

Manual técnico productivo y económico bajo condición actual y clima proyectado al 2030

Proyecto: Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas prioritizadas en la Región del Biobío.



BRÓCOLI



Proyecto apoyado por



ISBN: 978-956-9365-28-7

Publicación Ciren N°: 213

Registro de propiedad intelectual: 286.819

Autores

Carolina Leiva Madrid, Ing. Agr.

Carla Schmidt Gómez, Ing. Agr.

Gonzalo Gajardo Escobar, Ing. Agr.

Alejandra Rodríguez Pacheco, Ing. Agr.

Equipo de trabajo

Carolina Leiva Madrid, Ing. Agr. Ciren

Carla Schmidt Gómez, Ing. Agr. Ciren

Gonzalo Gajardo Escobar, Ing. Agr. Ciren

Carlos Torres Miranda, Cartógrafo. Ciren

Marcelo Retamal Gajardo, Cartógrafo. Ciren

Fernando Santibáñez Quezada, Ing. Agr. Dr. Agrimed

Paula Santibáñez Varnero, Ing. Civil en Geografía, Dr. Agrimed

Carolina Caroca Torres, Ing. Civil en Geografía, M.S. Agrimed

Alejandra Rodríguez Pacheco, Ing. Agr. Inia

Marcel Fuentes Bustamante, Ing. Civil Agrícola, Mg. Inia

Paulina Sánchez Sagardía, Ing. Agr. Inia

Pablo Grau Beretta, Ing. Agr. Ph. D. Inia

Marisol Reyes Muñoz, Ing. Agr. Dr. Inia

Juan Pablo Martínez Castillo, Ing. Agr. Ph. D. Inia

Diseñador

Igor Sánchez Abdala

Manual técnico productivo y económico para la producción de brócoli en la Región del Biobío, bajo condición actual y clima proyectado al 2030

Proyecto: Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío.



Proyecto apoyado por



Agradecimientos

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a los siguientes agricultores, profesionales y empresas que colaboraron desinteresadamente en el proyecto:

Rodrigo García, Seremi de Agricultura de la Región del Biobío
Miguel Rubilar, Corfo Biobío
María Iliá Cárdenas, Ciren
Javier Chillian, Inia Quilamapu
Alfredo Wahling, Asociación Ñuble
Álvaro Gatica, Asociación Ñuble
Carlos Smith, Asociación Ñuble
Ernesto Jahn, Asociación Ñuble
Pablo Acuña, Asociación Ñuble
Ana Corina Fuentes, Indap Cañete
Jaime Ugarte, Socabío
Alejandro Ponce, Nodo Hortícola Regional
Susana Fischer, Universidad de Concepción

Asimismo, agradecemos a las ejecutivas de Corfo, Sra. Marianna Delgado, Catalina Torres y Wanda García, por el apoyo durante la realización del proyecto.

Prólogo

La agricultura, a nivel global, es uno de los sectores productivos más expuestos al cambio climático que se prevé para las próximas décadas. Las especies frutales se ven enfrentadas, dentro de su desarrollo productivo, a diversos factores atmosféricos que condicionan, en mayor o menor medida, la productividad de un huerto. Si bien, la tecnología permite mejorar el manejo agronómico, el factor clima no es siempre económicamente factible de modificar. Es por esto que, en la actualidad, el análisis de las ventajas y riesgos atmosféricos esperados para el clima futuro, ha pasado a ser esencial en la determinación de las aptitudes de los cultivos de una zona geográfica o predio en particular.

El aumento de temperaturas mínimas y máximas es considerado una limitante productiva para los cultivos en general, ya que afecta tanto procesos de desarrollo como de crecimiento de ellos. Al respecto, diversos estudios de clima futuro coinciden en que habrá aumentos en dichas temperaturas

frente a lo cual la Región del Biobío no queda ajena, donde el alza de las temperaturas se sentirá con mayor intensidad hacia el interior de la Región, tal como lo muestra el análisis espacial de distribución de los elementos atmosféricos más relevantes.

Frente a estos antecedentes, el presente manual de producción, tiene como propósito ayudar a la toma de decisiones productivas de agricultores, profesionales y empresarios, así como de instituciones públicas y privadas, que tengan interés en la producción de brócoli en la Región del Biobío. Este manual es uno de los productos del proyecto financiado por Corfo “Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la Región del Biobío”, ejecutado por Ciren en colaboración de Inia Quilamapu y el Centro de Agricultura y Medio Ambiente (Agrimed) con la Seremi de Agricultura de la Región del Biobío, como mandante.

Índice

1. Introducción	13
2. Aspectos técnicos	15
2.1 Descripción de la planta	15
2.2 Etapas de desarrollo	17
2.3 Requerimientos climáticos	18
2.4 Requerimientos de suelo	19
2.5 Establecimiento	20
2.6 Variedades	22
2.7 Fertilización	24
2.8 Manejo de las malezas	24
2.9 Riego	25
2.10 Enfermedades	25
2.11 Plagas	27
2.12 Anomalías y desórdenes fisiológicos	28
2.13 Cosecha	29
3. Aspectos económicos	31
3.1 Superficie y producción mundial	31
3.2 Comercio internacional y nacional	33
3.3 Superficie y establecimiento en Chile	34
3.4 Análisis económico	35
3.5 Análisis económico con cambio climático	36
4. Mapas de aptitud productiva	43
5. Recomendaciones productivas	51
6. Bibliografía	55

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Información general del cultivo del brócoli	16
Cuadro 2.	Requerimientos climáticos para el cultivo del brócoli	19
Cuadro 3.	Requerimientos de suelo para el cultivo del brócoli	20
Cuadro 4.	Fechas referenciales de siembra, trasplante y cosecha para el cultivo del brócoli en la zona centro sur	22
Cuadro 5.	Dosis referenciales de fertilización para cultivo del brócoli	24
Cuadro 6.	Superficie cosechada y participación de los países productores de brócoli y coliflor respecto de la producción mundial, año 2014	32
Cuadro 7.	Variación de la superficie de brócoli en Chile	35
Cuadro 8.	Costos directos de producción para el cultivo de brócoli	35
Cuadro 9.	Indicadores de evaluación económica para una hectárea de brócoli	36
Cuadro 10.	Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli	36
Cuadro 11.	Costos de instalación del sistema de riego por goteo	36
Cuadro 12.	Costos directos de producción del cultivo de brócoli	37
Cuadro 13.	Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli	38
Cuadro 14.	Costos directos de producción de brócoli, con disminución de rendimiento	38
Cuadro 15.	Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli, con disminución en el rendimiento	39
Cuadro 16.	Costos directos de producción de brócoli, con rendimiento mínimo	39
Cuadro 17.	Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli, con rendimiento mínimo	40

Índice de figuras

Figura 1.	Hojas en crecimiento	15
Figura 2.	Pella	16
Figura 3.	Estados iniciales de desarrollo del cultivo	17
Figura 4.	Inicio de formación de la pella	17
Figura 5.	Pellas en desarrollo	18
Figura 6.	Plántulas de brócoli	21
Figura 7.	Variedades de brócoli	22
Figura 8.	Deformación de raíces causado por <i>Plasmodiophora brassicae</i>	26
Figura 9.	Síntoma de mildiú en hojas de brócoli	26
Figura 10.	Tallo hueco en brócoli	28
Figura 11.	Granos pardos en la superficie de la pella	28
Figura 12.	Brócoli cosechado	29
Figura 13.	Escala de apreciación visual para determinar color y consistencia de la inflorescencia de brócoli	29
Figura 14.	Producción mundial de brócoli y coliflor	31
Figura 15.	Participación mundial en la producción de brócoli y coliflor	32
Figura 16.	Países importadores de brócoli y coliflor	33
Figura 17.	Países exportadores de brócoli y coliflor	33
Figura 18.	Exportaciones de brócoli y coliflor	34
Figura 19.	Superficie de brócoli en Chile	34





1. Introducción

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), es una planta dicotiledónea, anual, perteneciente a la familia brassicaceae y originaria de Europa mediterránea. Destaca por su gran valor nutritivo; con un aporte elevado de vitamina C y B2, minerales, fibra, antioxidantes y agradable sabor.

En Chile, el brócoli se considera una hortaliza de importancia intermedia, ya que se cultivan poco menos de 1.000 hectáreas por año (Krarup y Moreira, 1998). Al respecto, la superficie promedio anual cultivada, considerando el periodo

2011–2016, fue de 976 hectáreas. Durante igual periodo, la Región Metropolitana ha contribuido con cerca del 70% de la superficie sembrada en el país, con alrededor de 683 hectáreas anuales; le sigue a distancia la Región de Valparaíso y Coquimbo con una superficie aproximada de 161 y 118 hectáreas, respectivamente (Odepa, 2017).

La estructura comercial de consumo corresponde a una inflorescencia ramificada, la cual puede ser consumida al estado fresco, congelado, encurtido y deshidratado.



2. Aspectos técnicos

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El brócoli es una planta de comportamiento anual, que durante un ciclo se desarrolla vegetativa y reproductivamente. Desarrolla un tallo principal relativamente grueso (4 a 7 cm de diámetro), de 20 a 50 cm de alto, en el cual se insertan las hojas en forma helicoidal, y se ramifica mediante yemas axilares. Presenta un sistema radical poco profundizador que representa menos del 5% de la materia seca total de la planta.

Las **hojas** son de tamaño grande, con bordes ondulados de hasta 50 cm de longitud y 30 cm de ancho, y varían en número de 15 a 30 según el cultivar (Bravo y Aldunate 1986).



Figura 1. Hojas en crecimiento
Fuente. Krarup y Moreira, 1998

El tallo principal termina en una **inflorescencia primaria**, conformada por flores dispuestas en un corimbo principal o primario, denominado pan o pella, que corresponde a la estructura aprovechable para el consumo. Los corimbos son de color verde claro a púrpura según el cultivar, y mantienen la estructura compacta durante poco tiempo, hasta que se elongan los pedúnculos y maduran las flores (Krarup y Moreira, 1998). A partir de las yemas axilares de las hojas se desarrollan inflorescencias laterales de menor tamaño que la principal (Kehr y Díaz, 2012).

La formación de la **pella**, no requiere vernalización, aun cuando existen variedades tardías o vernalizantes que sí requieren de un periodo de bajas temperaturas para florecer. La formación de la pella se gatilla después de cierta cantidad de hojas, desarrollándose a partir de la yema apical del tallo principal (Kehr y Díaz, 2012).



Figura 2. Pella

La **semilla** tiene forma esférica y de tamaño pequeño (2 a 3 mm). Su color es verde en estado inmadura y va adquiriendo un color café a medida que avanza en su madurez. El proceso de germinación depende directamente de la temperatura, el mínimo requerido para dar inicio a este proceso es de 4,5°C. En general, la germinación será muy lenta con temperaturas inferiores a 10°C, ya que se considera como rango adecuado temperaturas entre 17 a 29°C, siendo 25°C la temperatura óptima (Bravo y Aldunate, 1986).

