



INFORME TECNICO FINAL

Nombre del proyecto	Mapa dinámico a escala diaria de la Evapotranspiración de Referencia (ET _o) para determinar las necesidades de riego en Chile
Código del proyecto	PYT-2017-0877
Informe final	
Período informado (considerar todo el período de ejecución)	desde el 14 diciembre 2017 hasta el 11 de agosto de 2021
Fecha de entrega	29 de octubre 2021

Nombre coordinador	Samuel Ortega Farias
Firma	

INSTRUCCIONES PARA CONTESTAR Y PRESENTAR EL INFORME

- Todas las secciones del informe deben ser contestadas, utilizando caracteres tipo Arial, tamaño 11.
- Sobre la información presentada en el informe:
 - Debe dar cuenta de todas las actividades realizadas en el marco del proyecto, considerando todo el período de ejecución, incluyendo los resultados finales logrados del proyecto; la metodología utilizada y las modificaciones que se le introdujeron; y el uso y situación presente de los recursos utilizados, especialmente de aquellos provistos por FIA.
 - Debe estar basada en la última versión del Plan Operativo aprobada por FIA.
 - Debe ser resumida y precisa. Si bien no se establecen números de caracteres por sección, no debe incluirse información en exceso, sino solo aquella información que realmente aporte a lo que se solicita informar.
 - Debe ser totalmente consistente en las distintas secciones y se deben evitar repeticiones entre ellas.
 - Debe estar directamente vinculada a la información presentada en el informe financiero final y ser totalmente consistente con ella.
- Sobre los anexos del informe:
 - Deben incluir toda la información que complementa y/o respalda la información presentada en el informe, especialmente a nivel de los resultados alcanzados.
 - Se deben incluir materiales de difusión, como diapositivas, publicaciones, manuales, folletos, fichas técnicas, entre otros.
 - También se deben incluir cuadros, gráficos y fotografías, pero presentando una descripción y/o conclusiones de los elementos señalados, lo cual facilite la interpretación de la información.
- Sobre la presentación a FIA del informe:
 - Se deben entregar tres copias iguales, dos en papel y una digital en formato Word (CD o pendrive).
 - La fecha de presentación debe ser la establecida en el Plan Operativo del proyecto, en la sección detalle administrativo. El retraso en la fecha de presentación del informe generará una multa por cada día hábil de atraso equivalente al 0,2% del último aporte cancelado.
 - Debe entregarse en las oficinas de FIA, personalmente o por correo. En este último caso, la fecha válida es la de ingreso a FIA, no la fecha de envío de la correspondencia.
- El FIA se reserva el derecho de publicar una versión del Informe Final editada especialmente para estos efectos.

CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES GENERALES	4
2.	EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO.....	4
3.	RESUMEN EJECUTIVO	5
4.	OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO.....	8
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE).....	8
6.	RESULTADOS ESPERADOS (RE).....	9
7.	CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO.....	20
8.	ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO.....	24
9.	POTENCIAL IMPACTO.....	26
10.	CAMBIOS EN EL ENTORNO.....	27
11.	DIFUSIÓN.....	27
12.	PRODUCTORES PARTICIPANTES	28
13.	CONSIDERACIONES GENERALES.....	29
14.	CONCLUSIONES	31
15.	RECOMENDACIONES	31
16.	ANEXOS	32
17.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	¡Error! Marcador no definido.

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre Ejecutor:	Universidad de Talca
Nombre(s) Asociado(s):	INIA U. de Chile Pontificia Universidad Católica de Chile U. de Concepción U. Arturo Prat
Coordinador del Proyecto:	Dr. Samuel Ortega Farías Dr. Luis Morales Salinas (Coordinador Alterno)
Regiones de ejecución:	Desde la Región de Coquimbo a la del Bío-Bío.
Fecha de inicio iniciativa:	14 de diciembre de 2017
Fecha término Iniciativa:	11 de agosto de 2021

2. EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO

Costo total del proyecto	
Aporte total FIA	
Aporte Contraparte	Pecuniario
	No Pecuniario
	Total

Acumulados a la Fecha	
Aportes FIA del proyecto	
1. Aportes entregados	Primer aporte
	Segundo aporte
	Tercer aporte
	Cuarto aporte
	Quinto aporte
	Sexto aporte
	Séptimo aporte
	Octavo aporte
2. Total de aportes FIA entregados (suma N°1)	
3. Total de aportes FIA gastados	
4. Saldo real disponible (N°2 – N°3) de aportes FIA	
Aportes Contraparte del proyecto	
1. Aportes Contraparte programado	Pecuniario

	No Pecuniario
2. Total de aportes Contraparte gastados	Pecuniario
	No Pecuniario
3. Saldo real disponible (Nº1 – Nº2) de aportes Contraparte	Pecuniario
	No Pecuniario

3. RESUMEN EJECUTIVO

3.1 Resumen del período no informado

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante el período comprendido entre el último informe técnico de avance y el informe final. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

- Una vez enviado el último informe de avance, participamos en la Expo Chile agrícola 2020 que es organizada por el MINAGRI, donde presentamos la plataforma web ETo al público participante a través de una charla técnica.
- También se realizaron talleres de capacitación con la versión beta de la herramienta tecnológica entre los meses de octubre y noviembre a través de un webinar.
- Por otro lado, se realizó el seminario de difusión en conjunto a INIA durante noviembre, donde nuevamente se difundió la plataforma.
- De forma paralela a las actividades antes mencionada, se solicitó a los participantes de las capacitaciones completar un encuesta con el fin de encontrar los puntos débiles de la plataforma y así mejorarlos. Para esto, se dio un plazo de 30 días, y luego se recogieron los comentarios y sugerencias que realmente podían ser implementados, y se le comunicó al proveedor para que implementara dichos cambios a la plataforma.
- Finalmente, durante el mes de mayo de 2021, se realizaron nuevamente talleres de capacitación para nuevos y antiguos usuarios de la plataforma, que a la actualidad superan los 500.
- También se finalizó la programación de la aplicación de escritorio, la cual se realizó con lenguaje Python.

3.2 Resumen del proyecto

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante todo el período de ejecución del proyecto. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

- **Año 2018**
- Recepción de información climatológica correspondiente a las redes de la Dirección General de Agua (DGA) y Red Agroclimática Nacional (RAN). La información se recibió en distintos formatos de almacenamiento, siendo el más complejo el de la RAN.

- Desarrollo del protocolo de validación de datos climáticos, utilizado para procesar la base de datos climatológica, procesándose el primer periodo climatológico (1960-1990).
- Debido a los volúmenes de información que involucra la descarga de la base de datos histórica de datos satelitales, se tomó la decisión de adelantar este proceso porque se consideró un mayor tiempo para esta tarea. Sin perjuicio de lo anterior, se descargó el 100% de las imágenes MODIS comprometidas: MOD11 (Temperatura superficial y emisividad) y MOD13 (índices de vegetación).
- Se realizaron reuniones técnicas con la Red de Pronóstico Fitosanitario del SAG, con el objetivo de utilizar su plataforma web (RPF).
- **Año 2019**
- Procesamiento digital de la información meteorológica correspondiente a las redes de la Dirección General de Agua (DGA) y Red Agroclimática Nacional (RAN). La información se recibió en distintos formatos de almacenamiento, siendo el más complejo el de la RAN, pero esta información fue procesada y transformada en planillas Excel para el fácil manejo de esta información.
- Implementación computacional del protocolo de validación de datos climáticos, utilizado para procesar la base de datos climatológica, procesándose el primer periodo climatológico (1960-1990). Se implementó un código computacional con base en la librería Climatol de R, para identificar y eliminar datos anómalos y faltantes, corregir y recalcular este tipo de datos, finalmente, identificar y corregir inconsistencia en las series. Este proceso permitió contar con una base de datos validada a nivel diario.
- Desarrollo del código computacional para calcular la evapotranspiración de referencia por los métodos de Penman-Monteith (Estandarizada ASCE) y Hargreaves-Samani (FAO56).
- Procesamiento de datos históricos de imágenes satelitales MODIS, correspondientes a los productos comprometidos: MOD11 (Temperatura superficial y emisividad) y MOD13 (índices de vegetación). Consta de un proceso de cuatro etapas, filtro de calidad píxel y relleno temporal de las imágenes, generación mosaico espacial para el área de estudio (Regiones de Coquimbo al Biobío. Este proceso generó una base de datos corregida de 391 imágenes para MOD13, y 780 MOD11), y finalmente la transformación en coordenadas espaciales WGS84.
- Validación y relleno de datos climáticos del primer periodo climatológico (1960-1990), con la librería Climatol de R. Este proceso permitió contar con una base de datos validada a nivel diario.
- Generación de grids (1 km x 1 km) para variables meteorológicas de temperatura máxima, mínima y radiación solar.

- Procesamiento digital de la información meteorológica disponible del Center for Climate and Resilience Research (CR2) tanto a nivel diario como mensual.
- Generación de cartografías históricas (17 años) de índice de vegetación NDVI y temperatura superficial (LST) de día y noche.
- También se ha incorporado al trabajo del proyecto, profesionales de la “Sección de Inteligencia Fitosanitaria” del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Lo anterior, ya que este equipo ha desarrollado una herramienta (Red de pronóstico fitosanitario) que es capaz de recolectar la información de todas las estaciones de la Red Agroclimática Nacional, un insumo muy importante para el desarrollo y funcionamiento de la plataforma web a desarrollar por este proyecto. El trabajo con SAG ha sido formalizado a través de la tramitación de un convenio marco y uno específico con la Universidad de Talca (20-08-2019).
- Finalización del proceso de validación de datos climáticos del primer periodo climatológico (1960-1990), con la librería Climatol de R. Este proceso permitió contar con una base de datos validada a nivel diario.
- Inicio del trabajo formal de CPRSIG Ltda. para la generación de la plataforma web
- **Año 2020**
- Socio estratégico (SAG) liberó la plataforma Red de protección fitosanitaria (RPF) a servidor de producción, por lo tanto también liberó la plataforma de ETo.
- Se deja disponible la versión beta de la plataforma (www.eto.otalca.cl).
- Proveedor CPRSIG trabaja arduamente para arreglar los detalles.
- Se realizaron actividades de difusión (talleres) durante los meses de octubre, noviembre 2020 vía zoom (19-10, 30-10, 09-11, 20-11). También se realizó Webinar para presentar la plataforma, evento que se llevó a cabo con proyecto “Plataforma Agrícola Satelital para la determinación de los requerimientos hídrico de los cultivos”. Esta actividad se realizó el día 25-11-2020, con la presencia del Director Ejecutivo de FIA.
- Se desarrolló maqueta para la aplicación de escritorio, y la encargada de su desarrollo informático inició el trabajo en el código fuente. El desarrollo de la aplicación tomó más tiempo de lo esperado, y se entregó en junio de 2021.

4. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Implementar y Transferir una Plataforma Agrícola Nacional para el monitoreo del desarrollo de los cultivos y la determinación en tiempo real de sus requerimientos hídricos, entre Coquimbo y Bío-Bío. La resolución espacial, capaz de resolver hasta 0,1 ha, y la resolución temporal de una semana permitirá a los usuarios y administradores de los recursos hídricos disponer de información oportuna para la toma de decisiones y la planificación hídrica.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)

5.1 Porcentaje de Avance

El porcentaje de avance de cada objetivo específico se calcula luego de determinar el grado de avance de los resultados asociados a éstos. El cumplimiento de un 100% de un objetivo específico se logra cuando el 100% de los resultados asociados son alcanzados.

Nº OE	Descripción del OE	% de avance al término del proyecto ¹
1	Construir una base de datos actualizable con información meteorológica histórica y de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) para la zona comprendida entre las regiones de Coquimbo y Bío-Bío.	100%
2	Consolidar y calibrar imágenes del satélite MODIS para el cálculo de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) en la zona comprendida entre las regiones de Coquimbo y Bío-Bío.	100%
3	Desarrollar y validar una metodología automatizada para estimar de manera dinámica y espacializada la Evapotranspiración de Referencia (ETo) a escala semanal en la zona comprendida entre las regiones de Coquimbo y Bío-Bío.	100%
4	Implementar un Sistema de Información Geográfica con funcionalidades web para consulta de imágenes raster semanales de Evapotranspiración de Referencia (ETo) para la zona de estudio.	100%
5	Difundir Plataforma Nacional y sus productos mediante la capacitación a profesionales y técnicos del sector público y privado a través de Talleres Regionales, Webinar y Material de apoyo.	62.5%
6	Evaluar económicamente los resultados susceptibles de ser implementados de la solución propuesta.	100%
7	Diseñar e implementar estrategia de transferencia de la Plataforma Nacional al organismo encargado de su operación futura.	0%

¹ Para obtener el porcentaje de avance de cada Objetivo específico (OE) se promedian los porcentajes de avances de los resultados esperados ligados a cada objetivo específico para obtener el porcentaje de avance de éste último.

6. RESULTADOS ESPERADOS (RE)

Para cada resultado esperado debe completar la descripción del cumplimiento y la documentación de respaldo.

6.1 Cuantificación del avance de los RE al término del proyecto

El porcentaje de cumplimiento es el porcentaje de avance del resultado en relación con la línea base y la meta planteada. Se determina en función de los valores obtenidos en las mediciones realizadas para cada indicador de resultado.

El porcentaje de avance de un resultado no se define según el grado de avance que han tenido las actividades asociadas éste. Acorde a esta lógica, se puede realizar por completo una actividad sin lograr el resultado esperado que fue especificado en el Plan Operativo. En otros casos se puede estar en la mitad de la actividad y ya haber logrado el 100% del resultado esperado.

N° OE	N° RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
1	1	Datos meteorológicos recopilados y validados del territorio bajo estudio	Protocolos de registro, aceptación EMAS y de integración a Plataforma Nacional Consolidación de datos de EMAS, según protocolo		0%	Protocolo 100% consensuado	Abril 2018	Abril 2018	100%
					0%	Base de datos con Estaciones meteorológicas procesadas \geq 50% (N° estaciones procesadas/N° estaciones que cumplen protocolo)	Julio 2018	Julio 2018	100%
					0%	Base de datos con Estaciones meteorológicas procesadas \geq 100% (N° estaciones procesadas/N° estaciones que cumplen protocolo)	Diciembre 2018	Diciembre 2018	100%
					0%	Validación modelos y series de tiempo.	Diciembre 2019	Diciembre 2019	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Este resultado esperado contribuye al desarrollo de una base de datos climáticos espacialmente distribuidos (georreferenciados). Su utilidad corresponde a que es la base para la generación de cartografía digital histórica de las principales variables tales como temperatura máxima, mínima y radiación solar, que son utilizadas para calcular la evapotranspiración de referencia a través del modelo Hargreaves-Samani.									
Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)									
Anexo 1. Información final sobre homogenización y Rellenado de las series climatológicas. Anexo 2. Grid (1 km x 1 km) para variables meteorológicas de temperatura máxima, mínima y radiación solar									

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
1	2	Datos de evapotranspiración de referencia validados para el territorio bajo estudio	Estimación de ETo Diaria		0%	>= 35% de las estaciones e imágenes MODIS validadas	Julio 2018	Julio 2018	100%
					0%	>= 60% de las estaciones e imágenes MODIS validadas.	Diciembre 2018	Diciembre 2018	100%
					0%	100% de las estaciones e imágenes MODIS validadas.	Enero 2019	Enero 2019	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Para desarrollar una estimación dinámica de la evapotranspiración de referencia, es necesario conocer su comportamiento en tiempo y espacio. Para ello, se estimó puntualmente esta variable, donde existían datos validados de acuerdo a RE previo.									
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)									
Anexo 3. Cartografía digital histórica del periodo 1985-2015 de la evapotranspiración de referencia.									

N° OE	N° RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
2	3	Datos satelitales MODIS recopilados del para el territorio bajo estudio	Protocolos de levantamiento, registro e integración a Plataforma Nacional		0%	Protocolo 100% validado.	Abril 2018	Abril 2018	100%
			Construcción de base de datos		0%	>= 35% de los productos del periodo definido. Productos MODIS MOD09GA, MOD09A1, MOD11A1, MOD13A2 y MOD13Q1. Además MOD09	Junio 2018	Junio 2018	100%
					0%	>= 60%	Octubre 2018	Octubre 2018	100%
					0%	100% (Número imágenes descargadas/Número imágenes en el período para el territorio).	Enero 2019	Enero 2019	100%
			Algoritmo para la descarga de imágenes		0%	1 algoritmo de prueba en funcionamiento, con reporte de incidencias.	Diciembre 2019	Diciembre 2019	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
<p>Para la estimación dinámica, se correlacionó la temperatura del aire (variable discontinua en el espacio) con la temperatura de superficie y el índice espectral NDVI (variables continuas en tiempo y espacio). Para ello, se descargó la serie de tiempo completa de los productos del satélite MODIS de la NASA tales como MOD09GA-MOD09A1 (reflectancia espectral de la superficie con resolución de 500 m), MOD11A1 (Temperatura de superficie diaria con 1 km de resolución espacial), MOD13A2 (índice espectral NDVI cada 16 días con 1 km de resolución espectral), MOD13Q1 (índice espectral NDVI cada 16 días con 250 m de resolución espectral).</p>									
Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)									
Anexo 4. Cartografía digital histórica del periodo 2001-2018 de los productos MODIS MOD11A2, MOD13A2 y MOD13Q1									

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
2	4	Datos satelitales MODIS validados de Coquimbo a Bío-Bío	Base de datos construida según protocolo		0%	100% (Número imágenes procesadas/Número imágenes descargadas).	Diciembre 2018	Diciembre 2018	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Una vez descargadas las imágenes, fueron procesadas en R y Python, donde se realizaron mosaicos, calibraciones y cálculos de un año histórico, considerando 17 años de información disponible.									
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)									
Anexo 4. Cartografía digital histórica del periodo 2001-2018 de los productos MODIS MOD11A2, MOD13A2 y MOD13Q1									

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
3	5	Modelo numérico de estimación de la ETo de Coquimbo a Bío-Bío	Prueba final de modelos		0%	50 % en base a información levantada.	Enero 2019	Enero 2019	100%
						100 % pruebas y objetivo, en base a información levantada	Marzo 2019	Marzo 2019	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Con la información histórica de las estaciones Meteorológicas e imágenes satelitales, se correlacionó con los valores de las temperaturas del aire con la temperatura de superficie. Con dichos modelos, se logró estimar la evapotranspiración de referencia a través del modelo Hargreaves-Samani, que solo requiere información de las temperaturas extremas del día. Dicho modelo contiene 2 coeficientes que se calibraron empíricamente, para considerar las variaciones inherentes a nuestras condiciones.									
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)									
Anexo 5. Cartografía digital histórica de los coeficientes utilizados en la ecuación de Hargreaves-Samani.									

