Klux,

aunque en laboratorio se han logrado buenos resultados con 5 Klux. La foto inhibición del alga se produce con intensidades de 115 y 200 Klux (Ayala y Bravo, 1984, citado por Romero, 1998).

Requerimientos de fertilización

Estudiando la influencia de KNO_3 , urea y nitrógeno amoniacal en el crecimiento de *Spirulina máxima*, Faintuch, Sato y Aguarone (1991, citado por FAO, 2008), han encontrado un óptimo de crecimiento en presencia de 2,57 g/L de KNO_3 , con un rango de crecimiento de 0,3 - 0,4 mm/día.

Spirulina no requiere de suelo fértil y se puede cultivar en condiciones salinas (puede utilizarse agua salada). Necesita aproximadamente 2.200 litros de agua por kilo de proteína producida.

En cuanto a nutrientes, se han formulado fertilizantes a fin de cumplir con los requerimientos nutricionales para el cultivo masivo de estas algas. Estos contienen nutrientes en las siguientes concentraciones: superfosfato (1,25 g/L); nitrato de sodio (2,5 g/L); muriato de potasio (0,98 g/L); clorhidrato de sodio (0,5 g/L); sulfato de magnesio (0,15/L); clorhidrato de calcio (0,04 g/L) y bicarbonato de sodio (8 g/L) (Raoof, Kaushika y Prasanna, 2006, citados por FAO, 2008).

Como recomendación de nutrientes para cultivos artificiales, se utiliza un medio buffer definido por Zarrouk (1966, citado por Romero, 1998) cuya composición es la siguiente: NaHCO_3 (16,8 g/L); K_2HPO_4 (0,5 g/L); NaNO_3 (2,5 g/L); K_2SO_4 (1,0 g/L); NaCl (1,0 g/L); $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (0,2 g/L); CaCl_2 (0,04 g/L); $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (0,01 g/L).

Se han llevado a cabo experiencias con agua de mar fertilizada con urea sin obtener los mismos resultados que con medios de cultivos tradicionales (Tredici, Papuzzo, Tomaselli, 1986, citados por Romero, 1998).

Spirulina en Chile

En Chile, existen cinco empresas dedicadas a la producción de microalgas (principalmente *Spirulina*), todas ubicadas en la zona norte, por sus condiciones ambientales favorables para esta y otras microalgas: abundante luz solar durante todo el año, temperatura ambiental promedio entre 5 °C y 33 °C, abundantes napas subterráneas de agua dulce de calidad, agua de mar para desalinizar (dependiendo de la microalga) y grandes depósitos naturales de salitre, base del medio de crecimiento de cualquier microalga (UNAP, 2006).

Se ha reportado producción de esta alga mediante biotecnología en la Pampa del Tamarugal, en el Desierto de Atacama, con fines de exportación. Las ventajas de la producción en esta zona son un ambiente inocuo, alta luminosidad y radiación solar y disponibilidad de mano de obra local.

La cepa que se cultiva en Chile es la *Spirulina máxima*, MX 80. Se cultiva primero en laboratorio y luego en invernadero, donde se producen los inóculos que pasan a los reactores de producción o de cultivo masivo (Tierra Adentro, 2002).

Requiere de aireación continua y movimiento del agua. Desde la inoculación al período de cosecha demora 15 días en condición de época fría y algunos días en época cálida (octubre a marzo). Los reactores tienen una capacidad de 150 m³ de líquido en circulación, y la evaporación es de 3 y 4 litros por m² en verano (Tierra Adentro, 2002).

Al igual que para otras producciones vegetales, para la de algas son importantes los registros de la temperatura y de la humedad relativa, medidas al amparo de la radiación solar. El nivel alcanzado por la temperatura del aire es resultado de un balance de

energía que se produce entre la radiación solar incidente que calienta la superficie terrestre, la que a su vez entrega energía térmica a la atmósfera, y ésta dependiendo de sus características higrométricas la devuelve a la superficie terrestre, efecto invernadero.