Cuadro 1. Información general del cultivo del brócoli

Aspectos generales	
Nombre científico	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Itálica</i>
Familia	Brassicaceae
Duración del ciclo vegetativo	60 a 90 días después del trasplante
Rendimiento esperado	12 ton/ha (según variedad y manejo)

Fuente. González, 2012.

2.2 ETAPAS DE DESARROLLO

Se distinguen dos fases de desarrollo del cultivo; la primera corresponde a la fase de crecimiento vegetativo, desde la germinación de la semilla hasta los primeros indicios de la aparición de la pella. Y luego continúa la fase reproductiva, una vez que se produce la diferenciación y se inicia la formación de la pella (Bravo y Aldunate, 1986).



*Figura 3. Estados iniciales de desarrollo del cultivo
Fuente. northwest-gardening.com*

Inducción floral. Durante esta etapa se inicia la formación de la flor en el centro de la planta. La inducción de la formación del pan se produce en plantas jóvenes con cuatro a seis hojas y 15 cm de altura. Respecto a las temperaturas adecuadas de inducción, estas se encuentran entre 5 y 10°C (Aljaro, 2000).



*Figura 4. Inicio de formación de la pella
Fuente. Krarup y Moreira, 1998.*

Formación de pella. Corresponde a la etapa más importante para obtener cosecha de cabezas o inflorescencias, aproximadamente 85 días después del trasplante. Dependiendo de la variedad, se formarán pellas de menor tamaño en yemas axilares por debajo de la flor principal.



Figura 5. Pellas en desarrollo
Fuente. carletongarden.blogspot.cl y agrifarming.in

2.3 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS

El brócoli, por ser originario de una región sub-húmeda temperada, está adaptado para funcionar óptimamente en condiciones de temperaturas moderadas, con agua fácilmente disponible, humedad relativa media a alta y luminosidad moderada. Debido a estas características es que se adapta en Chile exitosamente en sectores costeros, valles interiores de condiciones moderadas y zona sur del país (Krarup y Moreira, 1998).

El brócoli es una especie de fotoperiodo neutro, es decir, el largo del día no interfiere sobre la diferenciación de la inflorescencia, siendo la temperatura el factor de mayor influencia sobre el comportamiento de la planta, afectando en resultados de calidad y rendimiento (Giacconi y Escaff, 1988).

La temperatura mínima de germinación varía entre 4 y 6°C y la óptima entre 25 y 28°C. Para inducir la formación de la pella en tanto, la temperatura adecuada se ubica entre 5 y 10°C durante tres a cinco semanas, ya en crecimiento definitivo de la pella, la temperatura mínima es de 5 a 7°C; y la óptima de 20 a 25°C (Aljaro, 2000).

El periodo de desarrollo vegetativo puede ser con temperatura elevada, entre 20 – 25°C, sin embargo, en la época de crecimiento e inicio de la fase de floración es aconsejable temperaturas moderadas que fluctúen alrededor de los 15°C. Con temperaturas mayores a 20°C, hay una maduración prematura del primordio floral.

Con temperaturas altas, el crecimiento será anormal, generalmente excesivo, las cabezas producidas serán dispares, poco compactas, descoloridas y de un sabor fuerte, las yemas florales se abren prematuramente, los tallos son grandes y huecos y la cosecha se seca rápidamente. Otro efecto es la formación de tallos múltiples (González, 1992).

Esta especie tolera heladas durante la etapa vegetativa (hasta 2 grados bajo cero), por otro lado, durante la etapa reproductiva se verán afectadas las inflorescencias, produciendo manchas de color oscuro que deterioran el producto final (González, 1992).

Tanto en su fase vegetativa como reproductiva, la planta se ve favorecida por una alta humedad ambiental (González, 1992). Por otro lado, excesos de humedad favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas, y ambientes muy secos generan problemas en lo compacto que pueda estar la pella. En zonas del valle central, el cultivo debe realizarse entre el verano y el otoño para que la planta quede expuesta a las condiciones que favorecen su desarrollo y producción, es decir, temperaturas más altas para la fase de crecimiento vegetativo y temperaturas moderadas durante la formación de la pella.

Cuadro 2. Requerimientos climáticos para el cultivo del brócoli

Aspectos climáticos	
Temperatura de germinación	Mínima entre 4 y 6 °C Óptima entre 25 y 28°C
Temperatura óptima de crecimiento	Primera fase (70 días después de siembra): 20 - 25°C Segunda fase (hasta cosecha): 10 - 18°C
Temperatura base o mínima de crecimiento	4 - 6°C
Límite máximo de temperatura de crecimiento	30°C
Sensibilidad a heladas	Moderadamente tolerante
Temperatura de daño por heladas	Daño en plantas jóvenes: 0 a 1°C Daño plantas adultas: -2 y -1°C
Requerimientos de vernalización	No tiene
Requerimiento de fotoperiodo	No tiene
Otro	Temperaturas bajas en primera fase inducen floración adelantada

Fuente. González, 2012. Aljaro, 2000. Bravo y Aldunate, 1986.

2.4 REQUERIMIENTOS DE SUELO

El brócoli se puede desarrollar en suelos de características diversas, sin embargo, su comportamiento será diferente. Al igual que la gran mayoría de los cultivos, su desarrollo será mejor en suelos sin limitaciones, con óptimas características tanto físicas como químicas (Bravo y Aldunate, 1986).

El cultivo se verá favorecido en suelos fértiles, con un contenido de materia orgánica sobre el 3%, buena capacidad de retención de humedad y buen drenaje, por otro lado, en suelos muy arenosos se presentan problemas debido a los cambios bruscos de humedad.

En cuanto a la acidez, lo ideal es que el suelo tenga un pH cercano a neutro, con un rango de 6,5 a 7,5. Con un pH inferior aumentan las posibilidades que se presenten enfermedades en el sistema radical causada por el hongo *Plasmodiophora*

brassicae (hernia de la col). A esto se suman probables deficiencias de fósforo, magnesio y molibdeno, así como toxicidad de manganeso. Del mismo modo, debido a reacciones químicas del suelo con pH mayor a 7,5 se presentan diferencias de manganeso, hierro y zinc (González, 1992).

Cuadro 3. Requerimientos de suelo para el cultivo del brócoli

Aspectos de suelo		
Profundidad de suelo	Rango óptimo	0,8 m
	Valor mínimo	0,6 m
Acidez (pH)	Mín. tolerado	5,8
	Óptimo	6,5 - 7,5
Salinidad	Valor tolerado de conductividad eléctrica	2,7 dS/m
	Valor crítico de conductividad eléctrica	5,5 dS/m
Textura	Franca, con alto contenido de materia orgánica (mayor a 3%)	
Drenaje	Moderado a bueno, sin nivel freático	
Pedregosidad	No pedregoso (menor a un 15% de piedras)	
Pendiente	Suave (2 - 6%)	

Fuente. Bravo y Aldunate, 1986.

2.5 ESTABLECIMIENTO

Rotación. Como se trata de una especie que puede ser dañada por hongos y nemátodos del suelo, no es conveniente repetir su cultivo en el mismo lugar antes de cuatro a cinco años. Lo mismo es válido para los terrenos donde se ha producido otras crucíferas como repollo, coliflor, repollito de bruselas, rabanito, nabo, raps, etc. Si en el programa de cultivos se incluyen cereales como el trigo, cebada o maíz, es posible reducir el periodo para repetir brócoli en unos tres años (Bravo y Aldunate, 1986).

Otra consideración por la cual se recomienda realizar rotaciones largas con brásicas (3 - 4 años), es evitar el ataque de la enfermedad hernia de las coles, causada por un hongo que persiste en el suelo y residuos de plantas, especialmente en el suelo con pH menores a 6.0 (Kehr y Díaz, 2012).

Preparación del suelo. Es recomendable realizar barbecho químico previo al movimiento del suelo. Las labores comienzan con arado cincel, una o dos pasadas de rastra, para finalizar con vibrocultivador o rotovator. Un mes antes del trasplante, se recomienda la incorporación de cal para subir el pH y aportar calcio, según lo indicado por un análisis de suelo. Luego se preparan mesas o camellones, según el sistema a utilizar (Kehr y Díaz, 2012).

Sistema de cultivo. El brócoli es una especie de almácigo y trasplante, por lo que se recomienda hacer la siembra de plantines 45 días antes del trasplante (Kehr y Díaz, 2012). La dosis de semilla en almácigo es de 250 g/ha (3-4 g/m²), y para una hectárea de cultivo se requiere entre 45 – 70 m² de superficie almaciguera (González, 2012).

Marco de plantación. La densidad y distribución de las plantas en el terreno definitivo va a depender del tipo de cultivar, sin embargo de manera general se describe una distancia de plantación de 35 - 50 cm sobre hilera y 60 - 70 cm entre hilera, lo que implica una densidad poblacional de 40.000 – 44.000 plantas/ha, respectivamente (González, 2012).

Se considera que el momento adecuado para realizar el trasplante ocurre cuando las plantas han alcanzado entre 12 – 15 cm de altura, con 3 a 4 hojas verdaderas, idealmente con todo el cepellón que resulta de la producción de plantines a raíz cubierta. El trasplante de plantas de mayor desarrollo aumenta el porcentaje de formación prematura de inflorescencias (González, 1992).

La plantación puede realizarse en hileras pareadas, en tresbolillo o en hileras simples, considerando riego tecnificado, que puede ser por aspersión o cintas de riego. Si es por cintas, se puede utilizar una cinta cada dos hileras por mesa (Kehr y Díaz, 2012).



Figura 6. Plántulas de brócoli
Fuente. masbrocoli.com

Una vez completado el trasplante se debe regar con pequeños volúmenes de agua para lograr un buen contacto de las raíces con el suelo. Estos riegos deben repetirse diariamente hasta que las plántulas se han arraigado bien (Bravo y Aldunate, 1986).

Época de plantación. La época elegida para el desarrollo del cultivo es fundamental, lo ideal es tener un periodo con temperaturas relativamente altas en los primeros estados de crecimiento para llegar al momento de formación del primordio floral con temperaturas cercanas a los 15°C. Considerando esto, las épocas de cultivo son diferentes a lo largo del país (González, 1992).

Cuadro 4. Fechas referenciales de siembra, trasplante y cosecha para el cultivo del brócoli en la zona centro sur

Fecha de siembra	Diciembre a enero Agosto a septiembre
Fecha de trasplante	Enero a febrero Septiembre a octubre
Fecha de cosecha aproximada	65 a 90 días después del trasplante

Fuente. González, 2012.

