

**UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EMPRESARIALES**



**“EFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL RENDIMIENTO DE LOS  
CULTIVOS DEL TRIGO Y MAÍZ EN LAS REGIONES SÉPTIMA, OCTAVA Y  
NOVENA DEL PAÍS”**

Karina Rallo Yáñez

Giannina Tessini Cáceres

Profesor Guía: Juan Cabas Monje

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO COMERCIAL**

**Chillán, Diciembre 2013**



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES  
ESCUELA INGENIERÍA COMERCIAL

Chillán, Febrero 27 de 2014.

### Informe: Memoria de Título

En relación a la evaluación de la Memoria para optar al Título de Ingeniero Comercial, denominada "EFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE TRIGO Y MAÍZ EN LAS REGIONES SÉPTIMA, OCTAVA Y NOVENA DEL PAÍS" de las alumnas Karina Rallo Yáñez - Giannina Tessini Cáceres.

Teniendo en cuenta las exigencias de la Carrera de Ingeniería Comercial y en especial las referidas a la actividad de titulación, la comisión de examinación califica el presente informe con 6.6 puntos (escala de 1 a 7).

Atentamente,

  
Juan Cabas M.  
Profesor Guía

  
Bernardo Vasquez G.  
Profesor Informante

  
Omar Acuña M.  
Director de Escuela

CC. - Director de Escuela Ingeniería Comercial  
- Alumnos(as)  
- Archivo

## **Agradecimientos**

Luego de estos años de constante lucha sobre todo ante este último desafío universitario quiero agradecer a mis padres Sandra y Salvador, a quienes amo infinitamente, los mejores padres que el destino me pudo dar, porque estuvieron respaldándome de distintas maneras para que pudiese llegar a la meta. A mi gran pequeña hermana Daniela, un ejemplo de valentía, que junto con su esposo Gustavo hicieron que disfrutara al máximo de mis tiempos libres y siempre me hicieron sentir como en casa.

A mi gran amor Nelson, porque creo que sin ti, nada de esto habría sido posible, por inculcar en mí el intento a diario de ser mejor persona, mejor mujer y excelente profesional, y porque este intento de crecer juntos viviendo en una nueva ciudad, ha sido una de las experiencias más lindas solo gracias a ti.

A mis familiares cercanos, mi maravillosa abuelita María que con sus mimos y besos llenan a diario mi corazón de alegría, a María Eugenia, Diego, Stephania, María José y Antonia, quienes representan fielmente para mí la palabra familia.

Finalmente a mi amiga y compañera Giannina, que después de compartir varios años de estudio y amistad se nos presentó este gran desafío, que fue motivo de discusiones pero también de alegrías, te quiero y deseo el mejor de los éxitos para este futuro que nos inunda a diario, haciéndonos dar cuenta que ya no somos niñas, si no mujeres, mujeres preparadas y con ganas de ser las mejores siempre y en cualquier parte.

**Karina Francisca Rallo Yáñez**

## Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios, mis padres, Álvaro y Antonia, y mi novio Oscar, los pilares fundamentales de mi vida y mis más grandes amores, que siempre me han apoyado y guiado mi camino, dándome fuerzas cuando creía que no podía más. Gracias por la paciencia y el amor, siempre incondicionales.

A mi hermano, cuñada y mi pequeño tesoro, Florencia, por motivarme inconscientemente a terminar bien y luego cada semestre para poder ir a verlos, abrazarlos y regalarlos.

A Karina, por la amistad y compañía en esta etapa tan importante de mi vida, que fue más linda y entretenida gracias a ti. Me alegro de haber compartido contigo tantas experiencias, y en especial esta última, que nos han ayudado a crecer y prepararnos mejor para la vida. Seremos las mejores Ingenieras Comerciales. Te quiero.

A las lindas personas que conocí en este camino, gracias por las alegrías y penas compartidas.

A los obstáculos de la vida, por hacerme más fuerte y perseverante, al final solo me ayudan a ser mejor persona.

Gracias.