N° OE	N° RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
4	6	Sistema automático de cálculo en web de la ETo de Coquimbo a Bio-Bio.	Licitación de plataforma		0%	Licitación 100% realizada	Septiembre 2018	Septiembre 2018	100%
			Versión Beta o integración de módulo a otras plataformas		0%	1 Versión Beta (funcionamiento de requerimientos clave)	Noviembre 2019	Septiembre 2020	100%
			Versión final integrada a Plataforma Nacional		0%	1 Versión final de aplicación	Enero 2020	Junio 2021	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
<p>Se desarrolló programa que automatiza todo el proceso para calcular evapotranspiración de referencia. Es decir, descarga las imágenes del satélite MODIS (MOD11A1), las procesa y las correlaciona todos los días con los valores de temperatura máxima y mínima entregadas por las estaciones de la Red Agroclimática Nacional (RAN). En caso que la NASA se demore en liberar la información, el sistema utiliza cartografía histórica junto a los datos meteorológicos del día. Una vez que el programa detecta la liberación de las imágenes, calcula la evapotranspiración de referencia con el dato actual.</p> <p>El programa quedó funcionando en servidor de la Red de Pronóstico Fitosanitario del SAG, ya que ellos cuentan con módulo que se conecta a servidores del MINAGRI y extrae, revisa y rellena la información meteorológica de la RAN.</p> <p>Una vez que hace los cálculos, se envía la información al servidor en la Universidad de Talca.</p>									
Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)									
Anexo 6. Aplicación para el cálculo de la ETo utilizando imágenes de la NASA e información de las estaciones meteorológicas de la RAN. También van los códigos fuentes y manuales.									

N° OE	N° RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
5	7	Capacitación a profesionales, técnicos y/o estudiantes, pertinentes, del sector público y privado. (Realización de talleres)	Número de participantes capacitados		0%	>=90 participantes	Abril 2020	Junio 2021	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Actividades de difusión y capacitación que permitieron guiar en el aprendizaje del uso de la herramienta tecnológica. Los talleres se realizaron el 19-10-2020, 30-10-2020, 09-11-2020, y 20-11-2020, con una duración de 1 hora vía zoom. Y durante 2021 se realizaron talleres de capacitación los días 14, 21 y 28 de junio. Actualmente, se encuentra video de última capacitación disponible en YouTube en caso que algún usuario necesite revisar alguno de los pasos (https://youtu.be/4uUHQM6Xpk)									
Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)									
Anexo 7. Comprobantes de participación en talleres de capacitación									

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
5	8	Capacitación a profesionales, técnicos y/o estudiantes, pertinentes, del sector público y privado. (Realización de seminarios)	Número de participantes capacitados		0%	>=70 Participantes	Seminario I: Octubre 2018		100%
			Número de participaciones en congresos		0%	=4	Seminario II: Noviembre 2019 Mes 21-23 (septiembre-noviembre 2019)		25%

Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.

En esta sección se presentan 2 seminarios en los cuales se participó/realizó, uno corresponde a la participación en la Expo Chile Agrícola 2020, evento realizado por el MINAGRI, en donde se realizó una charla por parte del Dr. Samuel Ortega, Dr. Luís Morales y Dr. Camilo Riveros. Por otro lado, el proyecto organizó un seminario junto a INIA para mostrar los resultados de los proyectos. Este evento se realizó el 25-11-2020, donde se tuvo una participación de casi 100 personas.

Por otro lado, en el caso de la participación en congresos, ésta se vio mermada por la ocurrencia del retraso de la plataforma, y por lo tanto la aparición de la pandemia, por lo que solo se concretó 1 sola participación en el Congreso Agronómico de 2018.

Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)

Anexo 8 Comprobantes de realización de seminarios y participación en congresos.

N° OE	N° RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
6	9	Evaluación económica – social	Reporte de evaluación de etapa perfil		0%	Un reporte hasta Etapa Perfil para ser consensado entre las partes interesadas	Enero 2020	Enero 2020	100%
			Reporte de evaluación económica final		0%	Reporte final 100%	Junio 2020	Junio 2021	100%
Descripción y justificación del cumplimiento de los resultados del proyecto.									
Se elaboró el estudio de los costos asociados a la sustentabilidad de la plataforma una vez finalizadas las actividades del proyecto. También se consideró el análisis social relacionado con la existencia de la plataforma y su potencial aporte al aumento del uso eficiente del agua en el área de ejecución.									
Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)									
Anexo 9. evaluación económica de la sustentabilidad económica respecto de la mantención operativa de la plataforma.									

N° OE	N° RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)						% de cumplimiento
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Línea base	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta programada	Fecha alcance meta real	
7	10	Diseñar e implementar estrategia de transferencia de la Plataforma Nacional	Convenios de colaboración		0%	>= 2 reuniones con equipo técnico de CNR y >= 1 reunión con secretario ejecutivo	Abril 2020		0%
			Convenios y traspaso		0%	>= 2 con oficinas de instituciones relacionadas	Junio 2020		0%
			(-Capacitación al personal encargado de su operación. - Protocolo de operación resolución de problemas. - Asesoría técnica en el primer año de operación.)		0%	>=1 convenio de traspaso de Plataforma Nacional	Junio 2020		0%

Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.

Con este RE se buscaba implementar la plataforma en dependencias del MINAGRI, con el fin de sacar provecho a todo lo realizado a través del proyecto. Sin embargo, debido a descoordinaciones y poca voluntad política, no se llegó a puerto.

Documentación de respaldo (indique en que n° de anexo se encuentra)

No se llevó a cabo la realización de este resultado esperado, ya que no se estableció la comunicación esperada con la CNR.

6.2 Análisis de brecha.

Cuando corresponda, justificar las discrepancias entre los resultados programados y los obtenidos.

El no cumplimiento de resultados, como la participación en congresos científicos, tuvo como origen principalmente el hecho de que se retrasó el desarrollo de la plataforma. Esto, debido a que nuestro socio estratégico (SAG), presentó problemas de cyber seguridad y perdió su plataforma. Por lo tanto, el proveedor que fue contratado para desarrollar nuestra plataforma tuvo que gastar tiempo en reponer la plataforma de SAG. Esto conllevó a que retrasáramos la puesta en marcha de la herramienta tecnológica, y así aplazar la ejecución y toparnos con la pandemia.

Por otro lado, CNR no manifestó interés por la plataforma, la cual no fue transferida a esta institución como se planteó originalmente. Es lamentable, que a pesar de los múltiples intentos, no se pudo alinear a las instituciones involucrada en el proyecto (FIA, INIA, y SAG) con la CNR.

Finalmente, el haber escogido a SAG como socio estratégico para obtener los datos de las estaciones meteorológicas de la RAN fue una buena opción. Sin embargo, la plataforma tiene una gran dependencia de las decisiones administrativas del SAG con respecto a la transferencia de los datos meteorológica a nuestra plataforma. Desde nuestro punto de vista esto es una limitante importante para el futuro de la plataforma.

7. CAMBIOS Y/O PROBLEMAS DEL PROYECTO

Especificar los cambios y/o problemas enfrentados durante el desarrollo del proyecto. Se debe considerar aspectos como: conformación del equipo técnico, problemas metodológicos, adaptaciones y/o modificaciones de actividades, cambios de resultados, gestión y administrativos.

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
Aumento de la base de datos de imágenes satelitales a descargar	Se busca mejorar el proceso de modelamiento de la evapotranspiración. Como también contar con datos para poder validar esta variable.	Descarga de productos adicionales de MODIS: MOD07, MOD09, MOD10 y MOD16
Acceso a la información climática pública	El tiempo de recopilación de la información climática demora más que el tiempo considerado inicialmente. Actualmente la información de la RAN se entregó en formato SQL, que corresponde a un formato no convencional para el manejo de datos meteorológicos.	Se logró extraer la información del archivo SQL en archivos de texto plano y se procesaron para obtener datos de las variables por estación. Estos archivos son de gran tamaño y su procesamiento solo es posible por programación computacional.
Retraso en los términos de referencia de la licitación de la compra de computador de procesamiento	La empresa norteamericana que fabrica computadores de cálculo, que se había consultado previamente, canceló su representante en Chile y no hay otra empresa de similares características en el país.	
Retraso en la adquisición del sistema de almacenamiento en nube web del proyecto	No existía stock en Chile para el producto originalmente considerado.	Adquisición de un producto alternativo mediante el sistema de Chile compra. Facturación y pago realizado fuera del período informado.
Baja calidad de la información climática pública	Luego de poder acceder a la información y organizarla de acuerdo a los protocolos del proyecto, se observó que existe una baja calidad de los datos, ya sea en continuidad como consistencia. Este problema incide directamente sobre el cálculo del año climatológico del período 1985-2015, sin embargo, afecta además a la estimación de la evapotranspiración de referencia.	Para subsanar el problema, se procedió a complementar dicha base de datos, con información histórica de otros estudios.

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
Retraso en publicación de licitación para creación de sistema web de ETo	Pese a tener las bases técnicas de la licitación listas en octubre de 2018, por problemas administrativos, la licitación aún no es publicada en Mercado Público. Esto conlleva a que se retrase el desarrollo de la plataforma, y por tanto, la pruebas de la misma así como también todo lo relacionado con el desarrollo de talleres de capacitación a futuros usuarios.	
Cortes de Luz en el lugar donde se encuentra la estación de trabajo	Debido a fallas eléctricas que se han generado en algunas ocasiones, se ha tenido que revisar los procesos que se estaban realizando y reanudarlos o comenzar desde cero (dependiendo del caso)	Se solicitó la compra de una unidad de respaldo para evitar potenciales problemas o fallas que se puedan generar en el equipo a partir de los cortes de luz.
Mejoramiento de información histórica con otras bases de datos ha requerido un excesivo tiempo de procesamiento	Muchos de los productos comprometidos se basan en los valores históricos de las bases de datos. Entonces, el excesivo tiempo de procesamiento ha retrasado la obtención de los productos finales.	Se recurrió al Centro de Modelamiento Matemático (Universidad de Chile), para solicitar autorización del uso del supercomputador con el que ellos cuentan. De este modo, se complementó la capacidad de cálculo del computador-servidor que se compró con los fondos del proyecto.
Lenta generación de Orden de compra de proveedor que realizará la plataforma	Pese a haber adjudicado al proveedor CPRSIG en Marzo de 2019, recién la semana de 8 de julio se generó la orden de compra. Lo anterior implicó un retraso el desarrollo de la plataforma.	

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
<p>Jefatura de la Sección de Inteligencia Fitosanitaria perteneciente al Servicio Agrícola y Ganadero no autoriza a que el módulo de visualización web de la plataforma opere desde el servidor SAG, ya que no es una tarea solicitada por el MINAGRI</p>	<p>Esto implica que el módulo de visualización debe ser ejecutado desde la Universidad de Talca, y la información será calculada en el servidor SAG y enviada diariamente a la Universidad de Talca.</p>	<p>El Coordinador del proyecto, Dr. Samuel Ortega dispuso de servidor perteneciente a CITRA adquirido con fondos de la Universidad de Talca, donde se montó el módulo correspondiente en un servidor virtual. Además, el equipo técnico trabajó junto a la Dirección de Tecnologías de la Información (DTI) de la Universidad de Talca para resolver el problema. También se compró un disco duro para poder ejecutar el módulo, y también ampliar nuestra capacidad de almacenamiento en servidor de respaldo comprado con fondos del proyecto.</p>
<p>Migración de servidores SAG a otro datacenter debido a ataque cibernético</p>	<p>Retraso en la evaluación técnica del funcionamiento de los diferentes módulos que componen la plataforma web</p>	

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
Plataforma RPF no está 100% funcional debido al ataque cibernético del 2019	Lo anterior tiene una doble implicancia: 1) Retraso en la conexión para extracción de datos climáticos de la RAN; 2) mientras SAG no tenga funcional la plataforma RPF, no visará ningún avance de la plataforma de ETo	A solicitud de FIA, se incluyó como resultado entregable una aplicación de escritorio para entorno Windows. Este programa tiene la capacidad de entregar información de la ETo histórica de puntos geográficos ingresados por el usuario. La información puede ser descargada a planilla de cálculo.
Retraso en liberación de plataforma y pandemia COVID-19	Retraso en la realización de capacitaciones e imposibilidad de realizar talleres en forma presencial	Ante lo cual se realizaron talleres web a través de la plataforma zoom los siguientes días: <ul style="list-style-type: none"> • 19-10-2020, 30-10-2020, 09-11-2020, y 20-11-2020 • 14-06-2021, 21-06-2021 y 28-06-2021

8. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO

8.1 Actividades programadas en el plan operativo y realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

1.1.1	Definir protocolo para registro en Base de Datos y extensión geográfica para la recopilación de información.
1.1.2	Definir protocolo para integrar a Plataforma Nacional.
1.1.3	Recopilación de data desde instituciones públicas y desarrollar catastro de EMAS (n° años funcionamiento, variables, etc.)
1.1.4	Aumento de información: Recopilación de data entre instituciones socias.
1.1.5	Aumento de información: revisión de estudios climatología de Chile y Atlas Agroclimático.
1.1.6	Definir Criterios para aceptación de datos EMA
1.1.7	Ajuste y validación de modelos estadísticos.
1.1.8	Validación y homogenización de series de tiempo.
1.1.9	Automatización de tareas de recopilación, validación, etc.
1.2.1	Consolidación e integración de bases de datos.
1.2.2	Calibración de coeficientes para estaciones con limitación de registros.
1.2.2	Estimación de ETo diaria -ecuación de Penman-Monteith o Hargreaves-Samani.
2.3.1	Definir el protocolo de levantamiento y registro de datos e Integración con Plataforma Nacional.
2.3.2	Recopilación de información de los satélites MODIS, según productos.
2.3.3	Desarrollar proceso de estimación dinámica.
2.3.4	Desarrollar o mejorar algoritmo de descarga de imágenes satelitales.
2.4.1	Validación de estimaciones con información chilena.
3.5.1	Probar algoritmo basado en regresiones espaciales implícitas.
3.5.2	Generación de modelos para estimar la inestabilidad paramétrica continua.
4.6.1	Desarrollar requerimientos y modelos relacionales.
4.6.2	Contratación de servicio externo (Licitación).
4.6.3	Desarrollo de Versión alfa y beta.
4.6.2	Generación de versión Release candidate y pruebas de usuario-funcionamiento.
4.6.1	Generación de versión final.
5.7.1	Generación de material de apoyo.
5.7.2	Desarrollo de taller(es) regional y/o pruebas de usabilidad.
5.7.3	Desarrollo de webinar.
5.7.4	Implementación de actividad de seguimiento.
5.8.1	Realización de 2 seminarios.
5.8.2	Grabación de 3 videos promocionales o de divulgación
5.8.3	Publicación de 2 notas en prensa escrita.
5.8.3	4 participaciones en congresos (agronómico, entre otros)
6.9.1	Etapa Idea: levantamiento de requerimientos (financieros, técnicos, humanos) y disposiciones de la CNR.
6.9.2	Etapa Perfil: cuantificación de requerimientos y determinación de formato de evaluación.

8.2 Actividades programadas y no realizadas durante el período de ejecución para la obtención de los objetivos.

6.9.3 Evaluación social e indicadores financieros.

7.10.1 Identificar requerimientos: técnicos, tecnológicos, legales, y de capacitación.

7.10.2 Establecer disposición y convenios de transferencia.

7.10.3 Realizar traspaso según requerimientos y convenios.

8.3 Analizar las brechas entre las actividades programadas y realizadas durante el período de ejecución del proyecto.

Las actividades referentes a “Diseñar e implementar estrategia de transferencia de la Plataforma Nacional” no se realizaron por dos principales motivos. El primero correspondió a que esta iniciativa fue formulada bajo una dirección en particular de la CNR. Pero una vez adjudicada la propuesta, dicha dirección se mantuvo sin un nombramiento oficial por casi un año. En dicho tiempo, el equipo de investigadores realizó diferentes reuniones para seguir trabajando con la CNR, pero solo se logró algunas instancias de acercamiento con mandos medios, y lamentablemente no se obtuvo una buena acogida.

Luego, cuando se designó a la actual autoridad máxima de la CNR, también se intentó generar una instancia de diálogo, principalmente desde INIA, pero no se obtuvo respuesta. Ante esta situación, y otras situaciones ajenas al proyecto, el grupo de investigadores se desagregó, y los esfuerzos previamente comentados se perdieron. Al ver esta nueva situación, se decidió albergar la plataforma en un servidor preexistente de la Universidad de Talca.

9. POTENCIAL IMPACTO

9.1 Resultados intermedios y finales del proyecto.

Descripción y cuantificación de los resultados obtenidos al final del proyecto, y estimación de lograr otros en el futuro, comparación con los esperados, y razones que explican las discrepancias; ventas y/o anuales (\$), nivel de empleo anual (JH), número de productores o unidades de negocio que pueden haberse replicado y generación de nuevas ventas y/o servicios; nuevos empleos generados por efecto del proyecto, nuevas capacidades o competencias científicas, técnicas y profesionales generadas.