Las tierras y mares se calientan en forma diferente porque absorben la radiación solar como cuerpos diferentes. El agua requiere más energía para alcanzar una misma temperatura que el suelo pues el agua tiene un color específico más alto que el suelo, esto determina que los mares se calientan menos con igual cantidad de energía. Sin embargo, en el mar, la transparencia de las aguas determina a su vez una absorción mayor de la radiación solar. Los mares, debido a los movimientos propios del agua, en sentido horizontal y vertical; distribuyen mejor el calor ganado. En los continentes, por el contrario, los primeros centímetros del suelo se calientan rápidamente y el calor es transmitido lentamente hacia las profundidades, sólo por conducción. Al no existir ganancia de radiación solar durante la noche, el suelo se enfría rápidamente. Esto determina que en localidades interiores, lejos del efecto marino, el suelo presente grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche y por lo tanto igual característica se presenta en la temperatura del aire. En cambio la temperatura del mar al ser más regular, determina en su área de influencia temperaturas más regulares entre el día y la noche y menores fluctuaciones anuales (Haydeé Castillo, Universidad de Chile).

En pleno verano, en enero, los registros de Pozo Almonte (CNE, 2009), indican que en esta zona la temperatura oscila entre 9 °C y 32 °C, tomando un valor promedio de temperatura ambiental de 19,8 °C. Las temperaturas promedio para el resto de los meses cálidos es 13,9 °C para agosto, 14,9 °C en septiembre, 16,2 °C en octubre, 17,9 °C en noviembre y 19 °C en diciembre. La humedad relativa es alta durante las horas de la noche y en las primeras horas de la mañana y muy baja en las horas de la tarde. Los promedios diarios tienen un rango entre 50% a 75%.

La radiación global horizontal oscila entre 6,15 y 8,2 kWh/m²*día entre agosto y enero, mientras que la radiación directa en seguimiento oscila entre 8,37 y 10,71 kWh/m²*día entre agosto y enero respectivamente (CNE, 2009).

Referencias Bibliográficas

- Castillo G., Haydeé. "Unidad: recurso clima". Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Geografía General Agronomía.
- Cirén, (1995). "Requerimientos de Clima y Suelo. Chacras y hortalizas". Centro de Información de Recursos Naturales, Publicación CIREN N° 107. 196P. Santiago, Chile.
- Cirén - Corfo (Centro de Información de Recursos Naturales). (1989) "Requerimientos de Clima y Suelo. Cereales y Cultivos Industriales y Flores". CIREN, 1989. Publicación CIREN N° 86. Santiago, Chile.
- Cirén-Corfo (Centro de Información de Recursos Naturales), "Requerimientos de Clima y Suelo. Frutales menores y de hoja persistente". CIREN, 1989. 65P. Publicación CIREN N° 84. Santiago, Chile.
- CNE, 2009. "Informe mensual de la estación de medición de la radiación solar en Pozo Almonte", Proyecto Energías Renovables No Convencionales (CNE/GTZ), Consultores: Reinhold Schmidt, Aníbal Díaz, CODING, Arica, Chile, Enero de 2009.
- Conaf, "Antecedentes sobre 'Atriplex', Gobierno de Chile Conaf, Departamento de Silvicultura, Corporación Nacional Forestal.
- Demanet, R., (2007), "Cultivos y forrajes suplementarios", Universidad de la Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Disponibles en: http://lacteos.watts.cl/images/lmg_Editor/DocAdjuntos/CULTIVOS%20Y%20FORR AJES%20SUPLEMENTARIOS.pdf
- Duke, J. A., 1983. Handbook of Energy Crops. Unpublished. Disponibles en: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy
- Etcheverry, H. 1958. "Algas marinas chilenas productoras de ficocoloides". Revista de Biología Marina y Oceanografía. Volumen 8. 153-174. Disponible en : www.revbiolmar.cl/escaneados/8-153.pdf
- Faiguenbaum, Hugo. 2003. "Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile". [Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Producción Agrícola.](#)
- FAO, (1997), "Especies arbóreas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina", Serie: Zonas áridas y semiáridas N° 12. Programa conjunto FAO/PNUMA de control de la desertificación en América Latina y el Caribe", Santiago, Chile.
- Fernández, F., Ovalle, C., "Alternativas forrajeras para el secano interior", Informativo INIA Raihuén N° 23, Octubre 2008, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura.
- Garrido, Oscar., (1984) "Recopilación y análisis de antecedentes relativos a la especie *Ricinus communis* 'Higuerilla'. Investigación y Desarrollo forestal, Corporación Nacional Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Granger, D., Hazard, S., Hewstone, C., Romero, O., Teuber, N. 2000. "Triticale en el Sur de Chile", Boletín INIA N° 12, Temuco, Centro Regional de Investigación