**Giannina Paola Tessini Cáceres**

*“Dios, dame la serenidad de aceptar las cosas que no puedo cambiar;  
Valor para cambiar las cosas que puedo; y sabiduría para conocer la diferencia”  
Reinhold Niebuhr.*

## Índice General

CAPÍTULO I “INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO” .....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Problema .....	10
1.2 Justificación .....	11
1.3 Objetivos .....	11
MARCO TEÓRICO .....	12
1.4 Cambio climático.....	12
1.5 Cambio climático en la Agricultura.....	13
1.6 Cereales Tradicionales en Chile .....	13
1.6.1 Maíz .....	13
1.6.2 Trigo.....	15
METODOLOGÍA.....	16
CAPÍTULO II “VARIABLES CLIMÁTICAS” .....	18
VARIABLES CLIMÁTICAS .....	19
PRECIPITACIÓN .....	20
2.1 Precipitaciones Anuales Acumuladas.....	21
2.2 Precipitaciones Mensuales de la Región del Maule.....	22
2.3 Precipitaciones Mensuales de la Región del Bío-Bío.....	23
2.4 Precipitaciones Mensuales de la Región de la Araucanía.....	24
TEMPERATURA.....	25
2.5 Temperaturas Máximas Anuales .....	26
2.6 Temperaturas Medias Anuales.....	27
2.7 Temperaturas Mínimas Anuales .....	28
2.8 Temperaturas mensuales Región del Maule .....	29
2.9 Temperaturas mensuales Región del Bío-Bío .....	30
2.10 Temperaturas mensuales Región de la Araucanía .....	32
2.11 Resumen Estadísticos de las variables climáticas.....	33
2.12 Modelos ARIMA para las variables climáticas .....	34
CAPÍTULO III “RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS” .....	36
RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS.....	37
MAÍZ.....	38
3.1 Morfología y Taxonomía.....	38
3.1.1 Exigencias del cultivo.....	38
3.2 Análisis del rendimiento del maíz .....	40
3.3 Resumen Estadístico de los Rendimientos del Maíz .....	45
3.4 Resumen Estadístico de los Rendimientos del Maíz .....	46
TRIGO.....	47

3.5	Morfología y Taxonomía.....	47
3.5.1	Exigencias del cultivo.....	48
3.6	Análisis del rendimiento del trigo.....	49
3.7	Resumen Estadístico de los Rendimientos del Trigo .....	53
3.8	Modelos ARIMA para el rendimiento del Maíz y Trigo.....	54
Capítulo IV “EFECTOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y TRIGO” .....		55
EFECTOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN LOS CULTIVOS .....		56
MAÍZ.....		57
4.1	Aspectos Climáticos Maíz .....	58
4.1.1	Puntos críticos de la temperatura.....	58
4.1.2	Puntos críticos de las precipitaciones .....	58
TRIGO .....		59
4.2	Aspectos Climáticos .....	62
4.2.1	Puntos críticos de la temperatura.....	62
4.2.2	Puntos críticos de las precipitaciones .....	62
RESULTADOS .....		63
4.3	Maíz.....	63
4.3.1	Análisis gráfico.....	66
4.4	Trigo .....	68
4.4.1	Análisis gráfico.....	71
CAPÍTULO V “CONCLUSIONES” .....		73
CONCLUSIONES.....		74
BIBLIOGRAFÍA.....		77
ANEXOS .....		80
1.1	Test de Raíz Unitaria para las Variables Climáticas.....	80
1.2	Test de Raíz Unitaria para los Rendimientos de Maíz y Trigo.....	82
1.3	Salidas del programa R de los pasos para la estimación de los modelos de panel. ....	83
1.4	Diagnóstico del modelo seleccionado .....	86
1.5	Modelo final de medias .....	87
1.6	Modelo final de varianzas.....	88
1.7	Salidas del programa R los modelos de Trigo para Maule .....	89
1.8	Diagnóstico del modelo logarítmico del Maule.....	90
1.9	Salidas del programa R los modelos de Trigo para Bío-Bío y Araucanía.....	90
1.1	Diagnóstico del modelo lineal de Bío-Bío y Araucanía .....	91