2.6 VARIEDADES

Chile depende casi exclusivamente de variedades generadas en el extranjero, lo cual encarece la semilla, principal insumo del cultivo (Kehr y Bórquez, 2010).

<p>Heritage</p> <p>Alternativa para siembras tardías (con más frío) y cosechas primaverales. Buen calibre y alto rendimiento.</p> <p>Periodo de trasplante a cosecha de 90 a 95 días.</p> <p>Densidad de plantación entre 30.000 - 40.000 plantas/ha. Distancia de plantación: 30 a 60 cm sobre hilera, y 60 a 90 cm entre hilera.</p> <p>Planta vigorosa, de hojas grandes y erectas que protegen la pella. Con escasos brotes laterales.</p>	
<p>Avenger</p> <p>Mínima presencia de brotes laterales. Cabeza grande, pesada y compacta.</p> <p>Inicio de cosecha: desde 85 hasta 100 días después de trasplante dependiendo de condiciones climáticas y zona de producción.</p> <p>Densidad de plantas/ha: 30.000 a 40.000</p> <p>Fecha de plantación en las regiones del Maule y Biobío: 15 de enero al 15 de agosto.</p>	
<p>Imperial</p> <p>Planta de excelente vigor de hábito de crecimiento erecto. Cabeza de tamaño mediano-grande. Adaptación a zonas intermedias y cálidas.</p> <p>Inicio de cosecha: 70 a 80 días después del trasplante. Apta para zonas de alta temperatura.</p>	

<p>Legacy</p> <p>Varietal de tipo intermedio. Para uso fresco e industria. Período de trasplante a cosecha de 85 a 90 días.</p> <p>Densidad de plantación: 30.000 - 40.000 plantas/ha. Plantación: 30 a 60 cm sobre hilera, y 60 a 90 cm entre hilera.</p> <p>Planta uniforme y vigorosa, con escasos brotes laterales.</p>	
<p>Castle Dome</p> <p>Varietal tipo muy precoz, con ciclo de 65 – 75 días trasplante – cosecha.</p> <p>Densidad de plantación entre 30.000 - 40.000 plantas/ha.</p> <p>Cultivo uniforme, con brotes laterales y de calidad comercial. Pella convexa, compacta y de granulometría fina – media.</p> <p>Peso de la pella: 1 – 1,1 kg en promedio</p>	
<p>Tradition</p> <p>Cultivo de follaje uniforme. Varietal tipo precoz, con ciclo de 75 días trasplante-cosecha.</p> <p>Densidad de plantación: 30.000 - 40.000 plantas/ha.</p> <p>Plantación: 30 a 60 cm sobre hilera, y 60 a 90 cm entre hilera.</p> <p>Pella convexa, compacta y de granulometría fina – media. Peso 1,1 kg en promedio.</p> <p>Buen comportamiento con altas temperaturas</p>	

Figura 7. Variedades de brócoli
Fuente. Anasas, 2017. Semillasabe, 2017.

2.7 FERTILIZACIÓN

La fertilización del cultivo debe ser más bien equilibrada, con miras a lograr un crecimiento continuado, no violento de la planta. Ello se logra mediante fertilizaciones ejecutadas durante la preparación del suelo, trasplante y en el curso del cultivo de ser necesario. Para determinar los requerimientos de fertilización es necesario realizar un análisis químico del suelo, si el análisis lo indica, además considerar aplicaciones de cal, incorporada al suelo con la última labor.

Cuadro 5. Dosis referenciales de fertilización para cultivo del brócoli

	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)
Dosis total	100-200 kg N /ha	100-150 kg P ₂ O ₅ /ha	100-120 kg K ₂ O/ha
Época de aplicación	50% en plantación. 50% 30 días después del trasplante	Pre plantación	Pre plantación
Forma de aplicación	Al voleo e incorporación en preparación de suelo. Al surco después de plantación	Al voleo incorporado al rastraje	Incorporado en rastraje
Fuente	Salitre sódico, urea, supernitro	Superfosfato triple	Muriato de potasio

Fuente. González, 2012.

A diferencia de la aplicación del nitrógeno en dos parcialidades, algunos autores señalan que la aplicación de este elemento se efectúa en tres parcialidades, 1/3 al trasplante, 1/3 a los 40 días del trasplante y 1/3 a los 70 días del trasplante. Y si el análisis de suelo lo sugiere, aplicar alrededor de 3 kg/ha de boro, en forma de Boronatro calcita (Kehr y Díaz, 2012).

El fósforo y potasio deben ser incorporados antes del trasplante, junto con micronutrientes deficitarios en el suelo, tales como boro, magnesio, manganeso, etc. (Kehr y Bórquez, 2010).

El uso de enmiendas, si bien se debe basar en un análisis químico de suelos, se pueden entregar algunos antecedentes que sirvan de orientación. En suelos con niveles de pH inferior a 5,5, es recomendable aplicar cal (magnecal, cal agrícola), la que debe ser incorporada con la preparación del suelo en la última labor, al menos un mes antes del trasplante, en dosis que puede ir entre 1.000 y 2.000 kg/ha, dependiendo también del contenido de calcio en el suelo. Es importante señalar que con pH menores a 6,0 el desarrollo de la planta se afecta y además se favorece la aparición de enfermedades como hernia de las coles (Kehr y Bórquez, 2010).

2.8 MANEJO DE LAS MALEZAS

El cultivo del brócoli y las brásicas en general, son malas competidoras durante los primeros estados de desarrollo, debido principalmente al espaciamiento entre plantas. Por lo tanto, es recomendable comenzar con un cultivo libre de malezas, con barbecho químico y el uso de trifluralina en pre plantación incorporado al

suelo. Además se debe realizar una adecuada rotación de cultivo, evitando repetir brásicas en un mismo potrero año tras año. Para el control de gramíneas se puede utilizar pendimetalin (ingrediente activo) (Kehr y Bórquez, 2010).

Es importante tener la posibilidad de eliminar malezas antes de que produzcan su daño, es decir, en las primeras cuatro a cinco semanas de establecido el cultivo. Posteriormente el sombreado del cultivo impide el crecimiento de las malezas. De modo complementario al uso de herbicidas incorporados al suelo en pre trasplante, es posible realizar una o dos limpiezas manuales, esta labor se efectúa entre 15 – 20 días después del trasplante, con plantas bien arraigadas (Bravo y Aldunate, 1986. Kehr y Díaz, 2012).

2.9 RIEGO

La planta de brócoli tiene un crecimiento rápido, que ocurre principalmente en periodos de temperaturas altas, condiciones que favorecen una alta tasa de evapotranspiración, debido a esto es que se hace necesario proporcionar la humedad suficiente para favorecer el metabolismo activo de la planta (Bravo y Aldunate, 1986).

Algunas explotaciones que cuentan con agua en abundancia, utilizan el riego por surcos, a pesar de la baja eficiencia y alto gasto del recurso hídrico (Kehr 2010. Kehr y Díaz, 2012). Al respecto, el riego por surcos se recomienda cada dos días durante las primeras semanas y luego cada cinco a siete días, hasta que comienzan las lluvias de otoño (González, 2012).

En general, los riegos se efectúan cada siete a diez días en los periodos cálidos, reduciendo esta frecuencia a medida que avanza en el otoño (Bravo y Aldunate, 1986).

Debido a la creciente escasez del recurso hídrico, resalta el interés de optimizar su empleo en riegos más adecuados y eficientes, frente a esto existen alternativas al riego por surco, tales son el caso del riego por goteo, cintas o aspersión.

2.10 ENFERMEDADES

Hernia de coles (*Plasmodiophora brassicae*)

El hongo causante de la enfermedad se encuentra de manera normal en suelos ácidos y húmedos. Produce amarillamiento y reducción del crecimiento de las plantas y un sobrecrecimiento y deformación de las raíces.

Para su difícil control, se recomienda principalmente rotaciones largas con especies de otras familias, desinfección del suelo, aplicaciones de cal para mantener el pH del suelo en torno a 7,0, eliminación de las plantas afectadas para evitar que el hongo prolifere y se conserve en el suelo, y mantención de un adecuado control de malezas hospederas (Kehr y Bórquez, 2010).



Figura 8. Deformación de raíces causado por *Plasmodiophora brassicae*
Fuente. Pest Management Handbooks

Mildiu (*Peronospora parasítica*)

Esta enfermedad desarrolla micelio blanco-grisáceo en el envés de las hojas, provoca manchas cloróticas y luego necróticas en la cara superior del tejido. La enfermedad se ve favorecida por condiciones de frío y humedad. El daño principal es provocado en la pella, afectando la calidad con la presencia de manchas color café.

Medidas de manejo consideran rotaciones largas con especies de otras familias, desinfección del suelo, aplicaciones de cal para mantener el suelo en torno a 7,0, eliminación de plantas afectadas, y el uso de fungicida metalaxil (ingrediente activo) (Kehr y Bórquez, 2010). Mientras que un manejo orgánico considera el uso de caldo bordelés o algún producto comercial permitido a base de cobre (Vásquez *et al.*, 2012).



Figura 9. Síntoma de mildiú en hojas de brócoli
Fuente: Seminis-las.com

Rizoctonia (*Rhizoctonia solani*)

Produce deformaciones en cuello y raíz de la planta, pudiendo incluso provocar su muerte, principalmente en siembras estivales. Medidas preventivas incluye la desinfección del suelo y rotación de cultivos. Por otro lado, existe control orgánico el cual contempla aplicaciones de compost y/o Trichoderma en la preparación del suelo (Vásquez *et al.*, 2012).

Mancha foliar (*Alternaria brassicae*, *Alternaria brassicicola*)

La enfermedad es identificada por pequeñas manchas foliares circulares necróticas, pardas y a menudo con círculos concéntricos, en el centro de las manchas es posible observar abundante esporulación de color negro que corresponde a conidias, que avanzan desde las hojas exteriores hacia el centro de la planta. El control cultural considera el uso de semilla sana, rotación de cultivo y eliminación de residuos del cultivo que han sido afectados. El control químico en tanto, incluye aplicaciones de fungicidas registrados para el cultivo (Sepúlveda, 2005).

Moho blanco (*Sclerotinia Sclerotiorum*)

Produce marchitez y caída de hojas basales, poco desarrollo y pudriciones acuosas, con la aparición de un característico micelio blanco algodonoso. Las prácticas de control se orientan a realizar rotaciones de al menos tres años, evitar exceso de humedad en el suelo, eliminación de plantas enfermas y destrucción de residuos de cosecha (Kehr y Bórquez, 2010).

2.11 PLAGAS

Pulgón de las crucíferas (*Brevicoryne brassicae*)

Estos insectos, hemípteros, se pueden introducir en las flores haciendo muy difícil el control, depreciando finalmente el producto comercial. El manejo considera el uso de productos con acción insecticida cada siete días mientras persista la plaga, revisando su periodo de carencia dado el consumo fresco del producto (Kehr y Díaz, 2012). Por otro lado, existe el control biológico preventivo con liberación de chinitas o productos repelentes (Vásquez *et al.*, 2012).