Desde el punto de vista de resultados intermedios, se encuentra toda la información histórica que se recolectó y procesó para desarrollar una calibración dentro del área comprendida entre la Región de Coquimbo y del Bío-Bío. Esta información es altamente valiosa considerando que se desarrolló mapas históricos para el período 1985-2015, en el cual se buscó caracterizar de mejor forma las implicancias que ha tenido los inicios del cambio climático y su íntegra relación con los valores observados de las variables climáticas/meteorológicas de importancia como la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. De hecho, esa información cartográfica podría ser la base para realizar una publicación divulgativa o la generación de alguna herramienta tecnológica de consulta.

Por otro lado, en el caso de los resultados finales obtenidos, tanto la plataforma como la aplicación de escritorio tienen un gran valor. Esto, ya que a nivel nacional no existe algún otro portal que realice un cálculo automatizado utilizando información satelital y de estaciones meteorológicas. Si bien es cierto, la plataforma podría necesitar una mejora estética, en el fondo del asunto, hace el trabajo para el cual fue hecha. En el caso de la aplicación de escritorio, se presenta como una excelente instancia para aquellos usuarios que tienen problemas con la visualización web y utilización de algún software de Sistema de Información Geográfica. En este sentido, la aplicación busca ser lo más simple e intuitiva posible. Su única limitación es que se desarrolló para ser ejecutada en sistemas Windows, por lo que aquellos usuarios Mac no podrían acceder directamente a sus beneficios.

La existencia de ambos productos genera la base para que diferentes usuarios, ya sean agricultores, asesores, entre otros, tengan a disposición dos herramientas de gran nivel. Así, su aplicación les permitirá ayudar a controlar los volúmenes de agua aplicados de alguna forma u otra, ya sea utilizando la herramienta web o de escritorio.

10. CAMBIOS EN EL ENTORNO

Indique si existieron cambios en el entorno que afectaron la ejecución del proyecto en los ámbitos tecnológico, de mercado, normativo y otros, y las medidas tomadas para enfrentar cada uno de ellos.

El principal cambio en el entorno que se originó durante la ejecución del proyecto fue el cambio de dirección en la CNR. Esto impactó profundamente en la transferencia de los resultados obtenidos, ya que la institución que había sido identificada como la interesada en recibir la herramienta tecnológica cambió de intereses. Pese a que se realizaron diversas gestiones para coordinar una entrega efectiva de resultados, no se pudo llegar a puerto. Como ya ha sido mencionado, la coordinación de esta iniciativa planteó la posibilidad de utilizar un servidor preexistente que es propiedad de CITRA. Dado lo anterior, la plataforma se encuentra actualmente activa en el web www.eto.otalca.cl

11. DIFUSIÓN

Describa las actividades de difusión realizadas durante la ejecución del proyecto. Considere como anexos el material de difusión preparado y/o distribuido, las charlas, presentaciones y otras actividades similares.

	Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes	Documentación Generada
1	15-11-2018	Universidad de Magallanes	Congreso Agronómico	100	Presentación Dr. Luis Morales
2	23-11-2018	Universidad de Talca	Seminario difusión	37	Video difusión
3	29-09-2020	On-line	Expo Chile Agrícola	50	Video y archivo de la presentación
4	18-10-2020	On-line	Taller de capacitación	20	
5	30-10-2020	On-line	Taller de capacitación	10	Video de la capacitación
6	09-11-2020	On-line	Taller de capacitación	15	
7	25-11-2020	On-line	Seminario difusión	80	Archivo de la presentación
8	14-06-2021	On-line	Taller de capacitación	14	
9	21-06-2021	On-line	Taller de capacitación	29	
10	05-07-2021	On-line	Taller de capacitación	12	Video de la capacitación
			Total participantes	367	

19-10-2020, 30-10-2020, 09-11-2020, y 20-11-2020
 14, 21 y 28 de junio

12. PRODUCTORES PARTICIPANTES

Complete los siguientes cuadros con la información de los productores participantes del proyecto.

12.1 Antecedentes globales de participación de productores

Debe indicar el número de productores para cada Región de ejecución del proyecto.

Región	Tipo productor	N° de mujeres	N° de hombres	Etnia (Si corresponde, indicar el N° de productores por etnia)	Totales
	Productores pequeños				
	Productores medianos-grandes				
	Productores pequeños				
	Productores medianos-grandes				
	Totales				

12.2 Antecedentes específicos de participación de productores

Nombre	Ubicación Predio			Superficie Há.	Fecha ingreso al proyecto
	Región	Comuna	Dirección Postal		

13. CONSIDERACIONES GENERALES

13.1 ¿Considera que los resultados obtenidos permitieron alcanzar el objetivo general del proyecto?

Si, el proyecto en su estructura inicial basada en objetivos específicos secuenciales permitió a cabalidad alcanzar el objetivo general del proyecto. En efecto, el objetivo general era el implementar una Plataforma Agrícola Nacional en línea, que permitiera estimar de forma precisa la demanda de riego en diferentes zonas agrícolas distribuidas desde la región Coquimbo hasta la región del Bío-Bío. Adicionalmente, la plataforma permitiría el monitoreo del desarrollo de los cultivos y estudios del efecto del cambio climático en la agricultura. Esta plataforma fue desarrollada completamente e implementada en el servidor web www.eto.otalca.cl; y de forma gratuita, puede ser usada por agricultores, asesores y tomadores de decisiones en relación al riego eficiente de cada uno de los huertos implementados.

13.2 ¿Cómo fue el funcionamiento del equipo técnico del proyecto y la relación con los asociados, si los hubiere?

El funcionamiento del grupo y los asesores fue coordinado mediante un sistema informático llamado TRELLO (Project management software) que permitió un avance controlado y rendiciones periódicas de resultados de acuerdo con la carta Gantt diseñada originalmente.

13.3 A su juicio, ¿Cuál fue la innovación más importante alcanzada por el proyecto?

El desarrollo e implementación de una herramienta que permite el acceso a información valiosa de la demanda atmosférica teórica, o evapotranspiración de referencia, a nivel diario con el objetivo de poder realizar un uso eficiente del agua de riego. Esta plataforma corresponde a una sinergia entre la información proveniente de redes de estaciones meteorológicas e información satelital para entregar información relevante para planificar el riego a nivel intrapredial. La información generada por esta plataforma está disponible para instituciones públicas y privadas relacionadas con agricultura y riego (CNR, INDAP, DGA) así como también entidades asociadas a investigación agrícola y/o monitoreo de la vegetación natural (CONAF, INFOR, universidades, institutos investigación, etc.).

13.4 Mencione otros aspectos que considere relevante informar, (si los hubiere).

El sistema informático web desarrollado para generar un mapa dinámico a escala diaria de la Evapotranspiración de Referencia para determinar las necesidades de riego en Chile, es altamente dependiente de información externa, lo que lo hace vulnerable frente a problemas en la información base. En efecto, para su funcionamiento necesita recopilar información externa de la red nacional de estaciones agrometeorológicas y meteorológicas e información satelital pública del sensor MODIS a cargo de NASA en USA. Se han experimentado problemas entre el servidor de NASA y el servidor del SAG, donde se baja la información y se realizan los cálculos numéricos para obtener los productos de temperatura máxima, mínima, media, radiación solar y evapotranspiración a escala diaria. Por otra parte, la información satelital posee un sistema de control de calidad a nivel de mucho detalle, donde se establecen aquellas secciones de la imagen que poseen errores significativos, los cuales se propagan hasta el cálculo final de la ETo. Actualmente se posee un nivel de filtrado para eliminar estos errores, sin embargo, aún no es posible realizar una homogenización del producto final para reemplazar estos errores, los cuales no fueron considerados originalmente pues se desconocían a nivel diario.

14. CONCLUSIONES

Realice un análisis global de las principales conclusiones obtenidas luego de la ejecución del proyecto.

En el proyecto se abordó el problema de la estimación de evapotranspiración de referencia a escala regional, basado en datos satelitales, información de estaciones meteorológicas y la aplicación de algoritmos semi-empíricos que mejoran la capacidad de cálculo y reducen los errores a escala diaria.

El algoritmo de Hargreaves-Samani (HS) resultó ser una efectiva herramienta para estimar la evapotranspiración de referencia a escala regional, debido a que este algoritmo requiere solamente datos de temperatura (Máxima, mínima y media) y radiación solar a nivel diario, el cual fue el intervalo de tiempo propuesto en el estudio. Sin embargo, el modelo de HS es muy dependiente de los coeficientes empíricos, los cuales dependen de la escala diaria. La variabilidad espacial y temporal afectó los valores de K_{HS} mostrando dependencia de la ubicación en el área de estudio. Para resolver el problema anterior, la calibración espacial de la ecuación de HS proporcionó una forma sencilla de estimar la E_{To} , teniendo en cuenta la influencia de la fisiografía en la demanda evaporativa local, lo cual permite obtener un mapa para toda el área de estudio a escala diaria.

15. RECOMENDACIONES

Señale si tiene sugerencias en relación a lo trabajado durante el proyecto (considere aspectos técnicos, financieros, administrativos u otro).

- Por su alta dependencia de información meteorológica y satelital, es necesario mejorar los algoritmos para suplir todas las fallas que se presentan en los sistemas informáticos. La actualización y mejora periódica son necesarias para mantener un correcto cálculo y mejora del mapa de E_{To} a nivel regional.
- Expandir el área de influencia de la plataforma a todos Chile
- Independizar la colección de datos desde el SAG. Esto implica desarrollar un sistema informático que permita coleccionar la información meteorológica.
- Alinear a las instituciones publicas (INIA, CNR y SAG) para potenciar la plataforma a nivel nacional.
- Es fundamental financiar la operatividad de la plataforma en la agricultura. Esto es requisito básico para mantener la sustentabilidad de la plataforma en el futuro.

16. ANEXOS

Anexo 1. Información final sobre homogenización y Rellenado de las series climatológicas.

Anexo 2. Grid (1 km x 1 km) para variables meteorológicas de temperatura máxima, mínima y radiación solar.

Anexo 3. Cartografía digital histórica del periodo 1985-2015 de la evapotranspiración de referencia.

Anexo 4. Cartografía digital histórica del periodo 2001-2018 de los productos MODIS MOD11A2, MOD13A2 y MOD13Q1.

Anexo 5. Cartografía digital histórica de los coeficientes utilizados en la ecuación de Hargreaves-Samani.

Anexo 6. Aplicación para el cálculo de la ETo utilizando imágenes de la NASA e información de las estaciones meteorológicas de la RAN. También van los códigos fuentes y manuales.

Anexo 7. Comprobantes de participación en talleres de capacitación.

Anexo 8. Comprobantes de realización de seminarios y participación en congresos.

Anexo 9. Evaluación económica de la sustentabilidad económica respecto de la mantención operativa de la plataforma.

Anexo 10. Aplicación de escritorio para consulta de ETo.

Anexo 11. Informe evaluación de resultados Plataforma ETo

ANEXO 1

Homogenización y Rellenado de las series climatológicas

1.- Homogenización de los datos y Primer Rellenado

Las bases de datos climatológicas se dividen en dos periodos:

- 1960-1990 aportado por las estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA). Las variables a nivel diario presentes para este periodo son Temperatura Máximo (TX), Temperatura Mínima (TN), Temperatura Media (TM) y Precipitación (PP)
- 2013-2018 aportado por las estaciones de la Red Agroclimática Nacional (RAN). Las variables a nivel diario presentes en este periodo son Temperatura Máximo (TX), Temperatura Mínima (TN), Temperatura Media (TM) y Precipitación (PP), Humedad Relativa (HR), Radiación Solar (RS), Velocidad del Viento (VV).

A continuación, se muestra la disponibilidad de datos para las estaciones de la DGA en el periodo 1960 a 1990.

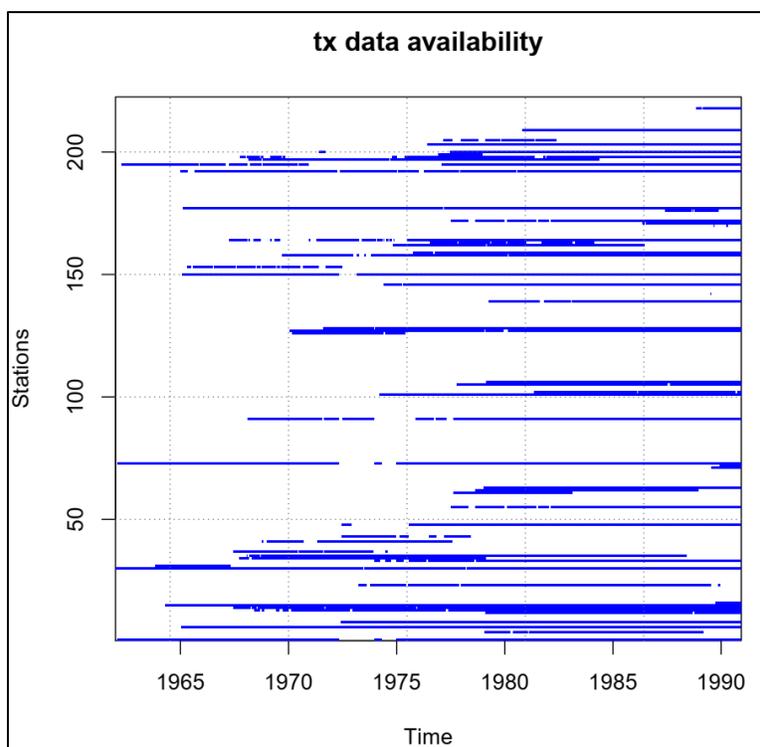


Figura 1.1. Disponibilidad de registro de Temperatura Máxima para estaciones del proyecto durante el periodo 1960-1990

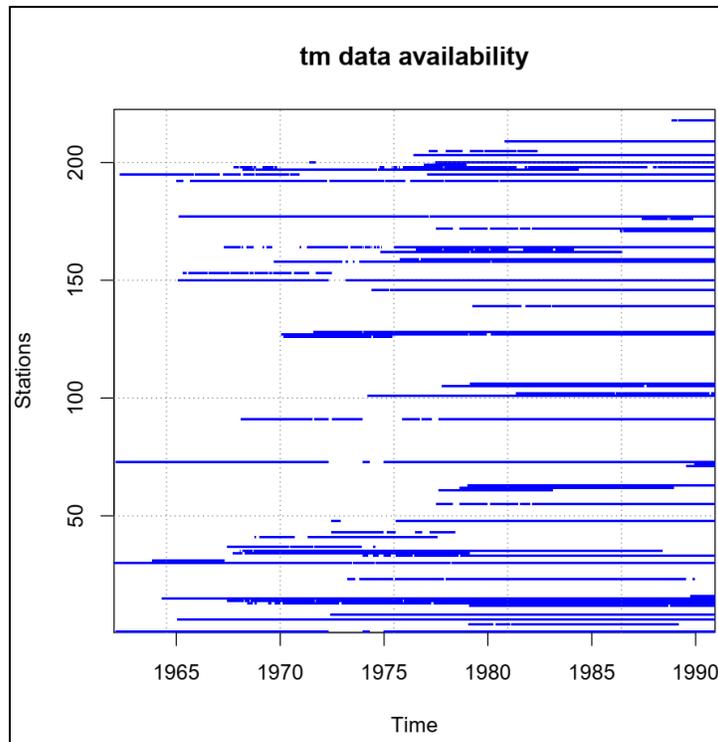


Figura 1.2. Disponibilidad de registro de Temperatura Media para estaciones del proyecto durante el periodo 1960-1990

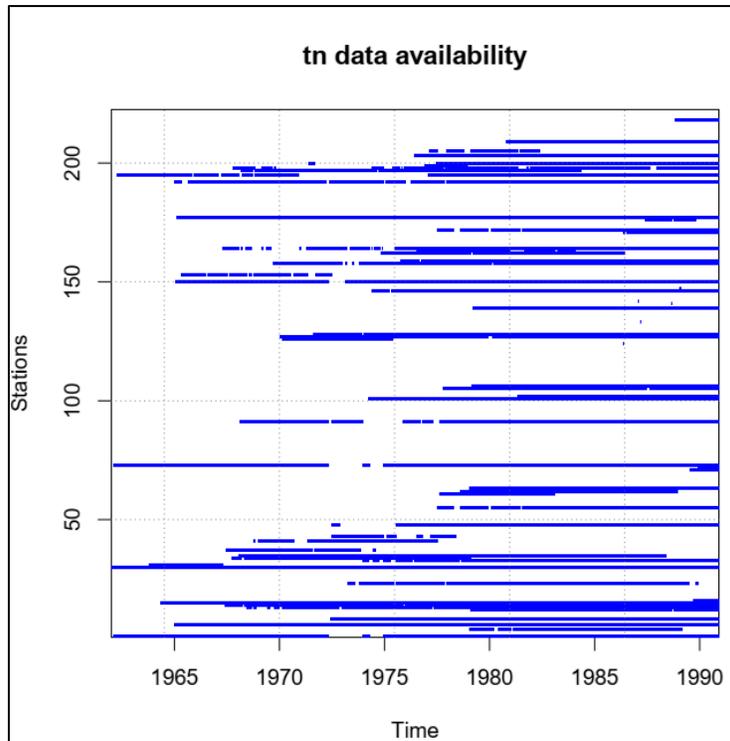


Figura 1.3. Disponibilidad de registro de Temperatura Mınima para estaciones del proyecto durante el periodo 1960-1990

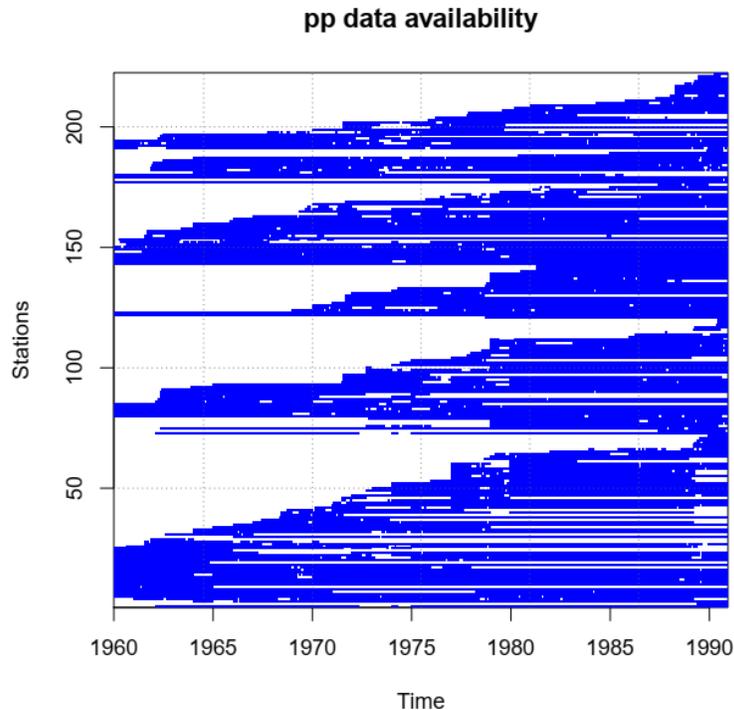


Figura 1.4. Disponibilidad de registro de Precipitación para estaciones del proyecto durante el periodo 1960-1990

Climatol rellena los datos de las estaciones mediante una homogenización de los datos (variable por variable), para lo cual se deben seguir los siguientes pasos.