## Índice Gráficos

Gráfico 1: Precipitaciones Anuales Acumuladas de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012].....	21
Gráfico 2: Box Plot de Precipitaciones Mensuales, Región del Maule [1980-2012].....	22
Gráfico 3: Box Plot de Precipitaciones Mensuales, Región del Bío-Bío [1980-2012] .....	23
Gráfico 4: Box Plot de Precipitaciones Mensuales, Región de la Araucanía [1980-2012]..	24
Gráfico 5: Temperatura Máximas Anuales de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012] .....	26
Gráfico 6: Temperaturas Medias Anuales de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012] .....	27
Gráfico 7: Temperaturas Mínimas Anuales de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012] .....	28
Gráfico 8: Box Plot de Temperaturas Medias Máximas y Medias Mínimas Mensuales, Región del Maule [1980-2012].....	29
Gráfico 9: Box Plot de Temperaturas Medias Mensuales, Región del Maule [1980-2012]	30
Gráfico 10: Box Plot de Temperaturas Medias Máximas y Medias Mínimas Mensuales, Región del Bío-Bío [1980-2012].....	30
Gráfico 11: Box Plot de Temperaturas Medias Mensuales, Región del Bío-Bío [1980-2012] .....	31
Gráfico 12: Box Plot de Temperaturas Medias Máximas y Medias Mínimas Mensuales, Región de la Araucanía [1980-2012] .....	32
Gráfico 13: Box Plot de Temperaturas Medias Mensuales, Región de la Araucanía [1980-2012].....	33
Gráfico 14: Rendimientos del Maíz de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012].....	40
Gráfico 15: Evolución del Rendimiento del Maíz en Maule[1980-2012].....	41
Gráfico 16: Variabilidad Anual en Rendimientos de Maíz en Maule [1980-2012] .....	41
Gráfico 17: Evolución del Rendimiento de Maíz en Bío-Bío [1980-2012] .....	42
Gráfico 18: Variabilidad Anual en Rendimientos del Maíz en Bío-Bío [1980-2012] .....	42
Gráfico 19: Evolución del Rendimiento de Maíz en Araucanía [1980-2012].....	43
Gráfico 20: Variabilidad Anual en Rendimientos del Maíz en Araucanía [1980-2012].....	43

Gráfico 21: Rendimientos del Trigo de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012] .....	49
Gráfico 22: Evolución Rendimiento del Trigo en Maule [1980-2012] .....	50
Gráfico 23: Variabilidad Anual en Rendimientos de Trigo en Maule [1980-2012] .....	50
Gráfico 24: Evolución del Rendimiento de Trigo en Bío-Bío [1980-2012].....	51
Gráfico 25: Variabilidad Anual en Rendimientos del Trigo en Bío-Bío [1980-2012].....	51
Gráfico 26: Evolución del Rendimiento de Trigo en Araucanía [1980-2012] .....	52
Gráfico 27: Variabilidad Anual en Rendimientos del Trigo en Araucanía [1980-2012] .....	52
Gráfico 28: Rendimiento del Maíz y Variables Climáticas, Región del Maule .....	67
Gráfico 29: Rendimiento del Maíz y Variables Climáticas, Región del Bío-Bío .....	67
Gráfico 30: Rendimiento del Trigo y Variables Climáticas, Región del Maule .....	71
Gráfico 31: Rendimiento del Trigo y Variables Climáticas, Región del Bío-Bío.....	72
Gráfico 32: Rendimiento del Trigo y Variables Climáticas, Región de la Araucanía .....	72

## Índice Tablas

Tabla 1: Estadísticos de las Variables Climáticas .....	34
Tabla 2: Modelos SARIMA para las variables climáticas .....	35
Tabla 3: Estadísticos de Rendimiento del Maíz .....	46
Tabla 4: Estadísticos de Rendimiento del Trigo.....	53
Tabla 5: Modelos ARIMA para el rendimiento del Maíz y Trigo .....	54
Tabla 6: Resumen de aspectos climáticos que afectan al rendimiento del Maíz.....	58
Tabla 7: Resumen de aspectos climáticos que afectan al rendimiento del trigo .....	62
Tabla 8: Resultados de la estimación de los efectos del cambio climático en el rendimiento del Maíz en las regiones del Maule y Bío-Bío .....	64
Tabla 9: Diagnóstico del Modelo de Efecto Fijo del Maíz.....	65
Tabla 10: Modelo Just&Pope .....	66
Tabla 11: Resultados de la estimación de los efectos del cambio climático en el rendimiento del Trigo en las regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía .....	68
Tabla 12: Diagnóstico de los Modelos del Trigo .....	70