Gusanos cortadores (*Trichoplusia ni*)

Las larvas afectan los primeros estados de desarrollo del cultivo, alimentándose de la base del tallo de la planta, por lo que ésta se marchita pudiendo incluso morir.

El control cultural considera la eliminación de malezas y rastrojos de cultivos, como también la utilización de trampas de luz para capturar adultos. El control biológico en tanto, se basa en aplicaciones a base de *Bacillus thuringiensis*. Y cuando un porcentaje igual o superior al 10% de las plantas presente daños, se recomienda realizar control químico (Vásquez *et al.*, 2012).

Caracoles y babosas (*Helix spp.*; *Deroceras spp.*)

Se alimentan de las hojas, es posible atraerlos con cebo fabricados con levadura de cerveza y eliminarlos manualmente. Otra opción en huerto caseros es ubicar pequeños contenedores con cerveza enterrados en el suelo dejando el borde del envase a nivel de la superficie, para que caigan en su interior (Vásquez *et al.*, 2012).

2.12 ANOMALÍAS Y DESORDENES FISIOLÓGICOS

Tallo hueco

Se puede desarrollar inmediatamente bajo la inflorescencia, debido probablemente a una baja densidad de plantación, exceso de nitrógeno o deficiencia de boro (Vásquez *et al.*, 2012. Kehr y Díaz, 2012).



Figura 10. Tallo hueco en brócoli
Fuente. oregonstate.edu

Formaciones prematuras de cogollos pre florales

Se produce cuando se inicia la formación del cogollo pre floral, antes de que la planta alcance su desarrollo vegetativo normal. Se forman pellas pre florales de pequeño tamaño que pueden abrirse tempranamente (Vásquez *et al.*, 2012).

Granos pardos en la superficie del cogollo

Durante la cosecha es frecuente encontrar inflorescencias con granos marrones que deprecian la calidad comercial, este fenómeno estaría asociado con altas temperaturas repentinas y a deficiencias en la translocación de calcio, como consecuencia de un crecimiento demasiado rápido (Vásquez *et al.*, 2012).



Figura 11. Granos pardos en la superficie de la pella
Fuente. Kehr y Díaz, 2012.

2.13 COSECHA

La cosecha de las pellas centrales se inicia cuando las inflorescencias alcanzan un desarrollo máximo sin perder su consistencia, ya que al sobrepasar ese momento las yemas florales se abren, haciendo visible sus flores amarillas, lo que provoca pérdida de calidad del producto. Las pellas son cortadas con unos 10 – 15 cm de tallo, los cuales también son aptos para el consumo.



Figura 12. Brócoli cosechado
Fuente. agrifarming.in

Después de cosechar las cabezas centrales, se recomienda aplicar nitrógeno y fósforo para estimular la producción de cabezas laterales (Giacconi y Escaff, 1988). Por otro lado, el residuo de cosecha de las brásicas se recomienda sea picado e incorporado al suelo, dado que tiene una acción biofumigante por la liberación de compuestos azufrados como glucosinolatos, con efectos sobre el control de nemátodos y otros agentes dañinos.

Un brócoli de buena calidad debe presentar sus flores cerradas, de color verde y firme a la presión de la mano.

A continuación, se detalla una escala visual de 1 a 5. Siendo los valores 4 y 5 considerados no comerciales, debido a la separación de las yemas florales y el inicio de la aparición de las puntas amarillas de los pétalos.

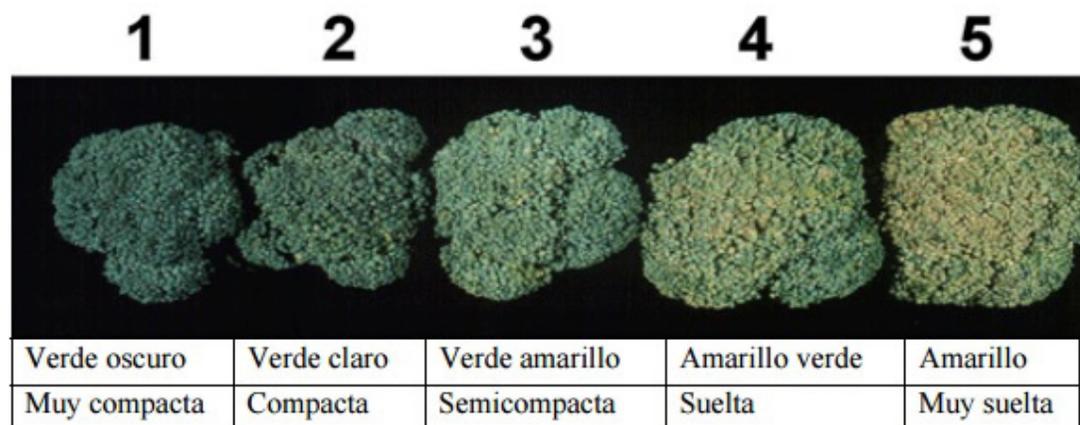


Figura 13. Escala de apreciación visual para determinar color y consistencia de la inflorescencia de brócoli
Fuente. Suslow y Cantwell (2005). Department of Vegetable Crops, U. of California, Davis.



3. Aspectos económicos

3.1 SUPERFICIE Y PRODUCCIÓN MUNDIAL

Producción Mundial

El brócoli y la coliflor son dos productos con un aspecto diferente, pero que pertenecen a la misma familia de las hortalizas. Ambos se caracterizan por contener una gran cantidad de vitaminas, por lo que son muy demandados a nivel internacional.

La Figura 14 representa la producción mundial de brócoli y coliflor por continente, siendo el continente asiático quien posee la mayor producción, con un 77% de participación en la producción mundial, y alrededor de 224 millones de toneladas acumuladas entre los años 2000 y 2014, Europa en tanto, con un 12% ocupa el segundo lugar en producción con un total de 34,8 millones de toneladas.

América se ubica en tercer lugar, con una representación del 9% de la participación total con casi 27 millones de toneladas. Por otro lado, África y Oceanía participan, cada uno, con un 1%.

**Producción mundial de brócoli y coliflor
(2000 - 2014)**

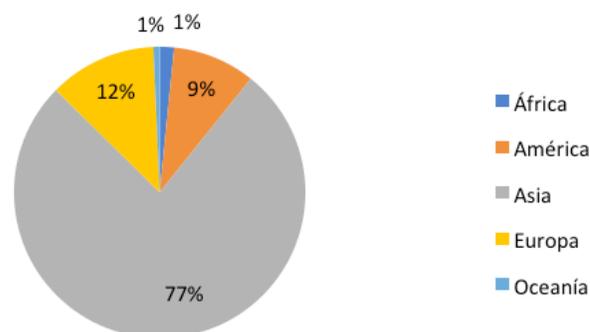


Figura 14. Producción mundial de brócoli y coliflor
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de FAOSTAT.

Principales productores

A continuación, se presentan los principales países con mayor superficie cosechada de brócoli y coliflor a nivel mundial. China ocupa el primer lugar con aproximadamente 478.252 hectáreas, correspondiente al 35%, en segundo lugar, se encuentra India, con una superficie de 433.870 hectáreas, correspondiente al 31% de participación, en el noveno lugar se posiciona Reino Unido, con 16.399 hectáreas, correspondiente al 1% respecto del total mundial.

Chile se encuentra en el lugar número 34, con una superficie de 1.428 hectáreas cosechadas, correspondiente al 0,103% respecto del total.

Cuadro 6. Superficie cosechada y participación de los países productores de brócoli y coliflor respecto de la producción mundial, año 2014.

Localidad	Área cosechada (ha)	Participación(%)
China	478.252	35%
India	433.870	31%
Ecuador	105.255	8%
Estados Unidos	65.340	5%
España	33.198	2%
México	32.710	2%
Francia	20.010	1%
Bangladesh	16.592	1%
Reino Unido	16.399	1%

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de FAOSTAT

Participación mundial del cultivo

China, además de ser el país con mayor superficie cosechada, también es el país con mayor producción de brócoli y coliflor, con algo más de 9,3 millones de toneladas representa alrededor del 39% del total mundial, en segundo lugar se encuentra India con 8,5 millones toneladas producidas en el año 2014, representando un 35% de la producción total.

Por otro lado, Chile se posiciona en el lugar número 35, con una producción de 29.073 toneladas, correspondiente al 0,12% de participación respecto del total (Figura 15).



Figura 15. Participación mundial en la producción de brócoli y coliflor
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de FAOSTAT

3.2 COMERCIO INTERNACIONAL Y NACIONAL

Principales países importadores de brócoli y coliflor

A continuación, en la Figura 16, los principales países importadores de brócoli y coliflor, y el promedio del volumen importado entre los años 2007 y 2016.

El principal país importador corresponde a Reino Unido, con alrededor de 140 mil toneladas promedio. Le sigue en importancia Canadá y Alemania, con un total de 80.038 y 70.344 toneladas importadas promedio entre los años 2007 y 2016, respectivamente.

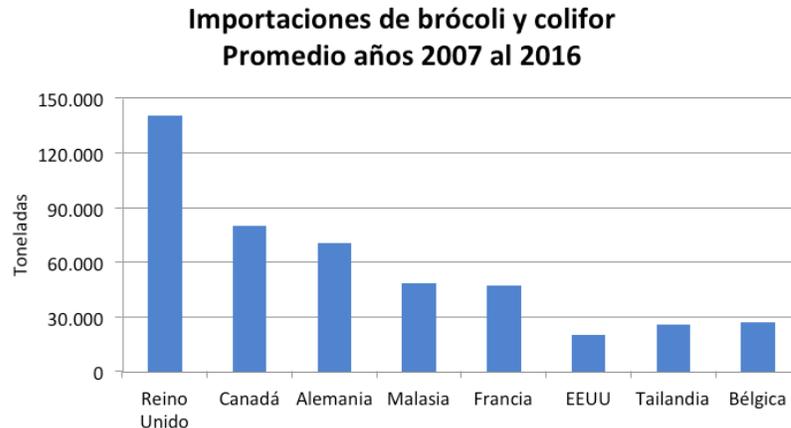


Figura 16. Países importadores de brócoli y coliflor
Fuente: Elaboración propia con datos de TradeMap.

Principales países exportadores de brócoli y coliflor

Los principales países exportadores junto a sus respectivos volúmenes promedio de exportación durante los años 2007 y 2016 son señalados en la Figura 17.

España es el principal país exportador de brócoli y coliflor con 294.709 toneladas promedio entre los años 2007 al 2016. Le sigue Francia y México con 153.048 y 150.666 toneladas promedio exportadas en el mismo periodo de tiempo.