1. Se debe crear un archivo que contenga todas las estaciones el cual será ordenado y guardado como archivo .dat en base a la estructura que requiere la librería
2. Se debe crear un archivo de las estaciones que debe contener la información respecto a la posición geográfica en coordenadas geográficas, la altura y el nombre de la estación.
3. Se debe procesar la serie histórica climática determinando los valores medios mensuales por medio de la librería, esto permite determinar los quiebres de los valores dentro de la serie y que luego serán utilizados en la homogenización de la serie diaria histórica.
4. Se procede a homogenizar los datos teniendo la información anterior.

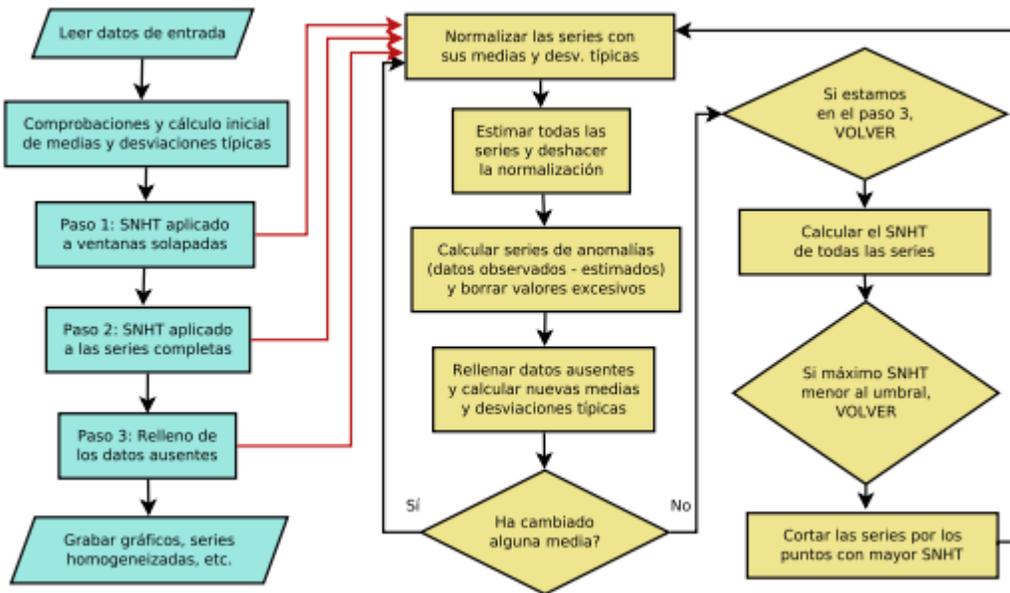


Figura 1.5. Diagrama de flujo del funcionamiento de *ClimatoI*, mostrando sus procesos iterativos (Guijarro, 2018).

Los resultados de *ClimatoI* se explicarán considerando solo la Temperatura Máxima para la Estación DGA.R04. E008.

1.1.- Anomalías después de recalcular de los datos perdidos

ClimatoI busca comprobar la homogeneidad de la serie mediante la aplicación del *Standard Normal Homogeneity Test* o SNHT (Alexandersson, 1986). Cuando los máximos valores SNHT de las series son mayores que un umbral predefinido, la serie se divide por el punto de máximo SNHT, pasando todos los datos antes del cambio a una nueva serie que se añade a las demás con las mismas coordenadas, pero añadiendo un sufijo numérico al código y al nombre de la estación. Este procedimiento se realiza de forma iterativa, partiendo solo las series con mayores valores SNHT en cada ciclo, hasta que no se encuentren más inhomogeneidades. Además, como SNHT es una prueba originalmente ideada para encontrar un solo punto de ruptura en una serie, la existencia de dos o más saltos en la media de un tamaño similar podría enmascarar sus resultados. Para minimizar este problema, en una primera pasada se aplica SNHT sobre ventanas temporales solapadas, y después en una segunda pasada se aplica SNHT a las series completas, que es cuando la prueba tiene más poder de detección. Finalmente, una tercera pasada se dedica a rellenar todos los datos ausentes en todas las series y subseries homogéneas con el mismo procedimiento de estimación de datos explicado anteriormente. Por lo tanto, aunque la metodología subyacente del programa es muy simple, su operación se complica a través de una serie de procesos iterativos anidados, como se muestra en el diagrama de flujo mostrado en la figura 5. *ClimatoI* adopta por defecto el valor SNHT = 25, apropiado

para valores mensuales de temperatura, aunque un poco conservador, tratando de no detectar falsos saltos en la media a costa de dejar pasar los de menor importancia.

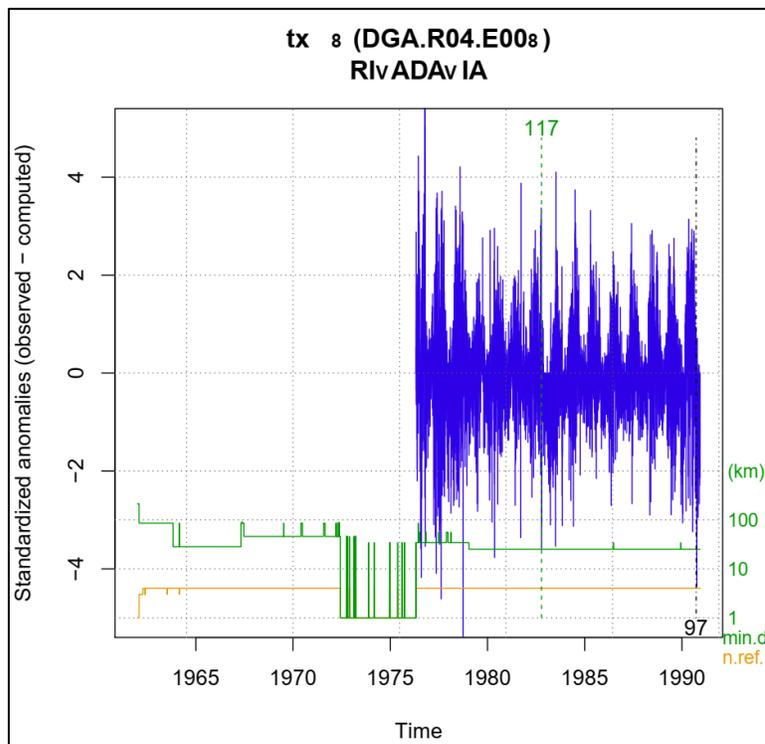


Figura 1.6. Anomalías Estandarizadas para la Temperatura Máxima de la Estación DGA.R04.E008.

De la Figura 6 se extrae que la serie no es homogénea, ya que presenta un SNHT igual a 117 (superior el valor por defecto) Dos líneas adicionales en la parte inferior informan sobre la distancia mínima de los datos vecinos (en verde) y el número de datos de referencia utilizados (en naranja), ambos utilizando la escala logarítmica del eje derecho

1.2.- Series Ajustadas y aplicación de Correcciones

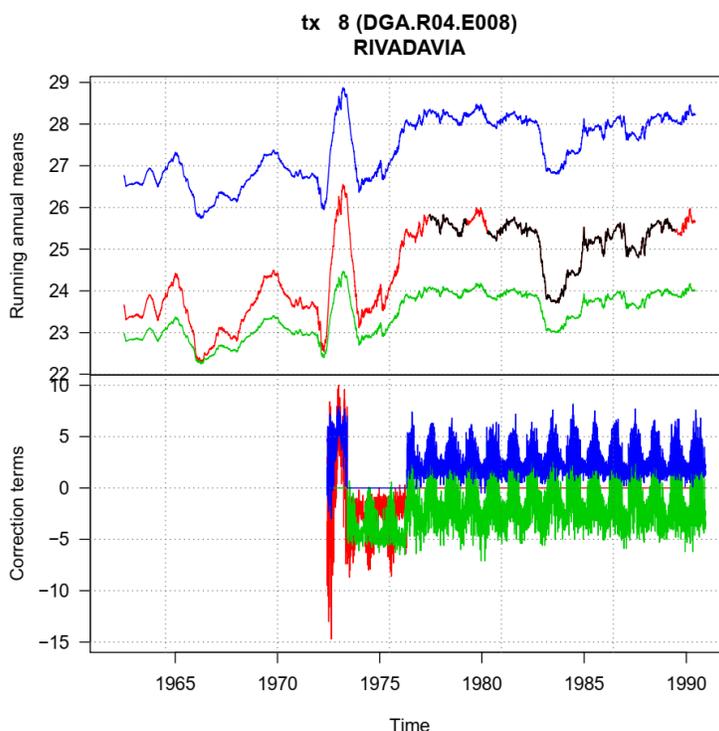


Figura 1.7. Series ajustadas y correcciones para la Temperatura Máxima de la Estación DGA.R04.E008.

La parte superior de la figura 7 traza las medias anuales móviles de las series reconstruidas, con los datos originales en negro y los rellenados en diferentes colores para cada serie resultante. (Téngase en cuenta que en presencia de datos faltantes, las medias móviles de los datos originales que no se puedan calcular no aparecerán en el gráfico). La parte inferior muestra las correcciones aplicadas a las series, trazadas en diferentes colores. Como se puede ver, las correcciones presentan variaciones estacionales (se pueden lograr correcciones constantes en este caso si no se usan las desviaciones típicas en la normalización estableciendo $std=1$), y las puntas se deben a rechazos de valores atípicos.

2.- Validación del proceso de *Climatol*

Para revisar la calidad de la homogenización y rellenado de la serie histórica que realiza *Climatol* se procedió a eliminar 1000 datos de la serie y reemplazarlos con datos no disponibles o NA, para luego procesarlos al igual que el punto 1 de este informe, mediante el software R (Anexo 1).

Los resultados de la validación se presentan a continuación:

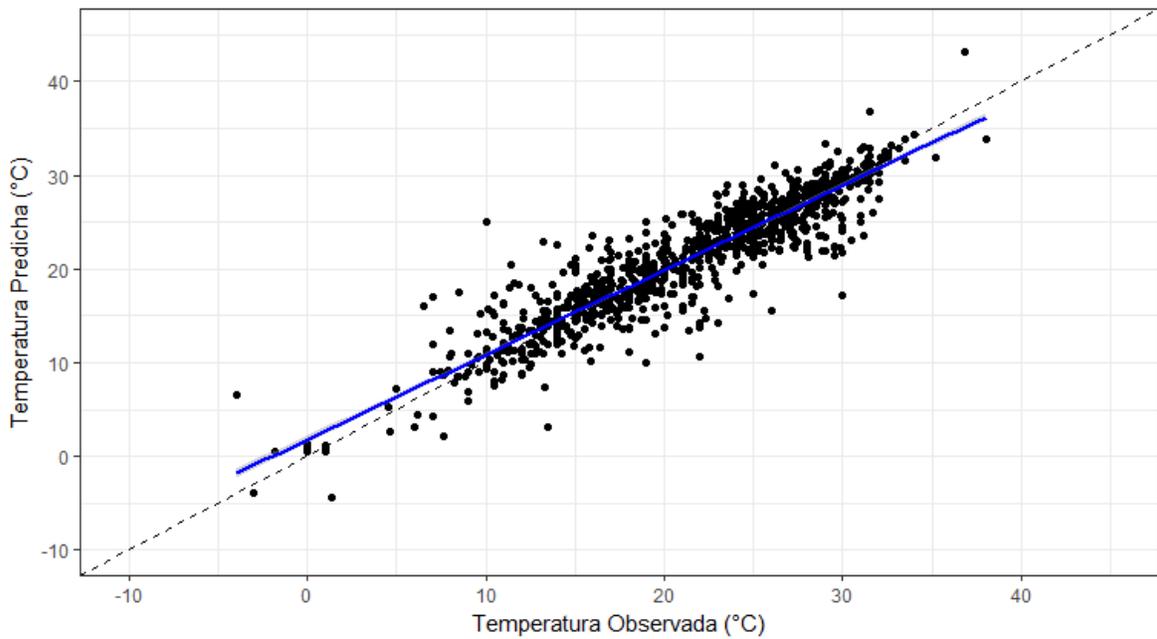


Figura 1.8. Relación de los valores Observados y Predichos de la variable TX. La línea punteada corresponde a la línea 1:1, mientras que la línea azul es la regresión lineal de los datos.

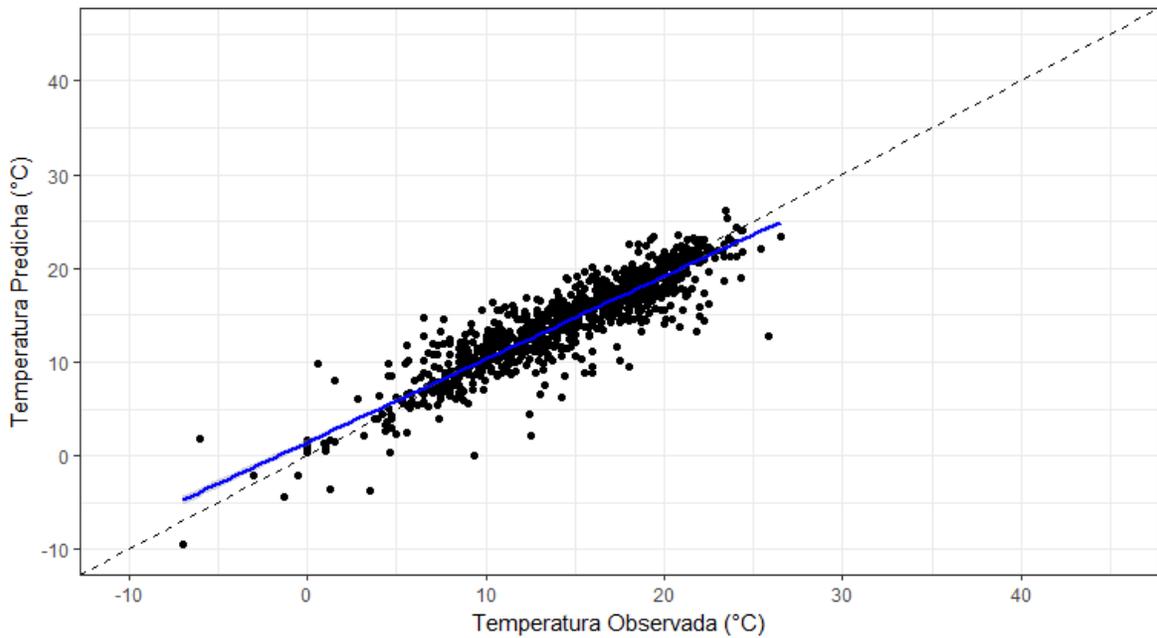


Figura 1.9. Relación de los valores Observados y Predichos de la variable TM. La línea punteada corresponde a la línea 1:1, mientras que la línea azul es la regresión lineal de los datos.