Carillanca del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

- Green, A., (1997). "Extracción de ficocianina como colorante natural a partir del microalga spirulina". Tesis (Ingeniero Civil de Industrias, diploma académico en Ingeniería Química), Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
- Hewstone, C., Jobet C. "Peteroa - INIA: una nueva variedad de triticale". Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Agricultura Técnica, Vol. 64, N° 3, 305-308, Julio-Septiembre 2004.
- Instituto Nacional de Estadísticas, INE. VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2006/07.
- INIA. 1989. "Mapa Agroclimático de Chile". Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Ministerio de Agricultura, Santiago de Chile
- IREN (Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales-CORFO), "Manual Cereales y Chacras. Requerimientos: Clima y Suelo. Especies y sus variedades" Publicación CIREN N° 30, Octubre 1982.
- IREN (Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales-CORFO), "Manual Forrajeras y Cultivos Industriales. Requerimientos: Clima y Suelo. Especies y sus variedades" Publicación CIREN N° 31, Octubre, 1982.
- Jobet, C., Madariaga, I., Matus, I., "Nuevas variedades de trigos y triticale INIA". Revista Tierra Adentro, Septiembre-Octubre 2005, INIA Carillanca e INIA Quilamapu.
- Jobet, C., Madariaga, I., Matus, I., "Triticale de primavera Aguacero-INIA. Comportamiento en diferentes zonas agroecológicas". Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Revista INIA Tierra Adentro, Mayo-Junio 2007, INIA Quilamapu e INIA Carillanca.
- Jobet, C., Hewstone, C. "Kumpa-INIA: Nueva variedad de trigo invernal para el sur de Chile". Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Agricultura Técnica, Vol 63, N° 1, Chillan, Enero 2003.
- Julio A. Vásquez y Erika A. Fonck, 1993, "Estado actual y perspectivas de la explotación de algas alginofitas en Sudamérica" dentro del documento "Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe", publicado por FAO, 1993. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab483s/AB483S02.htm> (accedido en Mayo, 2009)
- Plana J., Mansilla A., Palacios M, Navarro N., "Estudio poblacional de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh (Laminariales: Phaeophyta) en ambientes protegido y expuesto al oleaje en Tierra del Fuego". Revista Gayana Botánica 71(1): 66-75. Junio, 2007. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0717-65382007000100007&lng=es. (accedido en Mayo, 2009)
- South Pacific Abalone S.A. (SPASA), (2005). "Programa manejo y gestión de Macroalgas". Declaración de Impacto Ambiental Live Seafood Chile S.A. Anexo G. Disponible en: http://www.e-seia.cl/archivos/DIA_LSF_25oct05.pdf. (Accedido en Mayo, 2009)