Figura 17. Países exportadores de brócoli y coliflor
Fuente: Elaboración propia con datos de TradeMap.

Comercio nacional de brócoli y coliflor

El brócoli y coliflor se pueden comercializar de manera fresca o congelada. A continuación, en la Figura 18 se dan a conocer el volumen de brócoli y coliflor como producto congelado, exportadas durante el año 2011 y 2012.

Tanto el brócoli como la coliflor congelada, sus exportaciones durante los años 2011 y 2012 presentaron aumentos del orden de 77 y 52%, respectivamente

Durante el año 2011 se exportaron 88 y 38 toneladas de brócoli y coliflor congeladas, respectivamente. Luego en el año 2012 estas aumentaron a 156 y 58 toneladas.

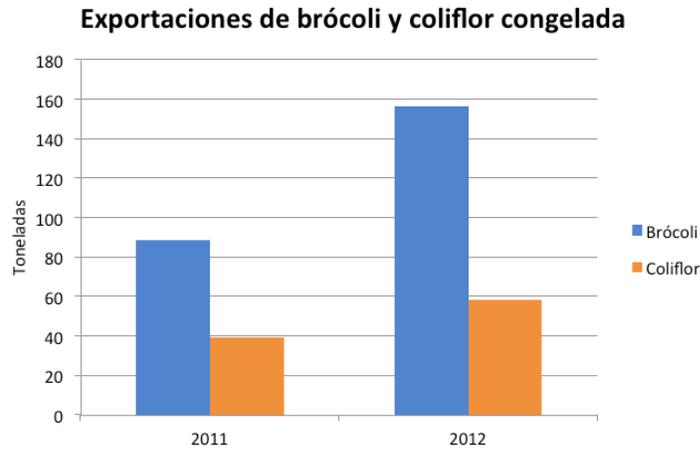


Figura 18. Exportaciones de brócoli y coliflor
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de TradeMap.

3.3 SUPERFICIE Y ESTABLECIMIENTO EN CHILE

Superficie a nivel nacional

La mayor parte de la superficie destinada al cultivo de brócoli en Chile se encuentra en la Región Metropolitana con 736 hectáreas promedio entre los años 2015 y 2016. Le sigue en importancia la Región de Valparaíso y Coquimbo, con 162 y 126 hectáreas promedio.

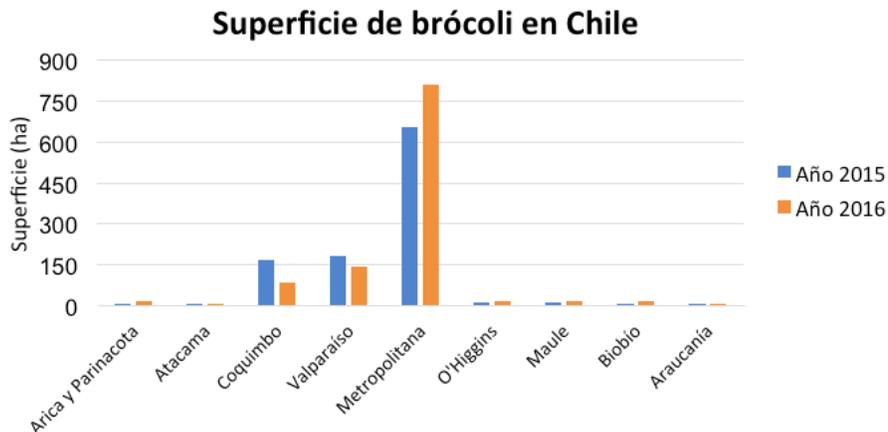


Figura 19. Superficie de brócoli en Chile
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del INE.

La variación de la superficie de brócoli por región es señalada en el Cuadro 7. Las regiones que presentaron un mayor aumento de superficie de brócoli durante los años 2015 y 2016 fueron las regiones de Arica y Parinacota, del Biobío y del Maule. Al respecto, a nivel nacional el aumento de la superficie fue de un 6,2%, entre el año 2015 y 2016, con 1.045 y 1.111 hectáreas, respectivamente.

Cuadro 7. Variación de la superficie de brócoli en Chile

Región	Superficie (ha) Año 2015	Superficie (ha) Año 2016	Variación 2015/2016 (%)
Arica y Parinacota	8	17	96,4
Atacama	3	1	-69,5
Coquimbo	165	86	-48,3
Valparaíso	182	142	-22,0
Metropolitana	658	814	23,8
O'Higgins	11	15	42,0
Maule	10	19	83,5
Biobío	7	15	97,2
La Araucanía	1	3	412,7
Total	1.045	1.111	6,2

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se ha elaborado una estimación del resultado económico para el establecimiento del cultivo de brócoli para la Región del Biobío. Para el análisis económico se consideraron los costos de establecimiento de una hectárea, con un horizonte de evaluación de 1 año y, un rendimiento de 32.000 unidades/ha.

La estructura de costos considera las labores (análisis de suelo, arado, rastraje, etc.), el costo de la mano (control de malezas, riego y cosecha), y el costo de los insumos.

Cuadro 8. Costos directos de producción para el cultivo de brócoli

Ítem	Costos/ha (pesos chilenos)
Labores	1.725.000
Mano de obra	1.294.000
Plántula	720.000
Fertilizantes	221.000
Herbidas	37.500
Insectidas	38.000
Imprevistos (5%)	201.775
Total costos directos	4.237.275

Para el cálculo de los ingresos, se decidió trabajar con un precio promedio de mercado de 0,484 US\$ por kilo de brócoli y un tipo de cambio de \$620/US\$.

Mediante los ingresos y los costos de producción del brócoli, el resultado de la evaluación económica se refleja en un aumento de riqueza para quien realice la inversión de más de 5 millones (\$5.362.725) por hectárea y un margen neto de un 56% en relación a las ventas.

Estos resultados señalan que el cultivo del brócoli es rentable para la Región del Biobío, siendo que los valores indican una rentabilidad alta del cultivo.

Cuadro 9. Indicadores de evaluación económica para una hectárea de brócoli

Indicadores	
Ingresos	\$ 9.600.000
Costo directo	\$ 4.237.275
Margen neto	\$ 5.362.725
Margen neto	55,9%

El análisis de sensibilidad se basa en indicar cuánto es el impacto de variables críticas (o cambiantes) en la generación de recursos del proyecto, siendo el tipo de cambio y el precio del kilo de brócoli las que tienen mayor cantidad de riesgo e impacto en el proyecto. Se consideró un cambio en un 10 y 20% en el precio (al alza o baja) y un 5 y 10% en el tipo de cambio (al alza o baja) para ver el comportamiento del margen neto. Resulta interesante destacar que ante una caída de un 10% en el precio del kilo del brócoli y una baja en el 10% del tipo de cambio, el cultivo genera un margen positivo.

Cuadro 10. Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli

		Precio de mercado					
		-20%	-10%	Promedio	10%	20%	
Tipo de cambio	-10%	2.761.125	3.538.725	4.402.725	5.266.725	6.217.125	-10%
	-5%	3.149.925	3.970.725	4.882.725	5.794.725	6.797.925	-5%
	Promedio	3.538.725	4.402.725	5.362.725	6.322.725	7.378.725	Promedio
	5%	3.927.525	4.834.725	5.842.725	6.850.725	7.959.525	5%
	10%	4.316.325	5.266.725	6.322.725	7.378.725	8.540.325	10%

3.5 ANÁLISIS ECONÓMICO CON CAMBIO CLIMÁTICO

A continuación, se presentan los resultados del análisis de factibilidad económica del establecimiento de brócoli para la Región del Biobío.

Para el siguiente análisis se utilizaron los costos directos señalados en el Cuadro 12. Además se incorporará en la evaluación económica la instalación y uso de riego por goteo, considerando su mayor eficiencia en el uso del agua, a raíz de poder optimizar el recurso hídrico a futuro. El costo de establecimiento de sistema de riego y el aumento en la inversión inicial del cultivo será de \$2.250.000.

Cuadro 11. Costos de instalación del sistema de riego por goteo

Ítem	Costos/ha (pesos chilenos)
Instalación riego por goteo	2.250.000
Total costos establecimiento	2.250.000

Cuadro 12. Costos directos de producción del cultivo de brócoli

Ítem	Costos/ha (pesos chilenos)
Labores	225.000
Mano de obra	1.294.000
Plántula	720.000
Fertilizantes	221.000
Herbicidas	37.500
Insecticidas	38.000
Imprevistos (5%)	126.775
Total costos directos	2.662.275

Para la valoración económica se consideró un rendimiento de 32.000 unid/ha, siendo éste el rendimiento promedio declarado por los agricultores entrevistados, el cual será utilizado en cada uno de los años a evaluar.

Para la proyección del flujo de caja a 5 años se tomaron como parámetros: un rendimiento promedio de 32.000 unid/ha; un tipo de cambio de \$620 y un precio de venta de US\$ 0,484/kg. El aumento de riqueza que genera el establecimiento de una hectárea de brócoli equivale a \$22.409.928, calculado a partir del Valor Actual Neto (VAN), con una tasa de descuento de 12%. El proyecto de brócoli presenta una rentabilidad máxima de 307,3%, representado por la Tasa Interna de Retorno (TIR).

De forma complementaria a la evaluación económica, se realizó un análisis de sensibilidad para ver el comportamiento del VAN cuando el tipo de cambio tiene una caída o un alza de un 5 y 10% y, con el precio de mercado del brócoli cuando éste presenta un alza o una caída de un 10 y 20%.

El análisis de sensibilidad se basa en indicar cuánto es el impacto de variables críticas (o cambiante) en la generación de recursos del proyecto, siendo el tipo de cambio y el precio del brócoli las que tienen mayor cantidad de riesgo e impacto en el proyecto.

En el Cuadro 13 se representa el VAN para diferentes combinaciones de precios y tipos de cambio.

Cuadro 13. Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli

		Precio de Mercado					
Tipo de Cambio		-20%	-10%	Promedio	10%	20%	
	-10%	12.720.290	15.834.816	18.949.343	22.063.870	25.178.396	-10%
	-5%	14.104.524	17.392.080	20.679.636	23.967.191	27.254.747	-5%
	Promedio	15.488.758	18.949.343	22.409.928	25.870.513	29.331.098	Promedio
	5%	16.872.992	20.506.606	24.140.221	27.773.835	31.407.450	5%
	10%	18.257.226	22.063.870	25.870.513	29.677.157	33.483.801	10%

Análisis con rendimiento de 16.000 unid/ha

Si bien los precios son un elemento importante a la hora de evaluar los proyectos, los rendimientos también son otro factor relevante a la hora de tomar decisiones, es por esto por lo que se considerarán dos escenarios de rendimientos, con el fin de observar el impacto que tendrá en el proyecto.