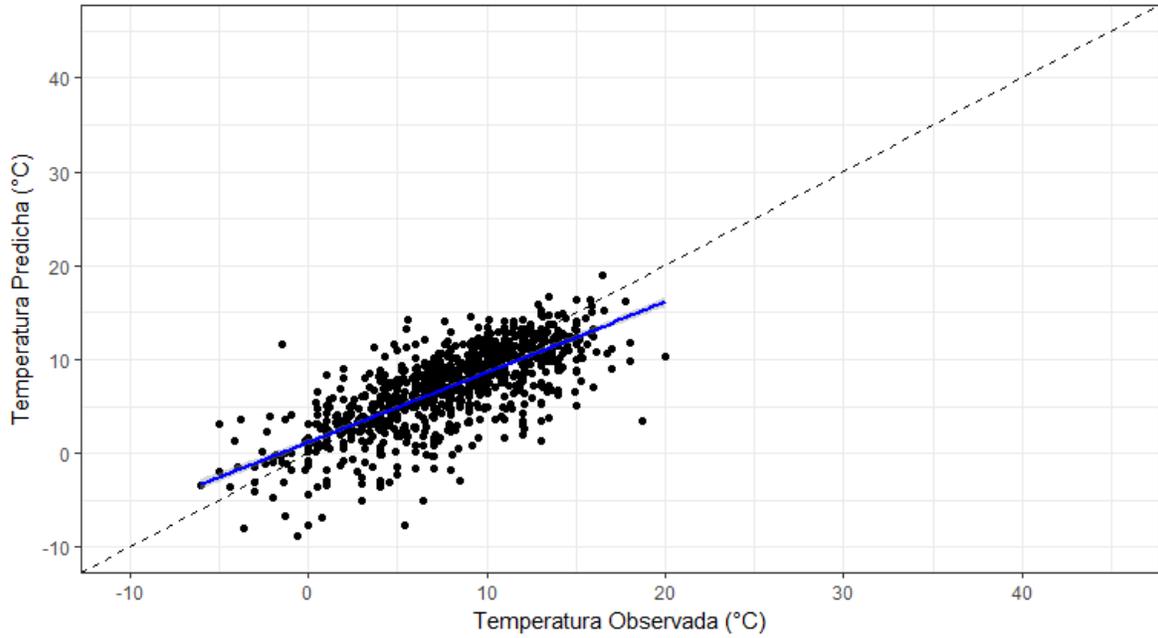


Figura 1.10. Relación de los valores Observados y Predichos de la variable TN. La línea punteada corresponde a la línea 1:1, mientras que la línea azul es la regresión lineal de los datos

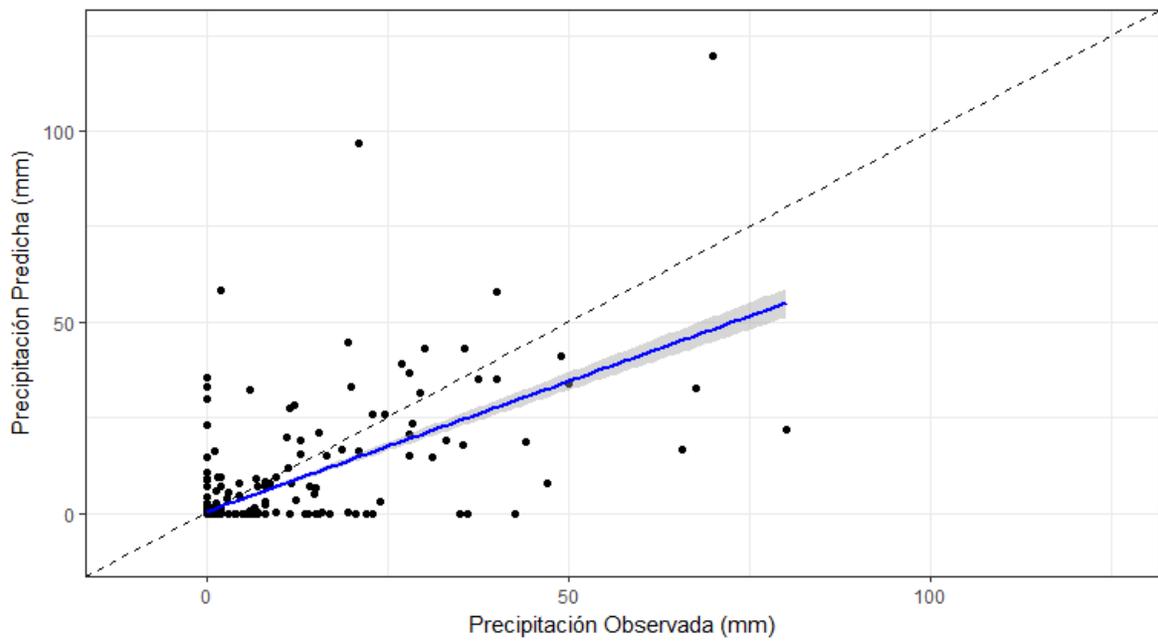


Figura 1.11. Relación de los valores Observados y Predichos de la variable PP. La línea punteada corresponde a la línea 1:1, mientras que la línea azul es la regresión lineal de los datos

El cuadro 1 muestra los resultados de los índices para cada una de las variables, tal como se observa los resultados muestran que TX y TM son las variables que muestran mejores índices estadísticos, por lo que existe una mejor relación entre los datos observados y predichos por *Climatol*, en el caso de la TN, los valores disminuyen en comparación a las otras dos variables, lo que se debe a la dispersión de los datos que se observa en la Figura 10. Respecto al PP, los resultados muestran que *Climatol* predice valores en situaciones cuando la PP observada es igual a 0 mm (valores en el eje Y), como también predice valores del PP de 0 mm cuando realmente hubo precipitación en ese día (valores en el eje X); además se observa que *Climatol* estaría subestimando los valores de la PP, esto debido a que la recta correspondiente a la regresión lineal se encuentra muy desplazada respecto a la línea 1:1 (punteada). Además, los índices estadísticos para PP muestran que la predicción de *Climatol* no sería tan confiable como en las otras variables, lo que está relacionado a los valores en los ejes (predichos y observados).

Cuadro 1. Resumen de los índices estadísticos para cada una de las variables

Índice	TX	TM	TN	PP
r^2	0.88	0.86	0.60	0.44
NSE	0.87	0.84	0.51	0.34
d	0.97	0.96	0.87	0.80
RMSE	2.73	2.23	3.15	6.28
MAE	1.92	1.58	2.25	1.58

3.- Segundo Rellenado o Rellenado Espacial de la Información

Debido a que *Climatol* solo utilizan las series de datos que contienen información, eliminando los datos anómalos y estaciones que no tienen información, por lo cual algunas de las estaciones no presentan información. De manera de generar una base de datos más completa se usó el método de la Regresión Espacial Ponderada o GWR (Brunsdon et al., 1996) para completar la información con aquellas estaciones que no posean información.

ANEXO 2

Grid (1 km x 1 km) para variables meteorológicas de temperatura máxima, mínima y radiación solar.

Obtención de datos meteorológicos

Se obtuvo información tanto espacial como meteorológica desde diversas fuentes de datos, por un lado, se descargaron capas de información meteorológica (precipitación y temperaturas máximas, mínimas y medias) del *Center for Climate and Resilience Research* (CR2) tanto a nivel diario como mensual, las cuales corresponden a una grilla rectangular de 0.05° o 180 arco segundos de latitud-longitud (aproximadamente 5km) para el territorio de Chile continental y el periodo 1979-2016.

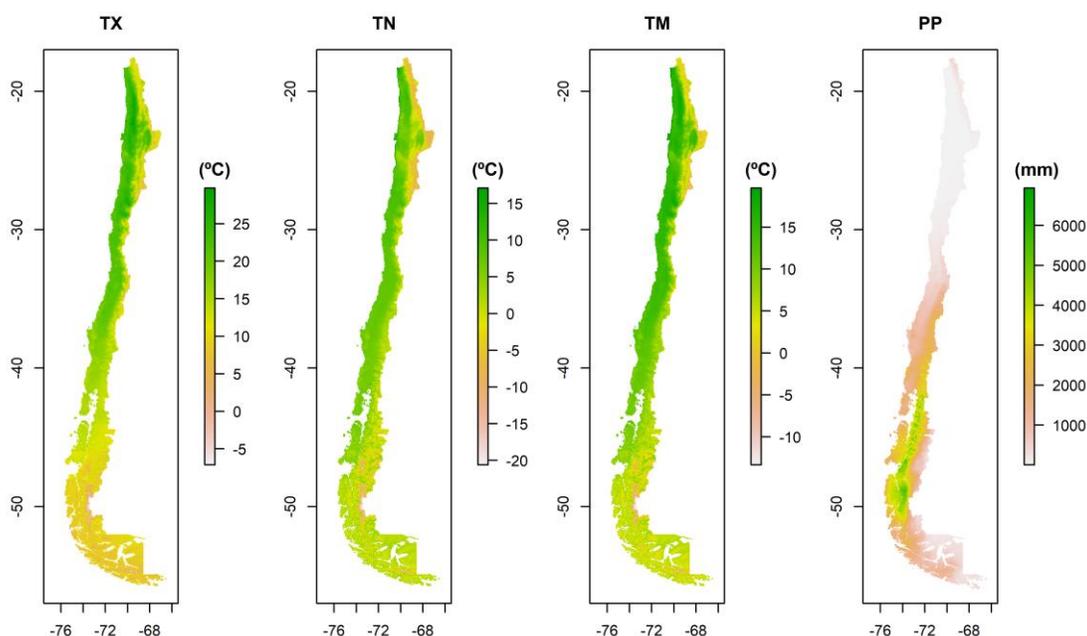


Figura 2.1.- Valores anuales climatológicos grillas CR2 a 5 km de resolución espacial.

Así mismo a modo de referencia espacial, se descargaron las capas climatológicas del *Global Climate Data* (WorldClim) en su versión 2.0, las cuales son un conjunto de datos climáticos a nivel mundial con una resolución espacial de 30 arco segundo, los que equivalen a 1km² aproximadamente en la línea del Ecuador.

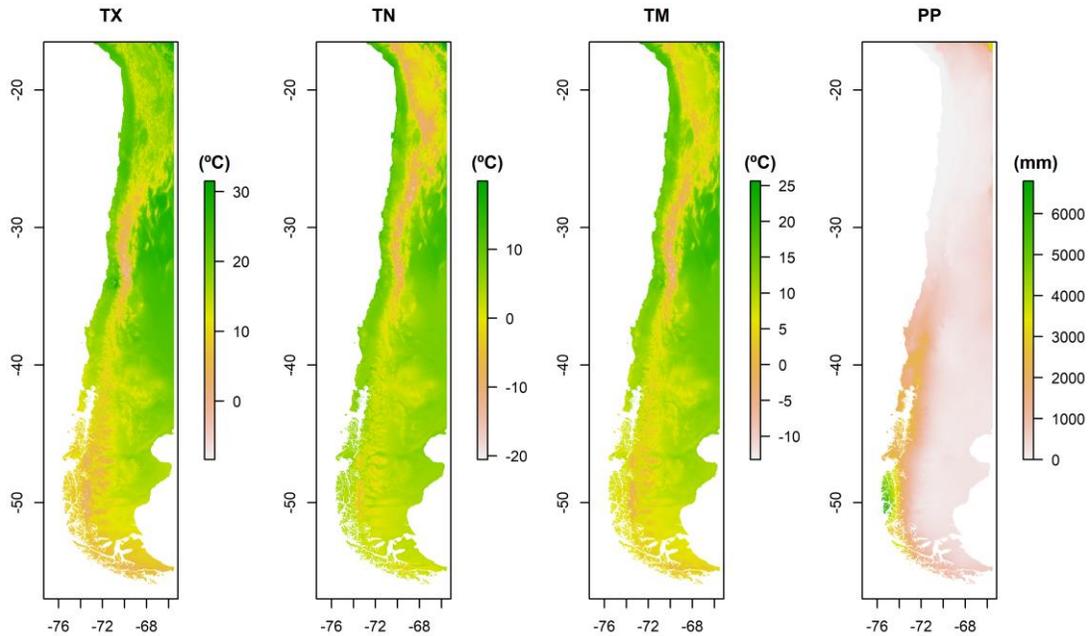


Figura 2.2.- Valores anuales climatológicos WorldClim v2.0 a 1 km de resolución espacial.

Otro material utilizado fue el producto GTOPO30 que es un Modelo digital de elevación (DEM) correspondiente a una grilla de cobertura global, que posee una resolución de 30 arcosegundos, que implican pixeles de aproximadamente 1x1 kms de superficie dependiendo de la ubicación de éste, el cual fue generado en base a una serie de fuentes rasterizadas y vectoriales de información topográfica tal como se aprecia en la siguiente figura.

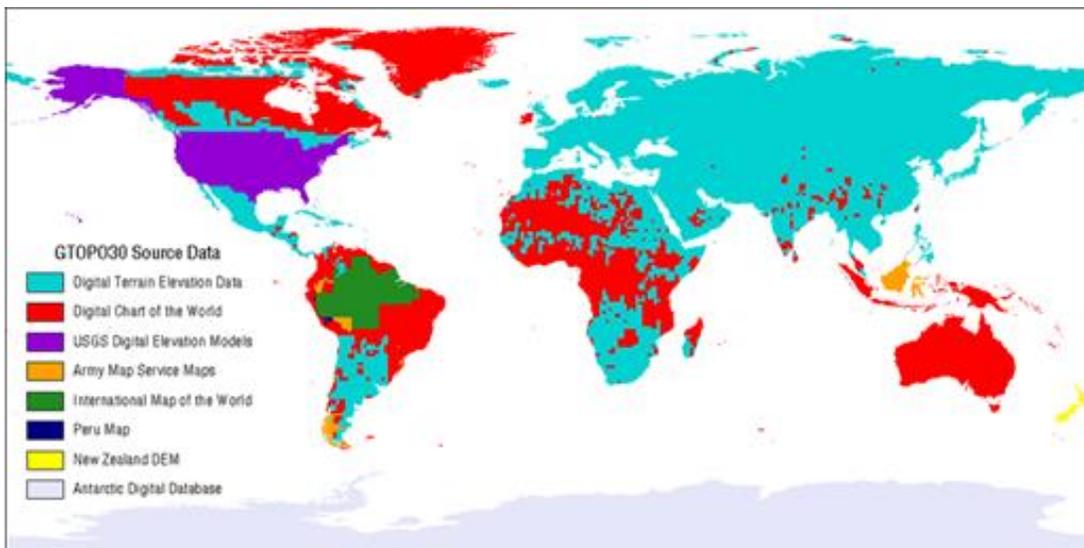


Figura 2.3.- Fuentes de datos modelo digital de elevación GTOPO30.

DownScaling estadístico

Para contar con una base de datos en alta resolución de las grillas históricas existentes en baja resolución, fue necesario realizar un proceso de bajada de escala o downscaling. Este proceso permitió pasar de la escala de resolución espacial de 5 km a 1 km, escala más apropiada para la evaluación de impactos en la biodiversidad y la agricultura.

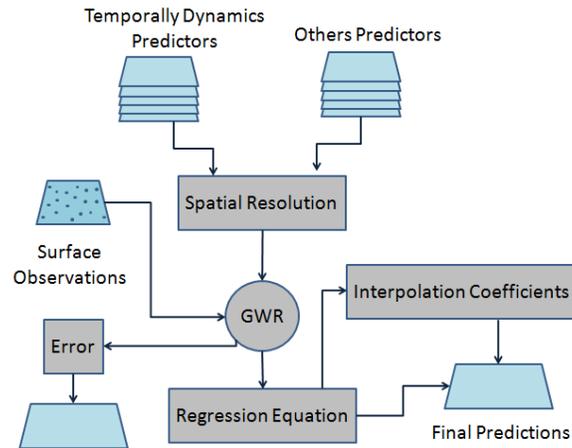


Figura 2.4.- Esquema del procedimiento para la predicción espacio-temporal de una variable meteorológica usando Geographically Weighted Regression (GWR).

Para esto se utilizó el método denominado Geographically Weighted Regression (GWR). Este tipo de método es útil para realizar regresiones espaciales afectadas por el fenómeno de inestabilidad paramétrica con buenos resultados y la capacidad de generar mapas de los parámetros ajustados a escala global (Fotheringham et al., 1997; 2000; 2002; Morales et al., 2010; Draper and Smith, 1981).

Para tener la distribución espacial de las variables meteorológicas CR2 que se encuentran a una escala diaria, fue necesario homogenizar la resolución temporal de las variables climatológicas de WorldClim, las cuales se encuentran a una escala media mensual, esto se realizó mediante el método de interpolación segmentaria o spline (Burden, 1985) donde este método usa ajustes locales de polinomios por segmentos en la serie de datos utilizada, asumiendo que los valores mensuales representan el valor obtenido a mitad de mes.

Para la disminución de escala de las variables Precipitación, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima y Temperatura Media históricas a nivel diario se utilizaron las variables predictoras ALTURA extraída del DEM GTOPO30 y una variable asociada proveniente de WorldClim la cual corresponde a la misma variable a predecir, dichas variables productoras posee una resolución de 1 km aproximadamente, por lo que se redujo su resolución espacial para hacerla coincidir con las grilla CR2 (5 km aproximadamente) agrupando y promediando los pixeles.

Los coeficientes espaciales obtenidos a partir del método GWR, fueron interpolados mediante el método del Inverso Ponderado por la Distancia de potencia 4 para luego ser

suavizado y utilizados en el modelo en función de la Altura y la variable asociada que corresponde.

Presentación de información meteorológica

Para informar la distribución espacial de estos datos se calculó tanto la media mensual como la desviación estándar mensual para las variables precipitación, radiación solar y temperaturas máximas, mínimas y medias, entre las Regiones de Coquimbo y Del Bío-Bío, Por otro lado, la distribución temporal de los datos se expone mediante una serie de tiempo agrupadas según los polígonos identificados como zona agrícola de las capas de zonas homogéneas y ambientales perteneciente ODEPA, además de los respectivos climogramas (Diagrama Ombrotérmico) agrupados según las zonas mencionadas anteriormente para cada región del área de estudio.