- Ramírez M., Liliana y Olvera R., Roxana, 2006. "Conocimientos acerca del alga *Spirulina* (Arthrospira)". En: Interciencia, Vol. 31 (Nº 009), 2006, Venezuela. Disponible en: http://www.sagpya.mecon.gov.ar/SAGPyA/pesca/acuicultura/03-Estudios/_archivos/080515_Acuicultura%20de%20organismos%20vegetales.pdf.
- Reyes, M., Lavín, A., Frutales: especies con potencial en el secano interior, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Ministerio de Agricultura, Boletín INIA Quilamapu No. 120, 149 p., 2004.
- Romero, J.C. (1998). "Estudio de proceso de extracción de ficociano a partir de *Spirulina*". Tesis (Ingeniero Civil en Industria, mención en Ingeniería Química), Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Ruíz C., J. A.; Medina G., G.; González A., I. J.; Ortiz T., C.; Flores L., H. E.; Martínez P., R., y Byerly M., K. F. 1999. Extracto de "Requerimientos agroecológicos de cultivos". INIFAP. CIRPAC. Libro Técnico Núm.3. Guadalajara, México. 324 p. Disponible en: http://www.oaidrus-jalisco.gob.mx/campo_municipal/potencial/RegionSierraOccidentalReqAgroecologicos.pdf.
- Santelices, B. 1977. "Ecología de algas marinas bentónicas. Efectos de factores ambientales". Departamento de Biología Ambiental y de Poblaciones, Instituto de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Santibáñez, Q., Parada M., Ulriksen, P., "Perspectivas de Desarrollo de los recursos de la VII Región. Distritos Agroclimáticos". Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales, CORFO, Publicación 25, Agosto, 1979. Santiago, Chile.
- Universidad Católica de Valparaíso (UCV). 1996. "Prefactibilidad de cultivo de algas nativas, a través de transferencia o adaptación de tecnologías". Facultad de Recursos naturales, Escuela de Ciencias del Mar. Informes técnicos FIP (Fondo de Investigación pesquera), estudios y Documentos N° 09/96, Valparaíso, Chile. Disponible en : <http://www.fip.cl/pdf/informes/IT%2094-04.pdf>
- Valenzuela, C., "Manejo de higuera con fines industriales". Resumen técnico de los resultados del proyecto Chi/88/028. CONAF/PNUD/CAP, Abril 1993, Santiago, Chile.
- Zanlungo, A. 1978. "Producción de geles por algas chilenas y su utilización." Documento parte de "Actas del Primer Symposium sobre algas marinas chilenas" Editadas por Bernabé Santelices. Instituto de Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Zarate, E., Ulriksen, P., "Estudio de las comunidades agrícolas IV Región". CORFO, Instituto de Investigación de Recursos Naturales, IREN, Publicación 20, Santiago, Abril, 1977.

Sitios Web

- Comisión Nacional de Energía (CNE).
<http://www.cne.cl/destacados/seminario.php>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF)
<http://www.conaf.cl>

- Sistema de Gestión Forestal - INFOR
<http://www.gestionforestal.cl/>
- Grupo de Estudios de Agroecosistemas Mediterráneos (GEAM) – INIA
<http://www.inia.cl/geam>
- Fundación para la Innovación Agraria (FIA)
http://www.fia.gob.cl/contenido.asp?id_contenido=1646&id_tipo=1
- Facultad de Ciencias Agronómicas – Universidad de Chile
<http://agronomia.uchile.cl/centros/ceza/USEP/Jojoba/jojoba.htm>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)
<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/agrodatos/mapasfrutales/tuna.pdf>
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
<http://www.inia.cl/medios/quilamapu/pdf/tadentro/TA73MAA107.pdf>
- Fichas técnicas – Watt's
www.watts.cl/incis/download.aspx?glb_cod_nodo=20080612163757&hdd_nom_archivo=Nabos%20Forrajeros.pdf
- Otros sitios
<http://jatrofahchile.blogspot.com/>

Documentales

- “Tierra Adentro”, Capítulo 1, 2002, Dir. General, Paul Landon; Producción Ejecutiva, Francisca Valdivieso H.

Consultas personales

- Ingeniera Agrónoma, Doris Prehn R.: Coinvestigadora proyecto Conicyt “Production of Biodiesel from Guindilla” N°1080117, 2008