Para dicho análisis se tomará como base los costos directos de producción señalados en el Cuadro 14, y el costo asociado a la instalación y uso de riego por goteo (Cuadro 11).

En los costos directos se verá disminuido el ítem de mano de obra, esto a consecuencia de un menor rendimiento y baja en la necesidad de jornada hombre necesaria para la cosecha.

Cuadro 14. Costos directos de producción de brócoli, con disminución de rendimiento

Ítem	Costos/ha (pesos chilenos)
Labores	225.000
Mano de obra	782.000
Plántula	720.000
Fertilizantes	221.000
Herbicidas	37.500
Insecticidas	38.000
Imprevistos (5%)	101.175
Total costos directos	2.124.675

Se realizó una proyección del flujo de caja a 5 años donde se tomaron como parámetros: un rendimiento promedio de 16.000 unid/ha; un tipo de cambio de \$620 y un precio de venta de US\$ 0,484/kg. El aumento de riqueza que genera el establecimiento de una hectárea equivale a \$7.044.930, calculado a partir del Valor Actual Neto (VAN), con una tasa de descuento de 12%. El proyecto de brócoli presenta una rentabilidad máxima de 114,5%, representado por la Tasa Interna de Retorno (TIR).

De forma complementaria a la evaluación económica, se realizó un análisis de sensibilidad para ver el comportamiento del VAN cuando el tipo de cambio tiene una caída o un alza de un 5 y 10% y, con el precio de mercado del brócoli cuando

éste presenta un alza o una caída de un 10 y 20%.

El análisis de sensibilidad se basa en indicar cuánto es el impacto de variables críticas (o cambiantes) en la generación de recursos del proyecto, siendo el tipo de cambio y el precio del brócoli las que tienen mayor cantidad de riesgo e impacto en el proyecto.

A continuación, en el Cuadro 15 se representa el VAN para diferentes combinaciones de precios y tipos de cambio.

Cuadro 15. Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli, con disminución en el rendimiento

		Precio de mercado					
		-20%	-10%	Promedio	10%	20%	
Tipo de cambio	-10%	2.200.111	3.757.374	5.314.637	6.871.901	8.429.164	-10%
	-5%	2.892.228	4.536.006	6.179.784	7.823.562	9.467.340	-5%
	Promedio	3.584.345	5.314.637	7.044.930	8.775.223	10.505.515	Promedio
	5%	4.276.462	6.093.269	7.910.076	9.726.884	11.543.691	5%
	10%	4.968.579	6.871.901	8.775.223	10.678.544	12.581.866	10%

Análisis con rendimiento mínimo

Finalmente se analizará el rendimiento mínimo que debe tener un huerto de brócoli para que el VAN del proyecto sea 0 y el Índice de Rentabilidad (IR) sea igual a 1, ósea cuando no existe pérdida ni ganancia al realizar el proyecto.

Para el siguiente análisis se tomará como base los costos directos de producción señalados en el Cuadro 16, y el costo asociado a la instalación y uso de riego por goteo (Cuadro 11).

En los costos directos se verán disminuido el ítem de mano de obra, esto a consecuencia de realizar el análisis con rendimiento mínimo, lo que conllevará a una disminución de la jornada hombre necesaria para la cosecha.

Cuadro 16. Costos directos de producción de brócoli, con rendimiento mínimo

Ítem	Costos/ha (pesos chilenos)
Labores	225.000
Mano de obra	547.245
Plántula	720.000
Fertilizantes	221.000
Herbicidas	37.500
Insecticidas	38.000
Imprevistos (5%)	89.437
Total costos directos	1.878.183

Para la valoración económica se consideró un rendimiento de 8.664 unid/ha, siendo esta cantidad la mínima que debe rendir el cultivo de brócoli para no obtener pérdidas ni ganancias en el proyecto.

Para la proyección del flujo de caja a 5 años se tomaron como parámetros:

el rendimiento mínimo señalado anteriormente, un tipo de cambio de \$620 y un precio de venta de US\$ 0,4847/kg. El aumento de riqueza que genera el establecimiento de una hectárea de brócoli equivale a \$0, calculado a partir del Valor Actual Neto (VAN).

De forma complementaria a la evaluación económica, se realizó un análisis de sensibilidad para ver el comportamiento del VAN cuando el tipo de cambio tiene una caída o un alza de un 5 y 10% y, con el precio de mercado del brócoli cuando éste presenta un alza o una caída de un 10 y 20%.

El análisis de sensibilidad se basa en indicar cuánto es el impacto de variables críticas (o cambiantes) en la generación de recursos del proyecto, siendo el tipo de cambio y el precio del brócoli las que tienen mayor cantidad de riesgo e impacto en el proyecto.

El Cuadro 17 representa el VAN para diferentes combinaciones de precios y tipos de cambio. Se aprecia que ante cualquier baja, ya sea en el tipo de cambio o en el precio, trae consigo una pérdida al realizar el proyecto, y por otra parte, un alza en el tipo de cambio o en el precio del brócoli traería consigo ganancias para quien ejecuta el proyecto.

Cuadro 17. Análisis de sensibilidad para una hectárea de brócoli, con rendimiento mínimo

		Precio de mercado					
		-20%	-10%	Promedio	10%	20%	
Tipo de cambio	-10%	-2.712.219	-1.780.195	-936.945	-93.694	749.556	-10%
	-5%	-2.269.188	-1.358.570	-468.472	421.625	1.311.722	-5%
	Promedio	-1.875.364	-936.945	0	936.945	1.873.889	Promedio
	5%	-1.499.111	-515.320	468.472	1.452.264	2.436.056	5%
	10%	-1.124.334	-93.694	936.945	1.967.584	2.998.223	10%