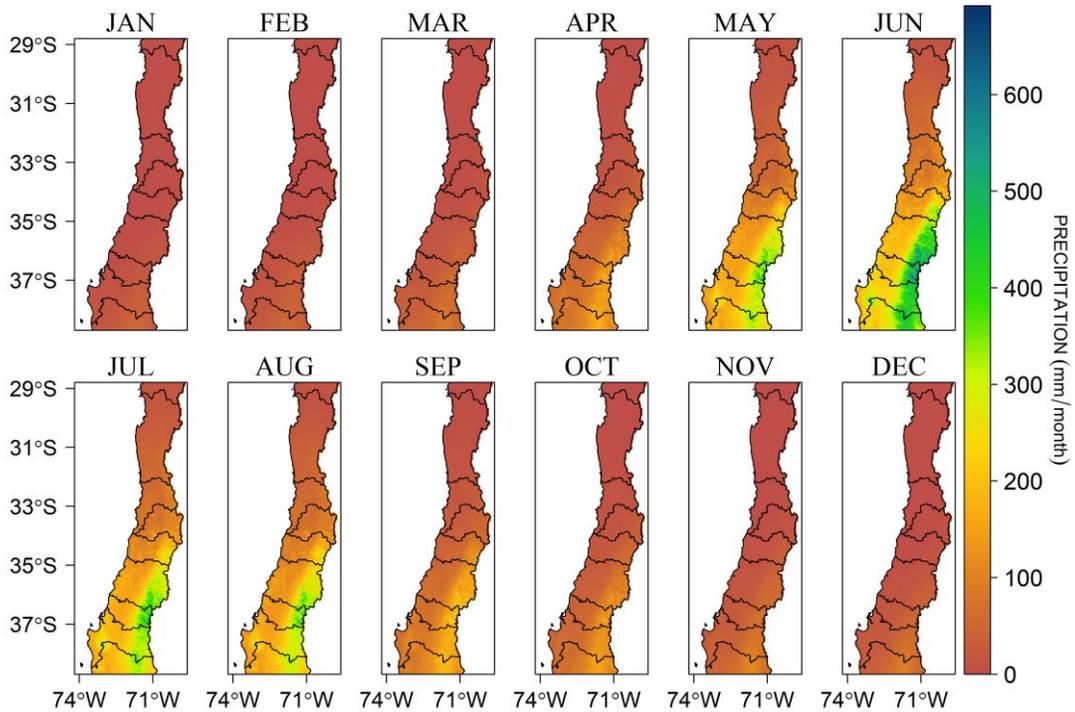


Figura 2.5.- Valores climatológicos de precipitación mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

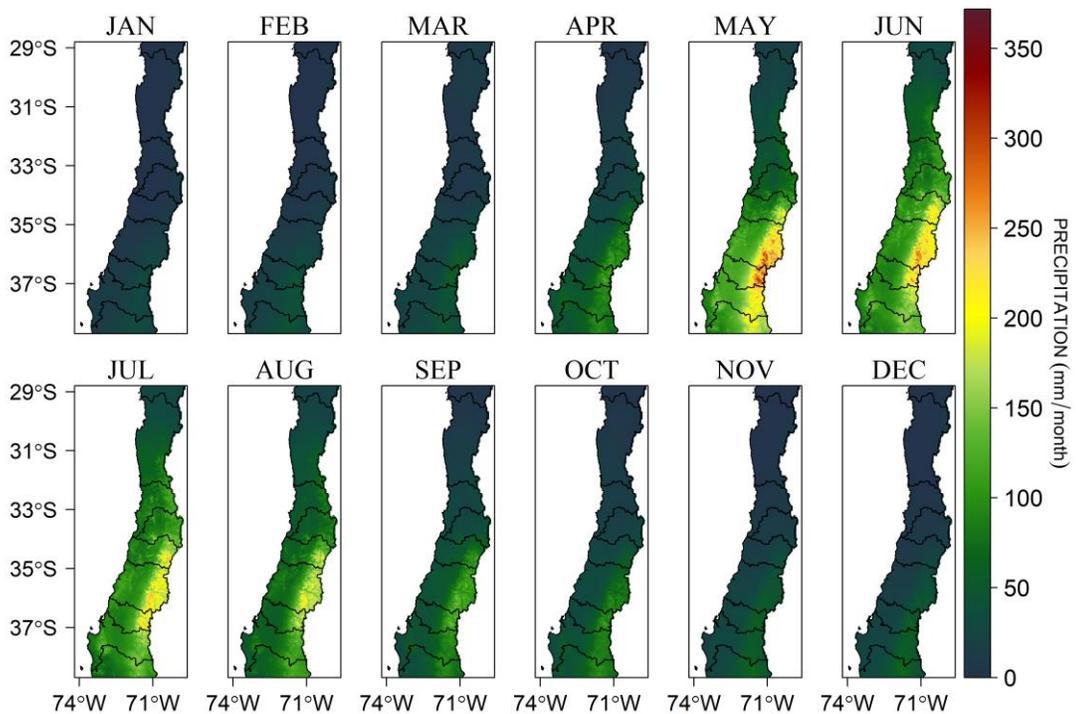


Figura 2.6.- Desviación estándar de precipitación mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

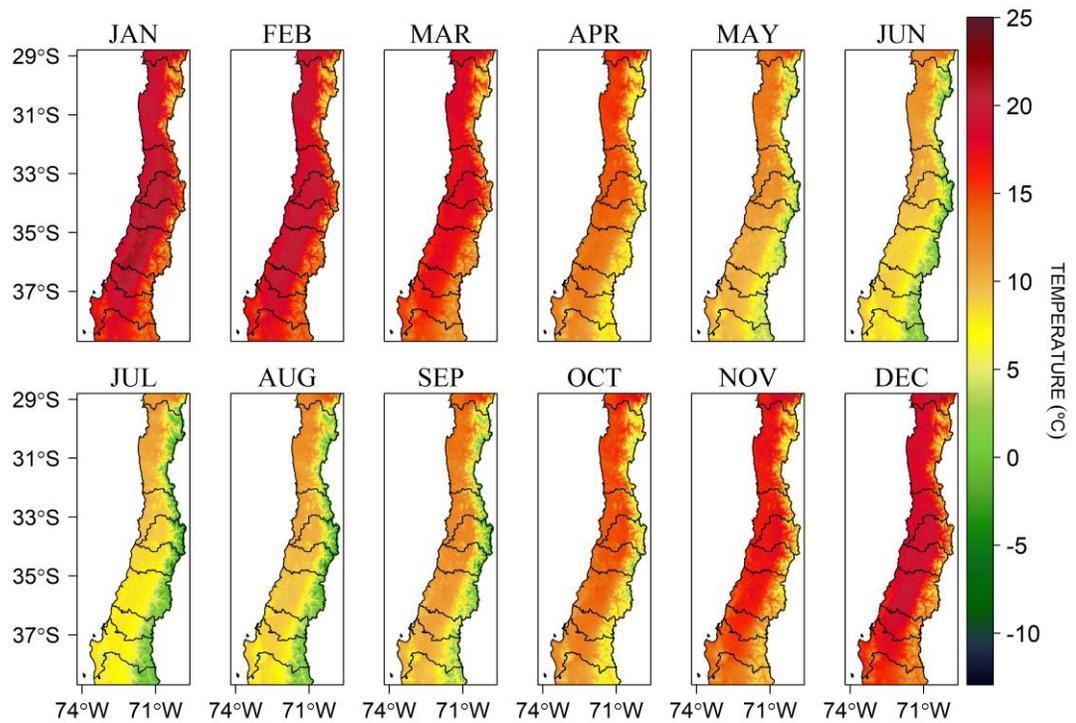


Figura 2.7.- Valores climatológicos de Temperatura media mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

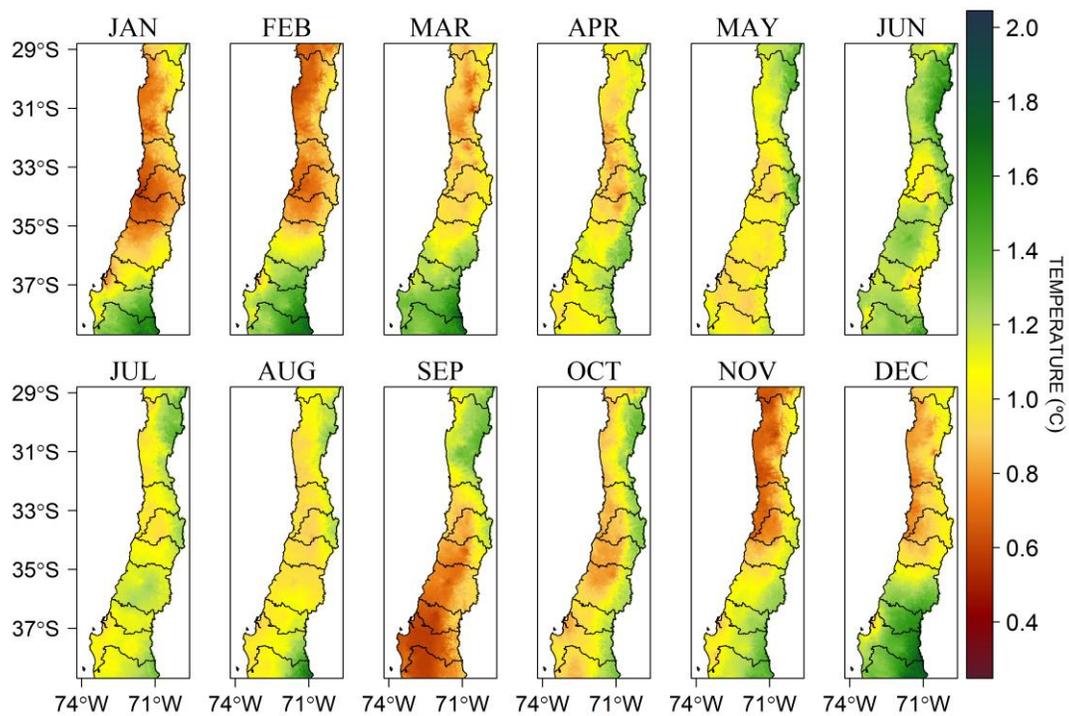


Figura 2.8.- Desviación estándar de Temperatura media mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

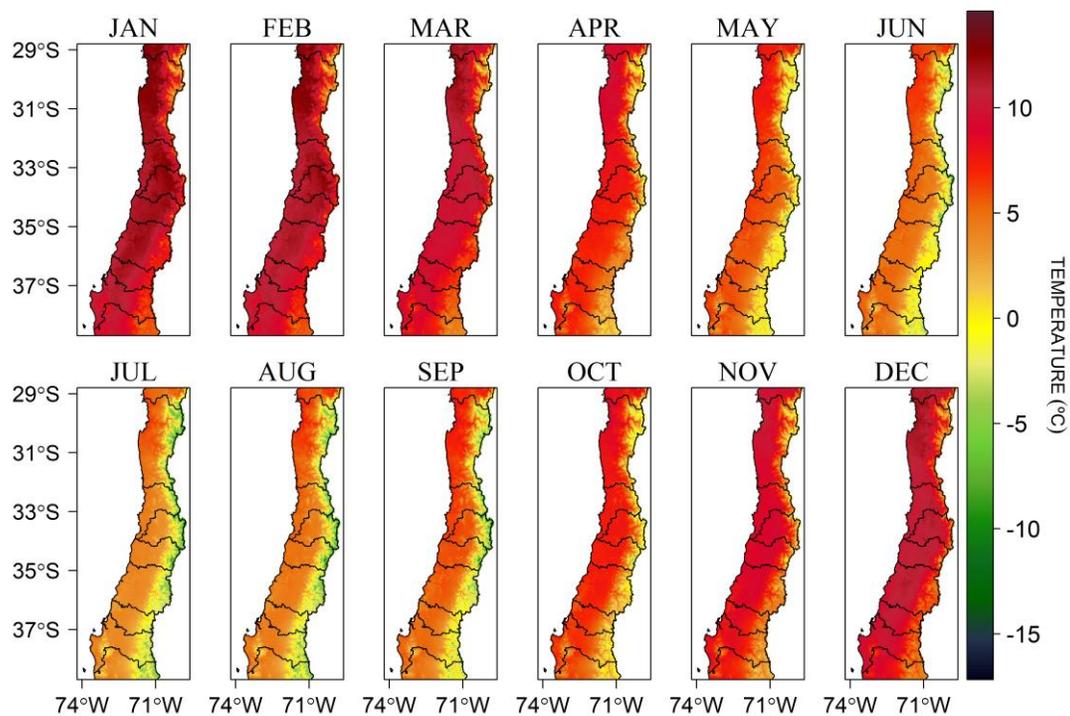


Figura 2.9.- Valores climatológicos de Temperatura mínima mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

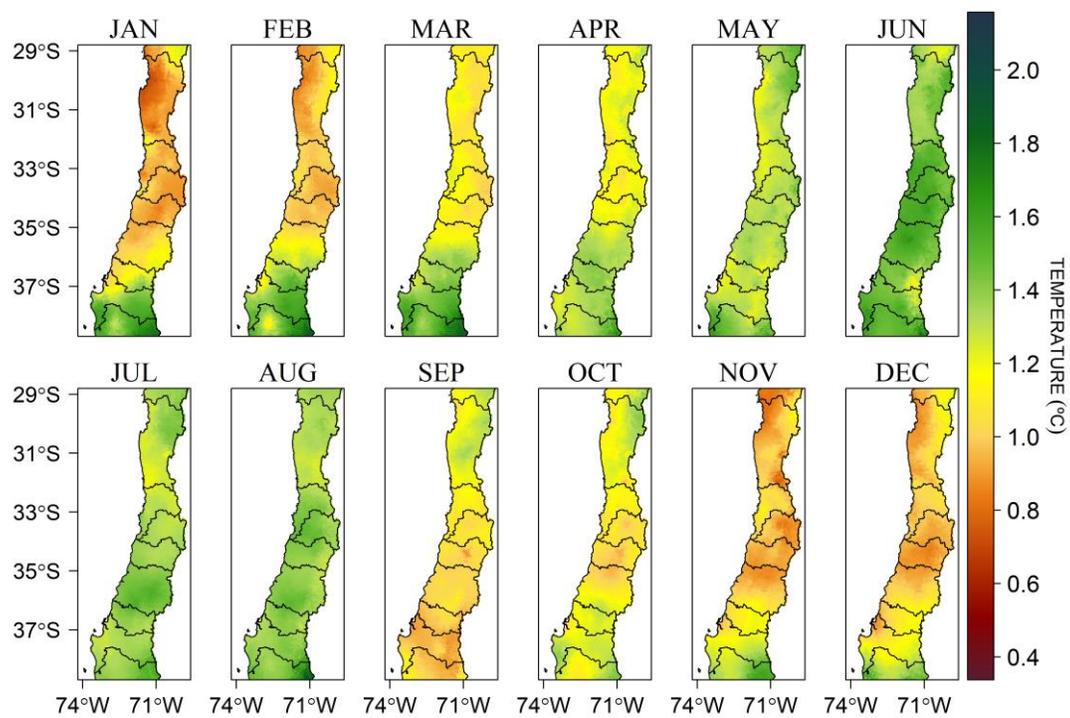


Figura 2.10.- Desviación estándar de Temperatura mínima mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

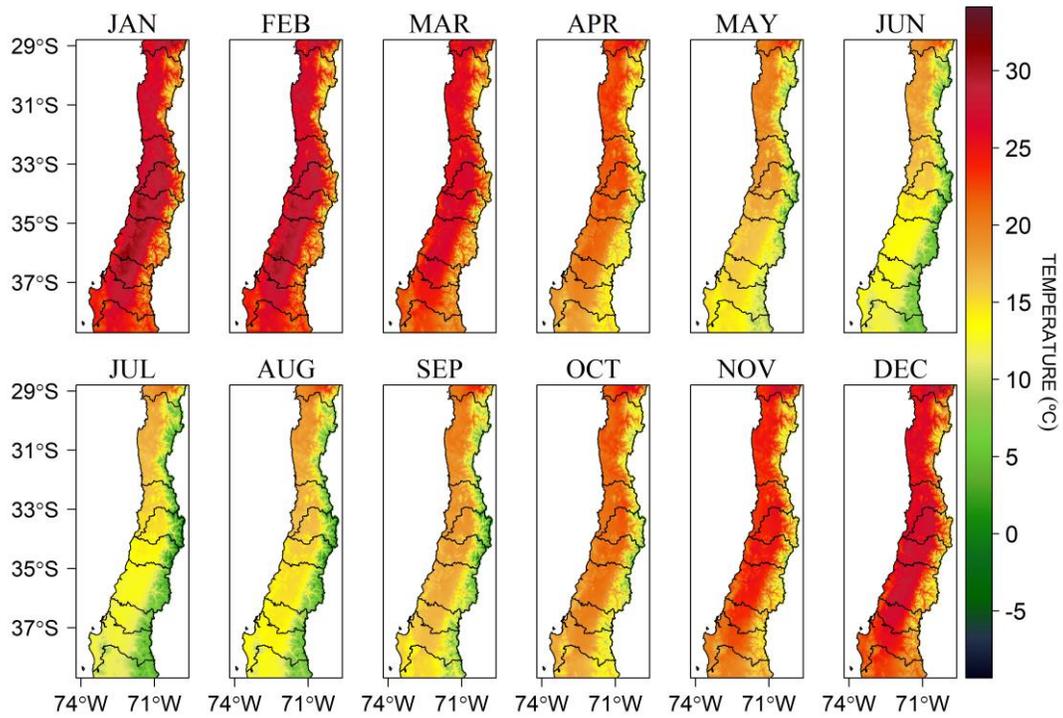


Figura 2.11.- Valores climatológicos de Temperatura máxima mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

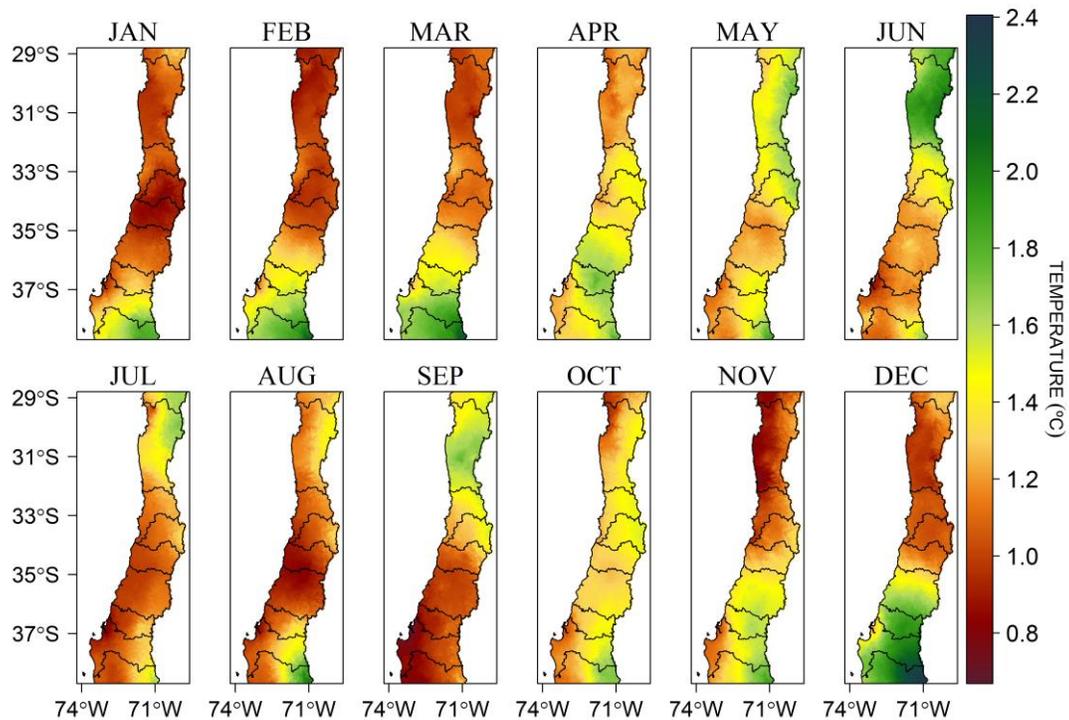


Figura 2.12.- Desviación estándar de Temperatura máxima mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