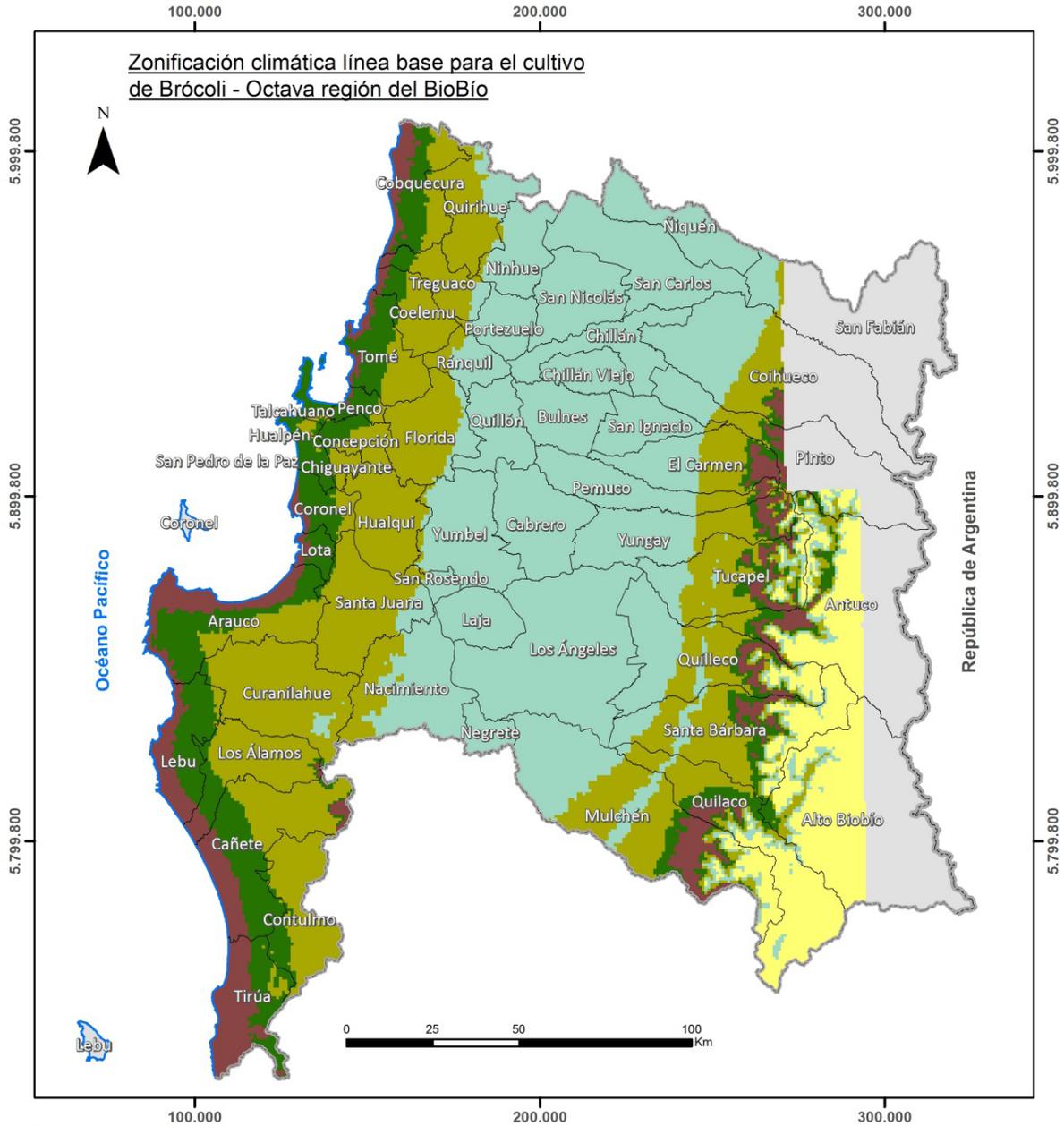




4. Mapas de aptitud productiva

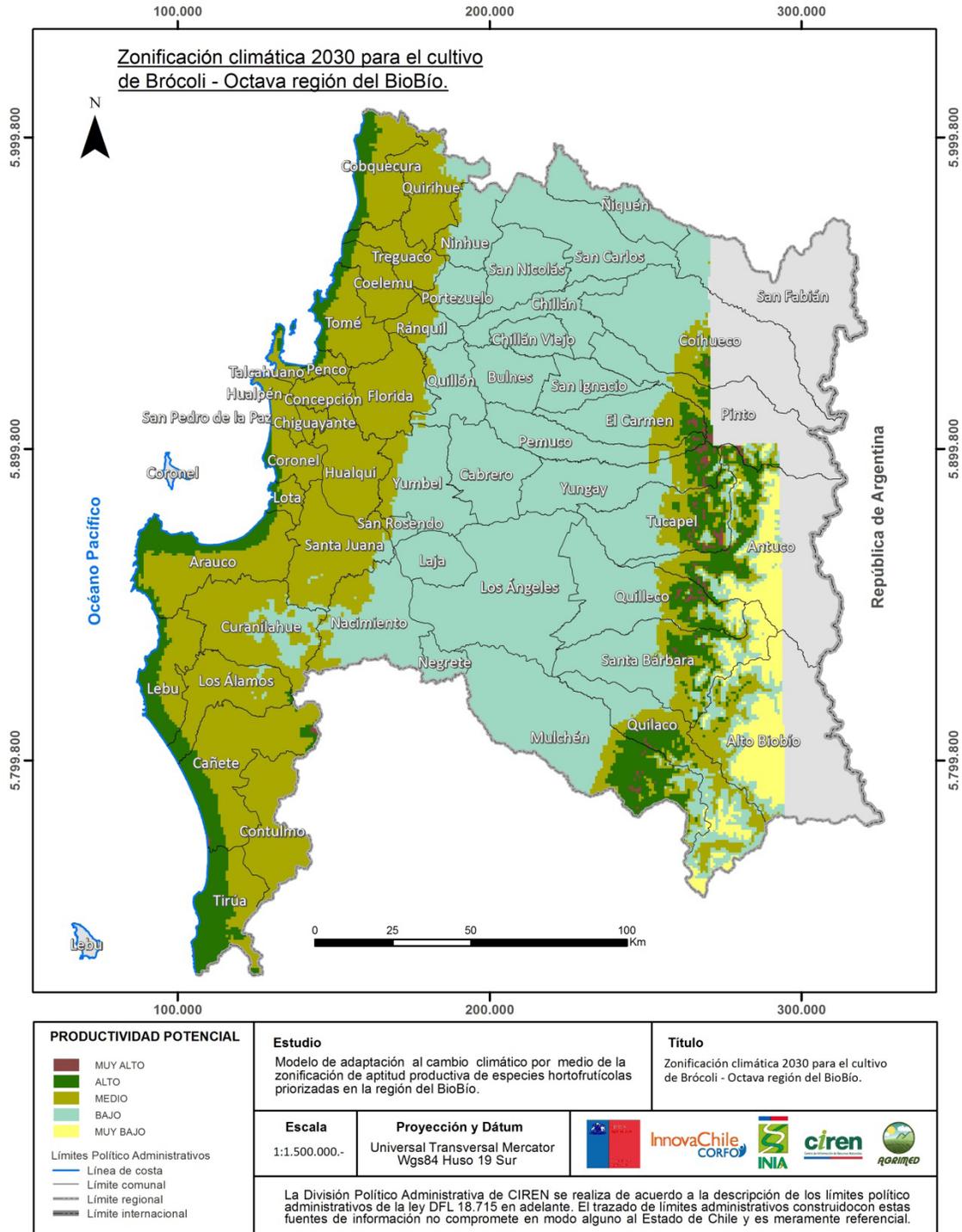
A continuación, se presentan los mapas de aptitud productiva por clima (condición actual y futura), por suelo, por clima (condición actual y futura) y suelo conjuntamente, para brócoli.

1. Mapa de aptitud productiva por clima, condición actual

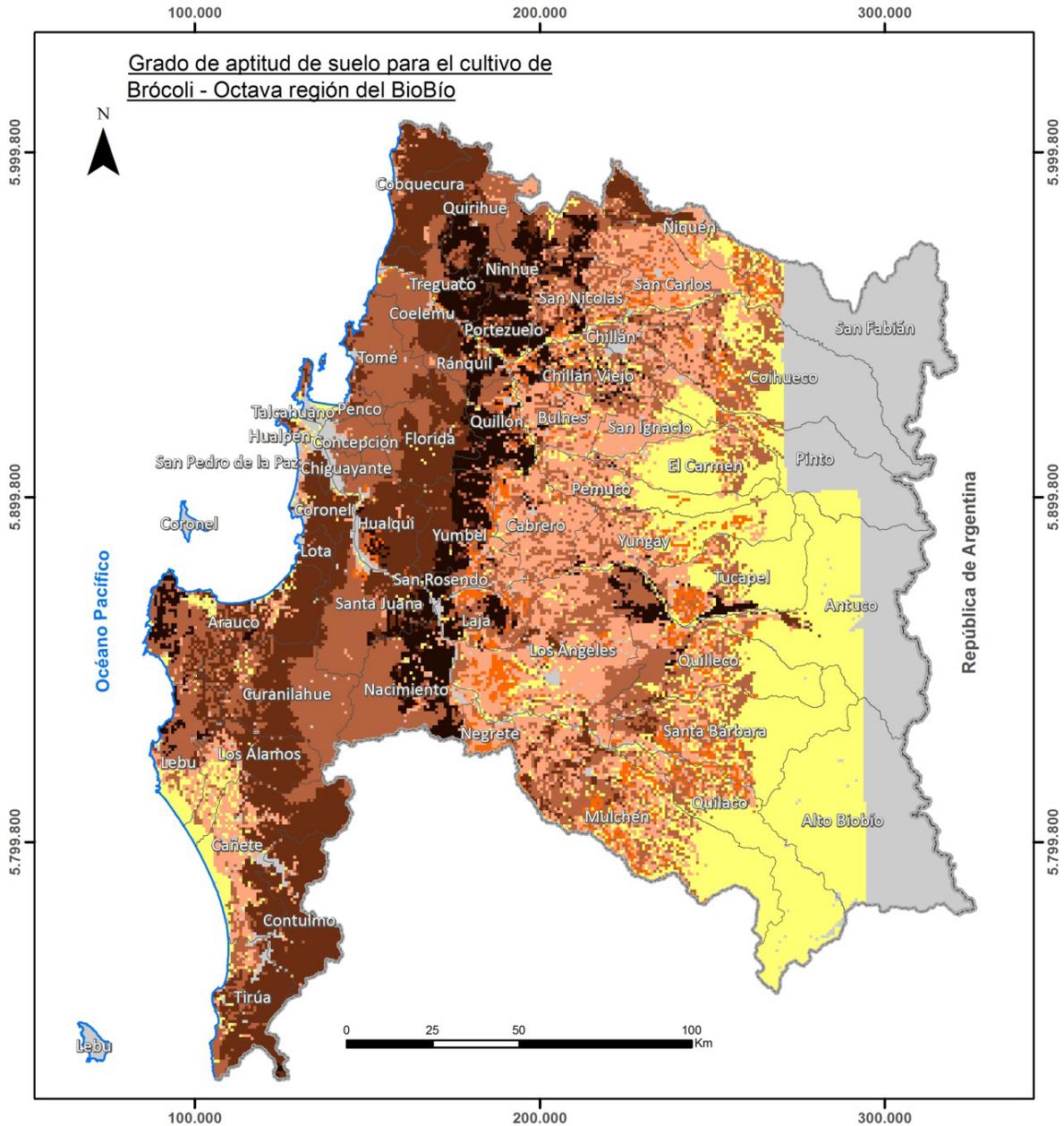


<p>PRODUCTIVIDAD POTENCIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> MUY ALTO ALTO MEDIO BAJO MUY BAJO <p>Límites Político Administrativos</p> <ul style="list-style-type: none"> Línea de costa Límite comunal Límite regional Límite internacional 	<p>Estudio</p> <p>Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas prioritizadas en la región del Biobío.</p>		<p>Título</p> <p>Zonificación climática línea base para el cultivo de Brócoli - Octava región del Biobío.</p>	
	<p>Escala</p> <p>1:1.500.000.-</p>	<p>Proyección y Dátum</p> <p>Universal Transversal Mercator Wgs84 Huso 19 Sur</p>		
<p>La División Político Administrativa de CIREN se realiza de acuerdo a la descripción de los límites político administrativos de la ley DFL 18.715 en adelante. El trazado de límites administrativos construido con estas fuentes de información no compromete en modo alguno al Estado de Chile y es meramente referencial.</p>				

2. Mapa de aptitud productiva por clima, condición futura (2030)

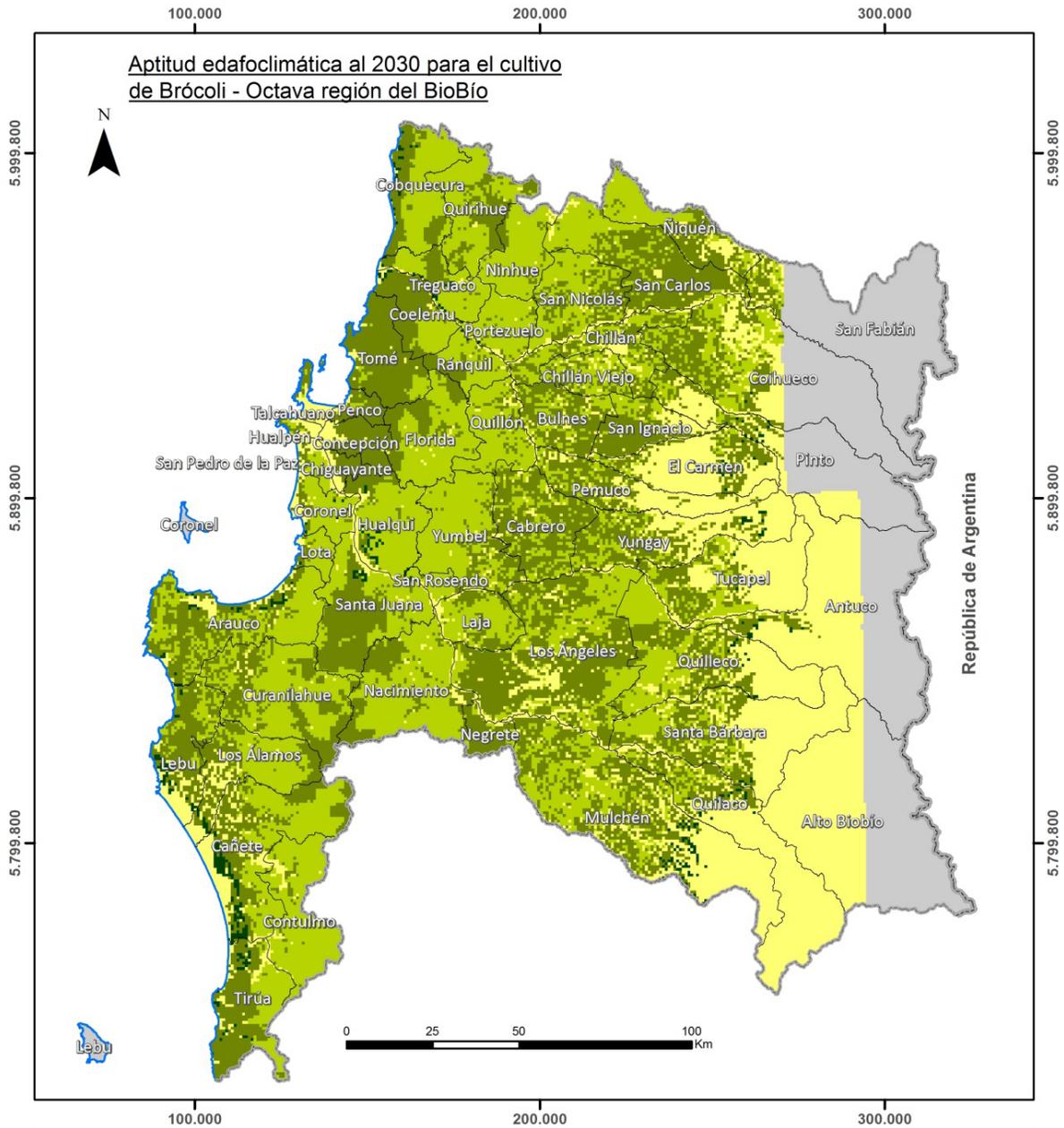


3. Mapa de aptitud productiva por suelo



PRODUCTIVIDAD POTENCIAL Límites Político Administrativos Línea de costa Límite comunal Límite regional Límite internacional	Estudio Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas priorizadas en la región del BioBío.	Título Grado de aptitud de suelo para el cultivo de Brócoli - Octava región del BioBío.
	Escala 1:1.500.000.-	Proyección y Dátum Universal Transversal Mercator Wgs84 Huso 19 Sur
La División Político Administrativa de CIREN se realiza de acuerdo a la descripción de los límites político administrativos de la ley DFL 18.715 en adelante. El trazado de límites administrativos construido con estas fuentes de información no compromete en modo alguno al Estado de Chile y es meramente referencial.		

5. Mapa de aptitud por suelo-clima, condición futura (2030)



<p>PRODUCTIVIDAD POTENCIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> ALTO MEDIO BAJO INDETERMINADA ÁREA DE EXCLUSIÓN <p>Límites Político Administrativos</p> <ul style="list-style-type: none"> Línea de costa Límite comunal Límite regional Límite internacional 	<p>Estudio</p> <p>Modelo de adaptación al cambio climático por medio de la zonificación de aptitud productiva de especies hortofrutícolas prioritizadas en la región del Biobío.</p>		<p>Título</p> <p>Aptitud edafoclimática al 2030 para el cultivo de Brócoli - Octava región del Biobío.</p>	
	<p>Escala</p> <p>1:1.500.000.-</p>	<p>Proyección y Dátum</p> <p>Universal Transversal Mercator Wgs84 Huso 19 Sur</p>		
<p>La División Político Administrativa de CIREN se realiza de acuerdo a la descripción de los límites político administrativos de la ley DFL 18.715 en adelante. El trazado de límites administrativos construido con estas fuentes de información no compromete en modo alguno al Estado de Chile y es meramente referencial.</p>				





5. Recomendaciones productivas

El cambio climático se está convirtiendo en un desafío de importancia para los productores agrícolas, debido a que en el mediano plazo tendrán que acostumbrarse a un nuevo panorama, que en muchos casos será diametralmente opuesto al que acostumbran, algo más adverso e inestable.

Al respecto, diversos estudios señalan que con su llegada aumentará el promedio de las temperaturas y de acumulación de grados días durante el verano; disminuirán las horas frío en invierno; y se incrementará la ocurrencia de otros eventos inusuales como los periodos cálidos en invierno y la ocurrencia de lluvias tardías en primavera.

El efecto de un aumento térmico tiene muchos aspectos a considerar. Por una parte, este no necesariamente se producirá durante todo el ciclo del cultivo. De hecho, se espera que los mayores aumentos ocurran en los meses de primavera-verano. Por lo tanto, la ocurrencia de olas de calor en esos meses podría ser crítica para los cultivos, dependiendo de su estado de desarrollo. Además de los efectos sobre la producción, un aumento térmico puede influir sobre la calidad del producto final, por ejemplo, aumentaría la incidencia de algunas enfermedades y plagas, los insectos al crecer en un ambiente más cálido, tendrán ciclos de vida más corto.

Si bien es imposible predecir si en una temporada determinada se manifestarán aumentos térmicos, y más aún precisar el estado de desarrollo en el cual se encuentre el cultivo, existen medidas de adaptación y/o mitigación que se deben considerar en el futuro, como son la modificación en las fechas de siembra, o la utilización de variedades menos susceptibles al aumento de temperaturas. Una modificación en el cambio de fecha de establecimiento del cultivo implica poder optimizar su productividad, permitiendo que el cultivo explore las mejores condiciones ambientales y, cuando las condiciones desfavorables son inevitables, minimizar la coincidencia de estas con los estadios de desarrollo más vulnerables del cultivo.

Además del aumento de las temperaturas, el cambio climático trae consigo una

variación en el régimen de las precipitaciones, lo que en conjunto, causarán un incremento de los requerimientos hídricos de los cultivos. Por ello es importante desarrollar un adecuado manejo agronómico de las hortalizas para hacer frente a la escasez hídrica y lograr un uso más eficiente del recurso. De forma paulatina ocurrirá un desplazamiento del sistema de riego por surco, y utilizando alternativas como por ejemplo el riego por cintas o goteo. Por otro lado, el uso de acolchados o mulch, ya sean plásticos u orgánicos, ayudan a disminuir la evaporación del agua del suelo, mejoran la temperatura del mismo y favorecen el crecimiento de las raíces.

Sin duda, la agricultura deberá adaptarse a los nuevos escenarios climáticos mediante cambios que permitan atenuar los impactos desfavorables de un clima algo más adverso e inestable. Dentro de un plan de adaptación deberán incluirse mejoramientos en la gestión del riego, sistemas para la prevención y regulación de temperaturas altas, control integrado de plagas, mejores sistemas de monitoreo y alerta climática, desarrollo de nuevas variedades mejor adaptadas a las nuevas condiciones climáticas, control de eventuales eventos como el viento y granizos, mecanismos de reducción del estrés, posibles relocalizaciones de especies y variedades, cambio de sistema de manejo de suelo, entre otros. De cualquier forma, las estrategias de adaptación dependerán de la localidad y la especie principalmente.

En la zonificación climática al año 2030 para el cultivo del brócoli, se observan algunos cambios en las variables climáticas que podrían afectar los potenciales productivos en distintas zonas de la Región del Biobío. Dichas zonas son el secano interior, valle central, litoral, precordillera y cordillera, en algunas comunas de la región, lo que se describe a continuación.

Para la zona del valle central se muestran distintos factores limitantes para la producción del brócoli, donde se encuentran los días grado y un elevado número de días con temperaturas sobre 30°C, para las comunas de Quirihue, San Fabián, Florida, Laja, Los Ángeles, Nacimiento, Negrete, Pemuco, Cabrero, San Rosendo, Santa Juana y Yumbel. Días grado para el valle central de la comuna de Hualqui. Días grado, déficit hídrico y número total de heladas para las comunas de Chillán, Ñiquén, Pinto y San Ignacio. Días grado, número total de heladas y elevado número de días con temperaturas sobre 30°C, para las comunas de Alto Biobío, Antuco, El Carmen, Mulchén, Quilaco, Quilleco, Santa Bárbara, Tucapel y Yungay. Y, por último, días grado y déficit hídrico para las comunas de Bulnes, Chillán Viejo, Coihueco, Ninhue, Portezuelo, Quillón, Ránquil, San Carlos y San Nicolás.

Para la zona de Secano interior y la zona de litoral, el factor limitante a la productividad son los días grado, principalmente para la zona del secano interior en las comunas de Arauco, Cañete, Cobquecura, Coelemu, Contulmo, Santa Juana, Nacimiento, Trehuaco, Chiguayante, Curanilahue, Concepción, Coronel, Lebu, Los Álamos, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Talcahuano, Tirúa y Tome. Y, para la zona de litoral en las comunas de Trehuaco, Cañete, Coelemu, Lebu, Arauco, Talcahuano, San Pedro de la Paz, Cobquecura, Coronel, Hualpén, Los Álamos, Lota, Penco, Tirúa y Tomé.

Para la zona se precordillera, se presentan como limitantes las altas temperaturas para las comunas de El Carmen, Pinto y San Ignacio; y el número total de heladas para las comunas de Pemuco, Tucapel, Yungay, Alto Biobío, Quilaco y Mulchén.

Y, por último, en la zona de cordillera, se presentan como limitantes a la producción, el número total de heladas y la suma térmica para las comunas de Santa Bárbara, Alto Biobío, Antuco, Coihueco, Mulchén, Pemuco, Pinto, Quilaco, Quilleco, San Fabián, Tucapel y Yungay.



6. Bibliografía

Anasac. 2017. Hortalizas. Disponible en: <http://www.anasac.cl/agropecuario/productos/semillas/hortalizas/> Leído el 15 de junio de 2017.

Aljaro, A. 2000. Repollo, Coliflor, Brócoli, Repollito de Bruselas. Revista Tierra Adentro N° 34. pp: 12-14.

Bravo, A., Aldunate, P. 1986. Monografías hortícolas. Universidad Católica de Chile y Corporación de fomento de la producción. 99p.

González, O. 1992. Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). En: Estay, P., Bruna, A., Aljaro, A., González, O., Covarrubias, C. Hortalizas. Programa de Capacitación a agentes de extensión. Serie La Platina N°36. Inia La Platina. Santiago, Chile.

González, M.I. 2012. Nuevas fichas hortícolas. 3ª Edición actualizada. Boletín Inia N°246. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Inia Quilamapu. Chillán, Chile.

Giacconi, V., Escaff, M. 1988. Cultivo de hortalizas. Editorial Universitaria (8va ed.). Santiago Chile. 335p.

Kehr, E., Bórquez, C. 2010. Brásicas: grupo de hortalizas con aptitud para producción en la zona sur. Tierra adentro. N° 91. pp: 21-24.

Kehr, E., Díaz, P. 2012. Producción de brócoli para la agroindustria. Informativo Inia-Corfo N°61.

Krarup, C., Moreira, I. 1998. Hortalizas de estación fría. Biología y diversidad cultural. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile. http://www.puc.cl/sw_educ/hort0498. Leído el 09 de junio de 2017.

Odepa. 2017. Estadísticas Productivas. Disponible en: <http://www.odepa.cl/estadisticas/productivas/> Leído el 20 de junio de 2017.

Semillasabe. 2017. Avenger – Imperial. Disponible en: <https://www.semillasabe.cl/blank-2> Leído el 20 de junio de 2017.

Sepúlveda, P. 2005. Enfermedades en hortalizas de hojas, raíz y brásicas. Seminario "Fitosanidad en hortalizas para la zona sur". Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Inia Carillanca. Temuco, Chile.

Vásquez, C., Céspedes, C., Paillán, H., Vargas, S. 2012. Manejo orgánico de cultivos hortícolas. pp: 80-110. En: Céspedes, C. Producción Hortofrutícola Orgánica. Boletín Inia N°232. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Inia Quilamapu. Chillán, Chile.

CIREN

Av. Manuel Montt #1164,
Providencia, Santiago

Teléfono (56) 2 2200 8900

WWW.CIREN.CL



Proyecto apoyado por