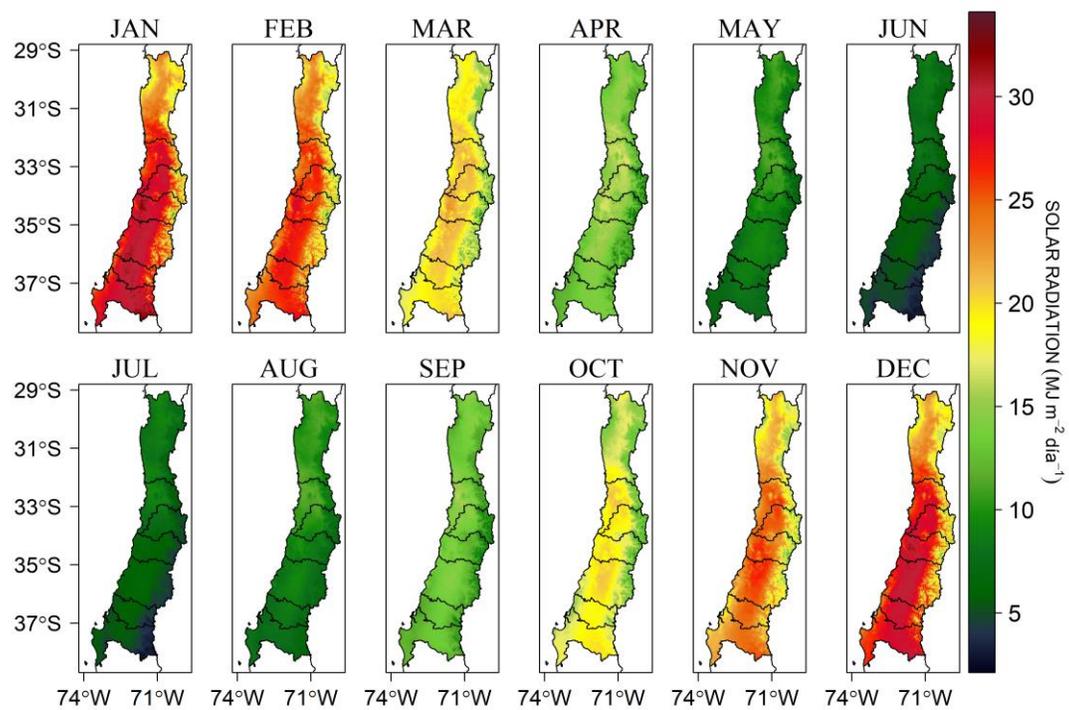


Figura 2.13.- Valores climatológicos de Radiación solar mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

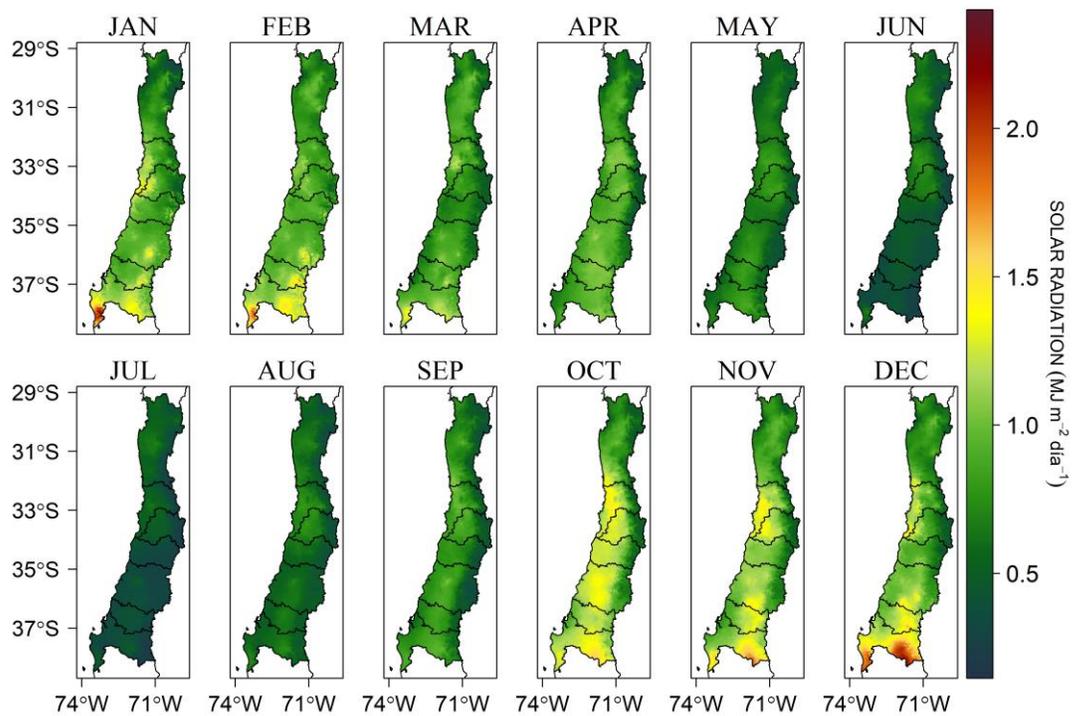


Figura 2.14.- Desviación estándar de Radiación solar mensual a 1 km de resolución espacial para el periodo 1985-2015 provenientes de las grillas CR2.

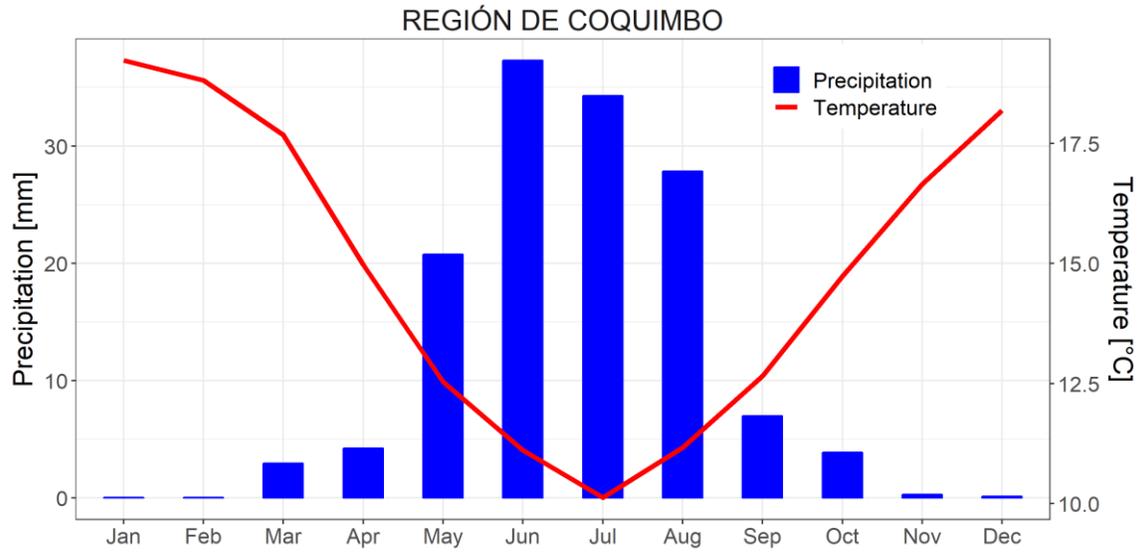


Figura 2.15.- Climograma de las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Coquimbo.

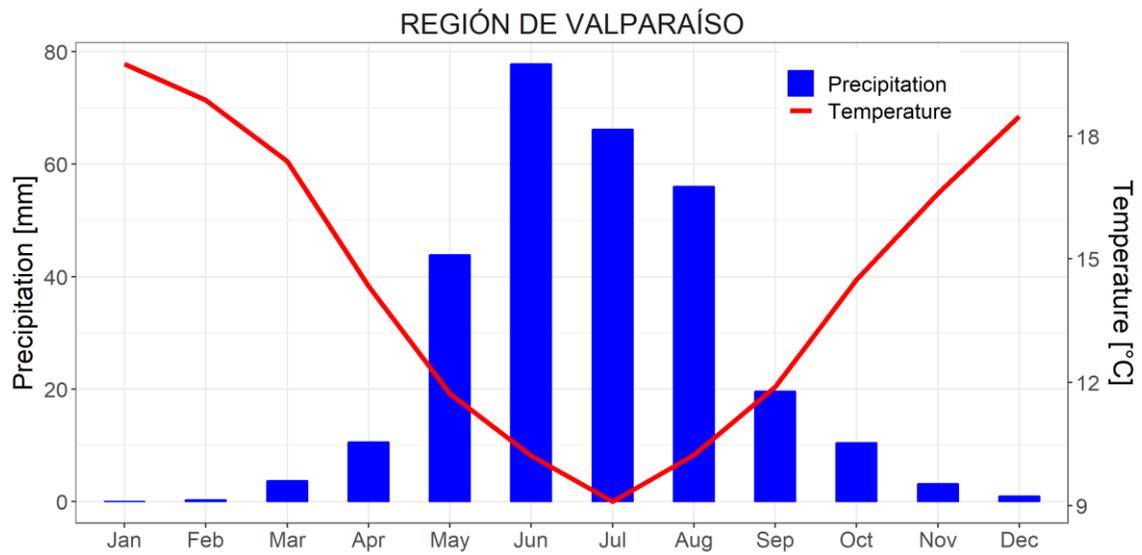


Figura 2.16.- Climograma de las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Valparaíso.

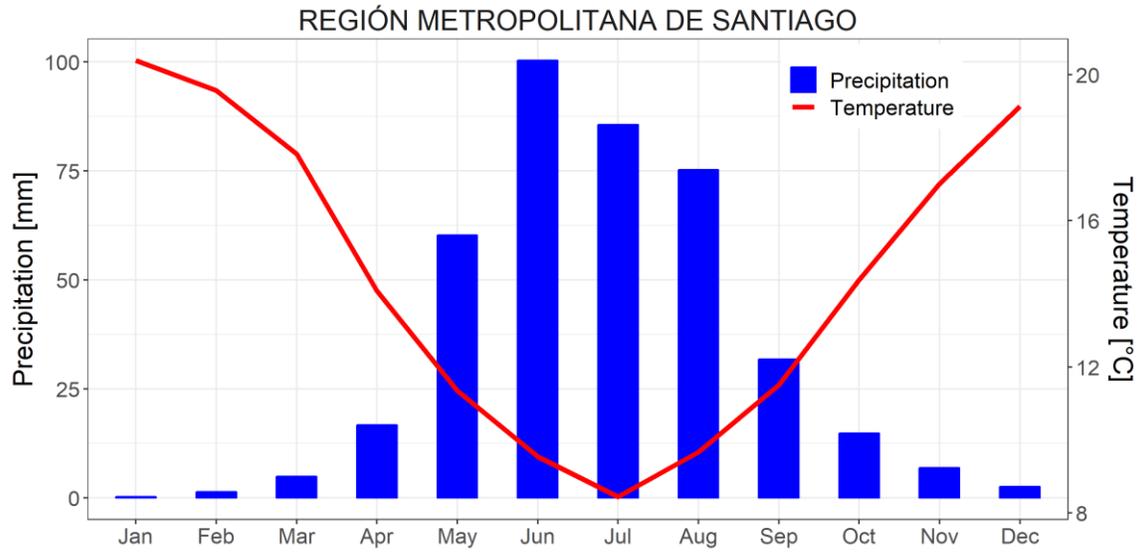


Figura 2.17.- Climograma de las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región Metropolitana de Santiago.

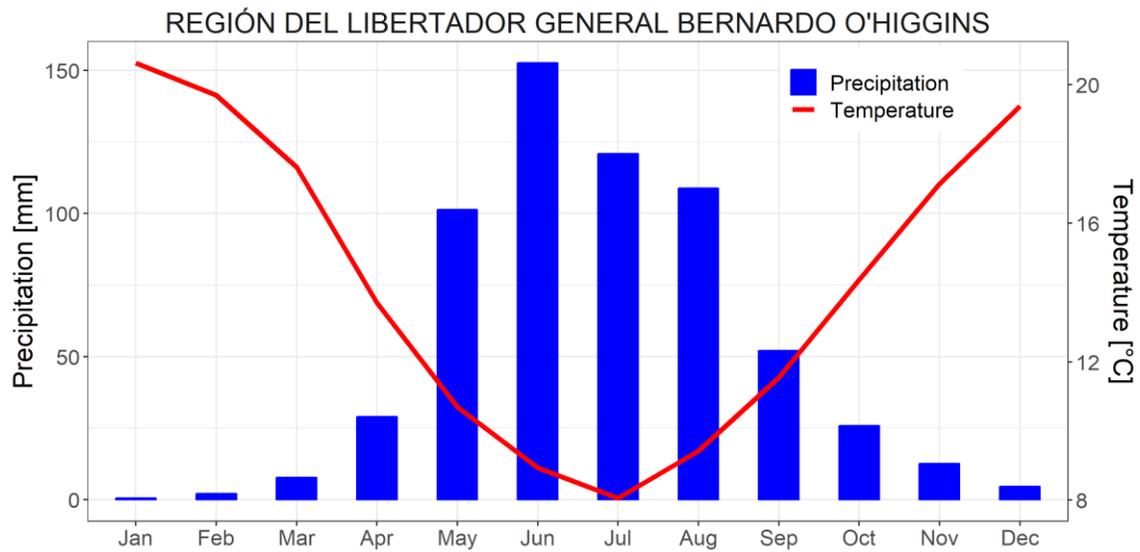


Figura 2.18.- Climograma de las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

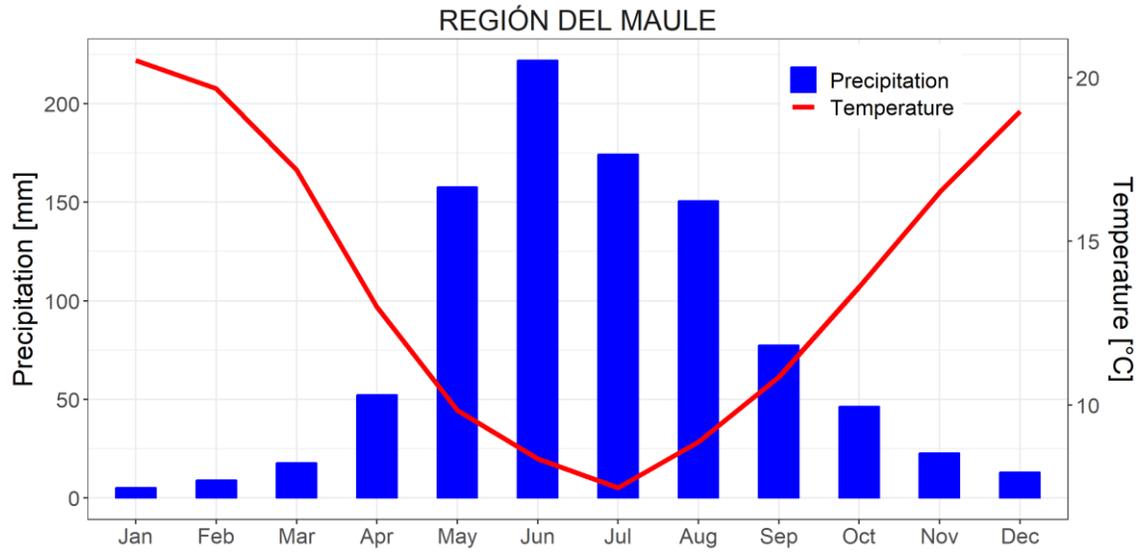


Figura 2.19.- Climograma de las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Maule.

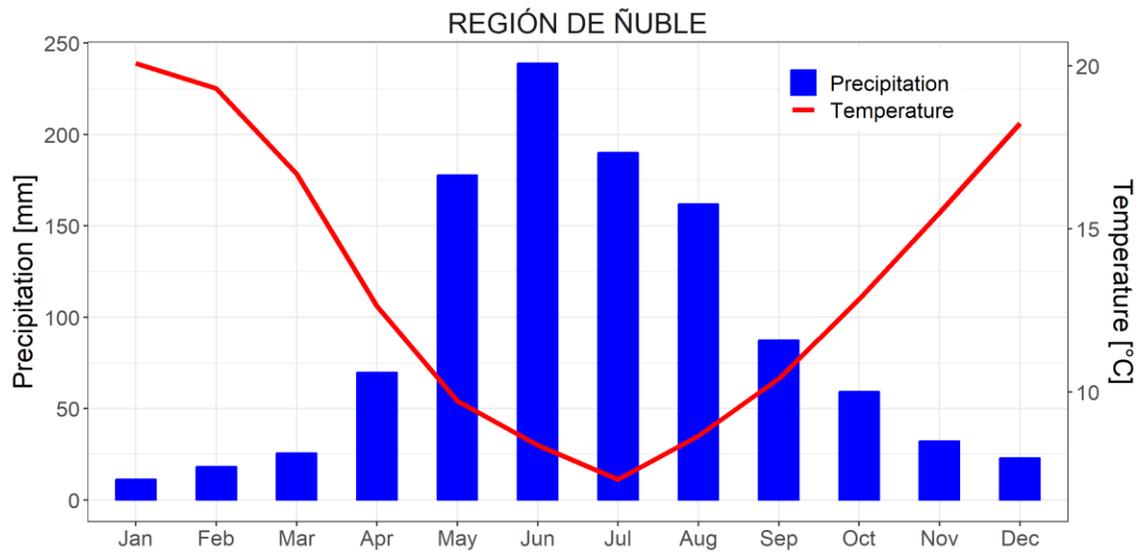


Figura 2.20.- Climograma de las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Ñuble.

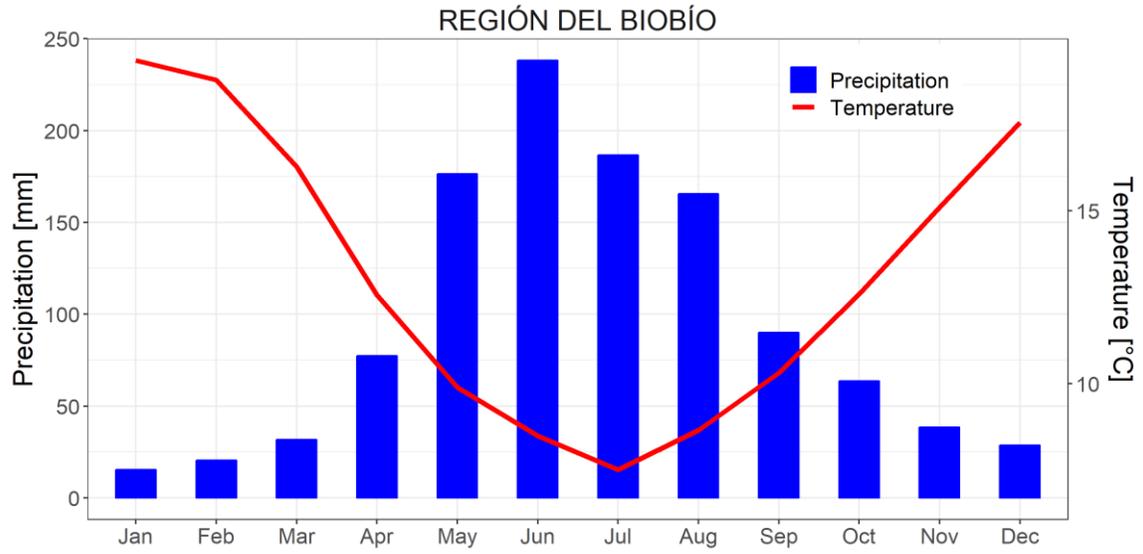


Figura 2.21.- Climograma de las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Biobío.

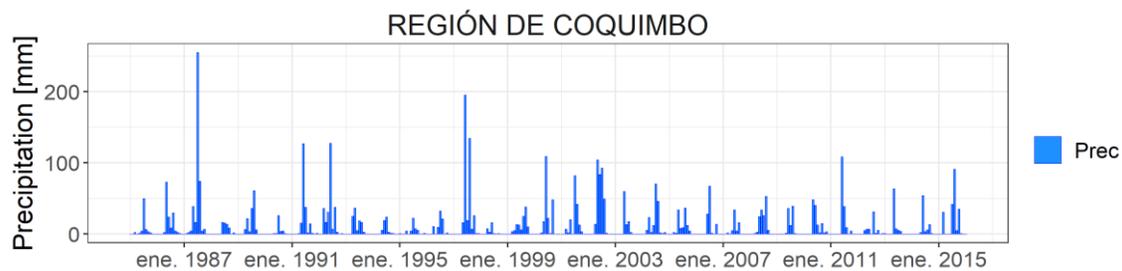


Figura 2.22.- Serie de tiempo de precipitación en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Coquimbo.

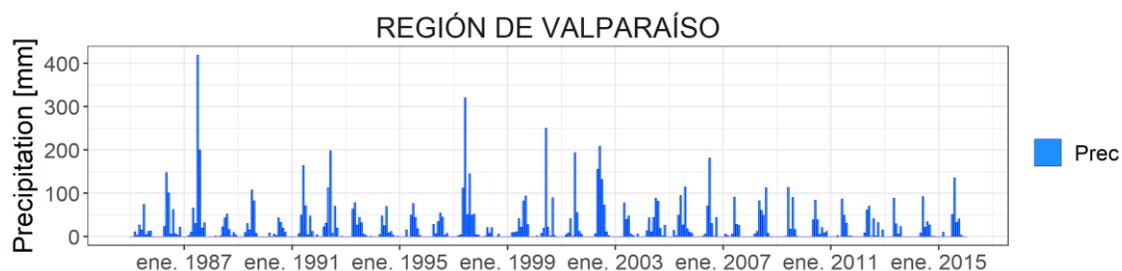


Figura 2.23.- Serie de tiempo de precipitación en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Valparaíso.

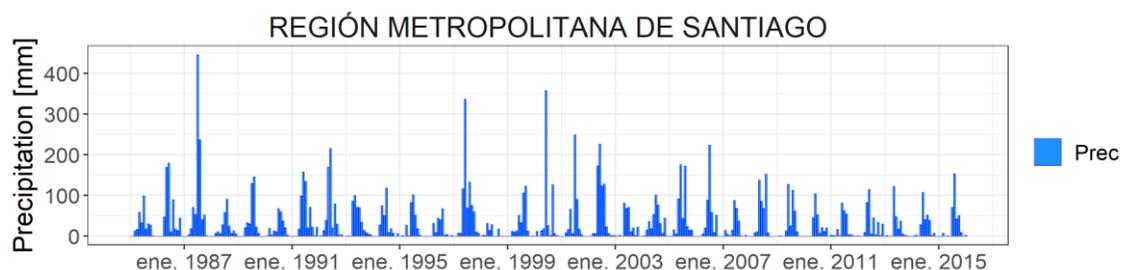


Figura 2.24.- Serie de tiempo de precipitación en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región Metropolitana de Santiago.

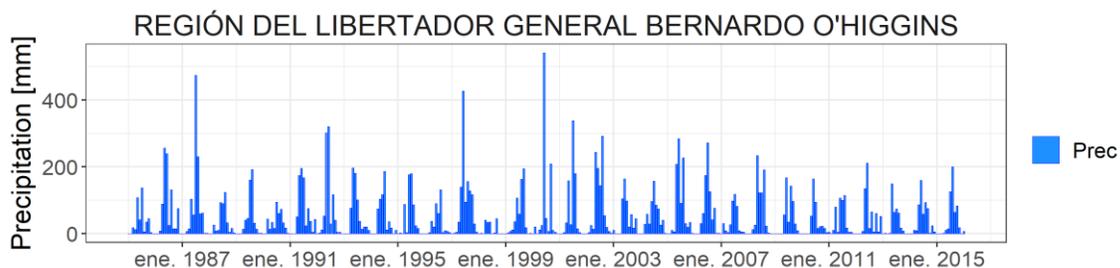


Figura 2.25.- Serie de tiempo de precipitación en las zonas agrícolas del área de estudio

Fig

provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

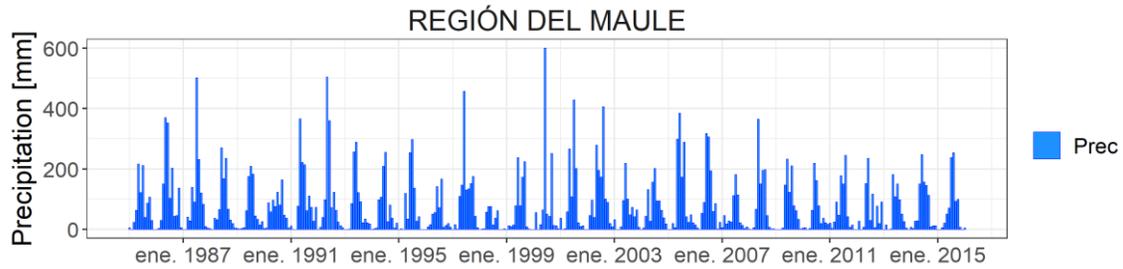


Figura 2.26.- Serie de tiempo de precipitación en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Maule.

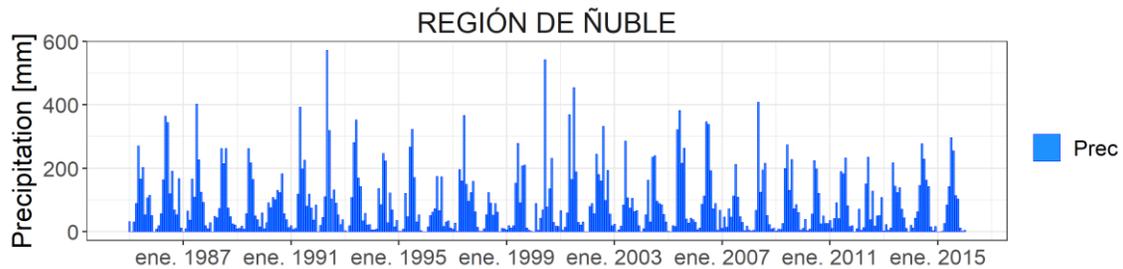


Figura 2.27.- Serie de tiempo de precipitación en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Ñuble.

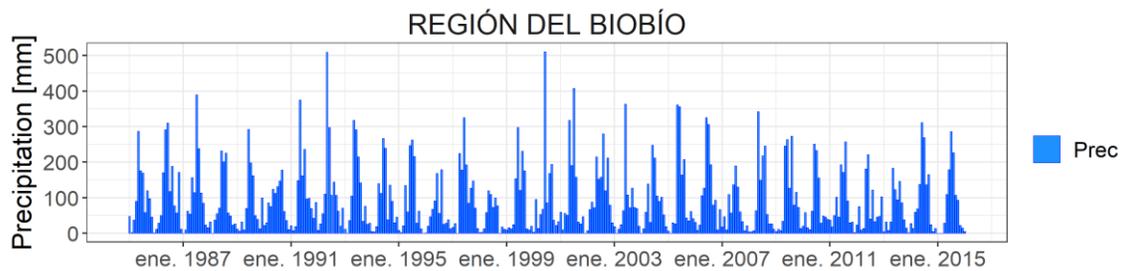


Figura 2.28.- Serie de tiempo de precipitación en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Biobío.

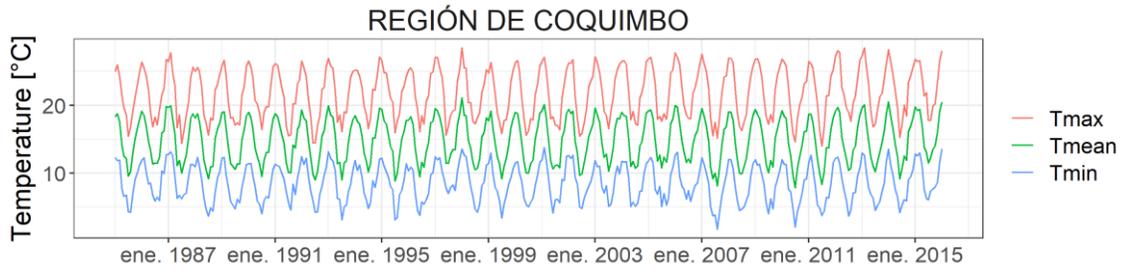


Figura 2.29.- Serie de tiempo de Temperaturas en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Coquimbo.

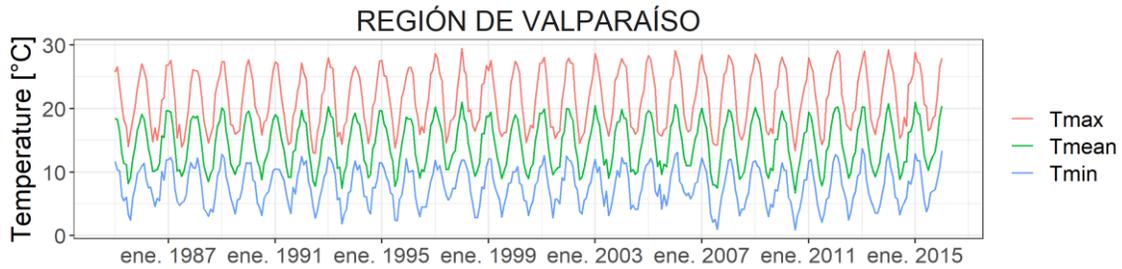


Figura 2.30.- Serie de tiempo de Temperaturas en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Valparaíso.

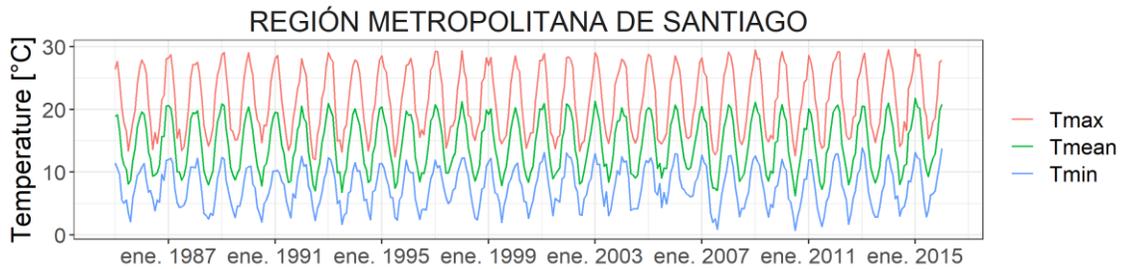


Figura 2.31.- Serie de tiempo de Temperaturas en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región Metropolitana de Santiago.

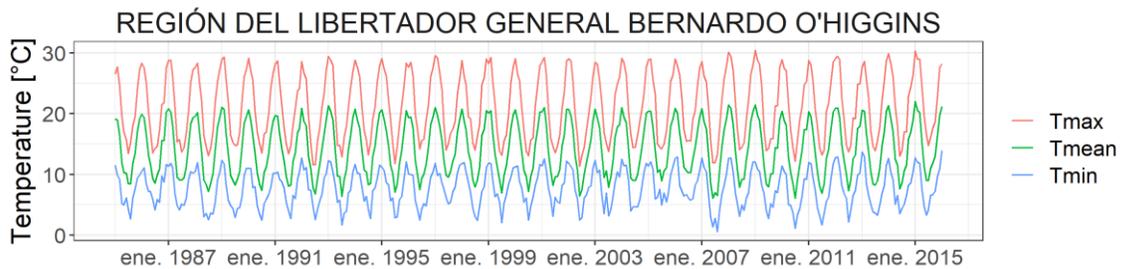


Figura 2.32.- Serie de tiempo de Temperaturas en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Fig

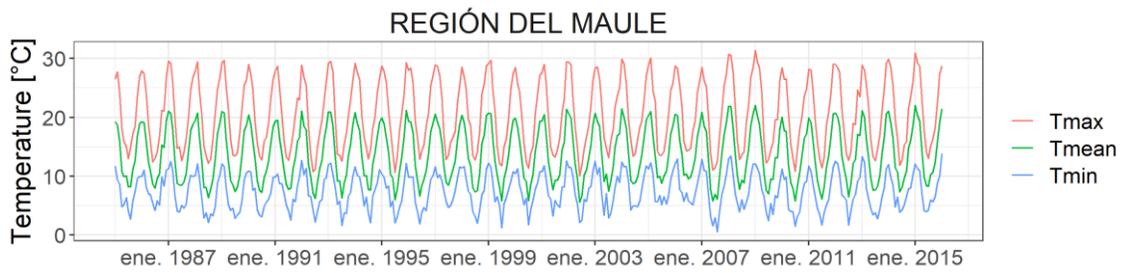


Figura 2.33.- Serie de tiempo de Temperaturas en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Maule.

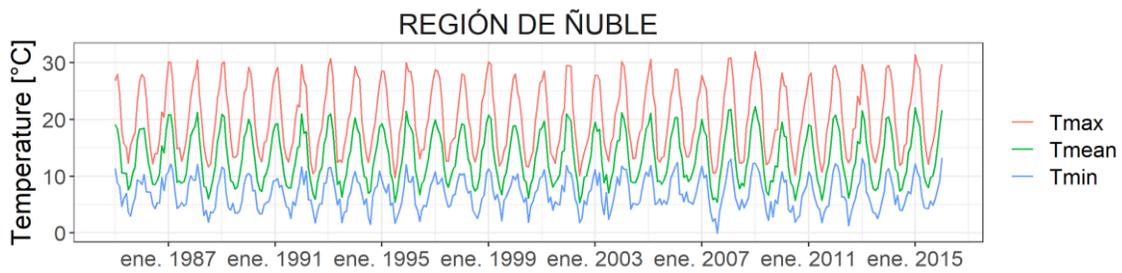


Figura 2.34.- Serie de tiempo de Temperaturas en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región de Ñuble.

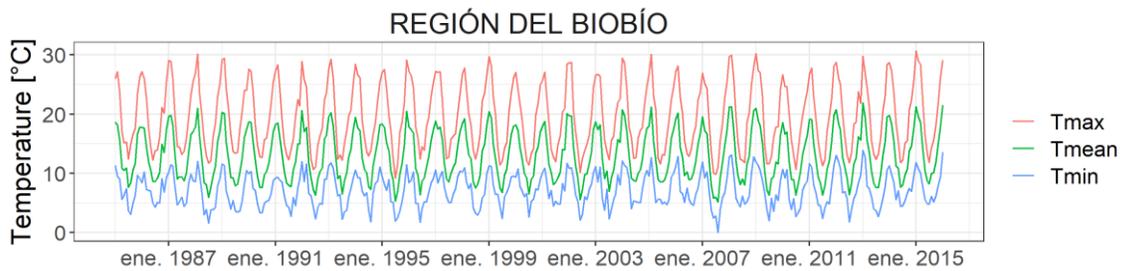


Figura 2.35.- Serie de tiempo de Temperaturas en las zonas agrícolas del área de estudio provenientes de las grillas CR2 para el periodo 1985-2015 en la Región del Biobío.