---

# **CAPÍTULO I**

## **“INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO”**

---

---

## INTRODUCCIÓN

---

### 1.1 Problema

Si bien hemos observado como la tecnología nos ha impulsado hacia un mundo más eficiente, sobre todo en el ámbito de la agricultura en cuanto a los rendimientos de los cultivos, no podemos hacer caso omiso a que de igual manera en el pasado, presente y futuro hemos y dependeremos del clima y de sus factores, tales como la luz, el agua y la temperatura, los cuales son elementos fundamentales para el desarrollo y producción de los cultivos.

Es por ello que en la actualidad el problema que nos convoca está enfocado en el efecto de la variabilidad climática, observando ciertos cambios especialmente en factores como temperatura y precipitaciones. Es así como según el informe “Cambio climático 2007” realizado por el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC) se habla de que “El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar”, es más, según estudios realizados por la Sociedad Meteorológica Americana (AMS), con datos recogidos tanto en tierra, mar, hielo y cielo, el 2012 fue uno de los 10 años más cálidos de la historia mundial. (NOAA, 2013)

Estos cambios en los patrones climáticos, es uno de los fenómenos mundiales más preocupantes, con consecuencias que van en crecimiento, y en donde se ha observado un aumento de la temperatura terrestre de  $0,13^{\circ}\text{C}$  en los últimos 50 años, lo que genera un derretimiento acelerado, aumentando el nivel del mar, provocando daños sobre todo en las zonas costeras de la tierra, agregando además acontecimientos que ya vivimos producto del mismo cambio climático tales como: inundaciones, sequías, lluvias torrenciales y olas de calor, sumando además datos que se manejan sobre el monzón y la placa india en donde existen sospechas de que las placas tectónicas han acelerado su movimiento en un 20%, los últimos 10 millones de años, haciendo más frecuente eventos como terremotos, erupciones de volcanes, tornados y huracanes entre otros.

## **1.2 Justificación**

Todo lo comentado afecta al rendimiento y distribución de las cosechas, dependiendo también del tipo de cultivo y zona sobre la cual se investigue, lo que en nuestro caso se refleja en un estudio de la zona centro-sur del país específicamente la séptima, octava y novena región, concentrándonos en cereales, como el maíz y el trigo, especies cultivadas con mayor superficie, tanto en Chile como en el mundo, además de ser importantes alimentos, tanto para el ser humano como para los animales.

En Chile estos cereales son representantes de la agricultura tradicional, principalmente en las regiones del estudio. De tal manera, que cualquier efecto del cambio climático o la variabilidad climática en sus rendimientos provocará cambios en las condiciones económicas de los agricultores tradicionales y de sus comunidades. Este estudio es un primer paso para explicar y cuantificar los efectos climáticos en los rendimientos de maíz y trigo, lo que permitirá generar una base para un posterior análisis acerca de posibles medidas de adaptación.

## **1.3 Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar el efecto de la variabilidad climática en la media y en la varianza de los rendimientos de los cultivos del maíz y trigo.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar las principales variables climáticas que afectan el rendimiento del maíz y del trigo.
- Modelar las principales variables climáticas que afectan el rendimiento del maíz y del trigo.
- Analizar el rendimiento del maíz y el trigo de las regiones séptima, octava y novena.
- Modelar el rendimiento del maíz y el trigo de las regiones séptima, octava y novena.
- Estimar el efecto del cambio de las variables climáticas claves en el rendimiento de los cultivos de maíz y trigo.

---

## MARCO TEÓRICO

---

### 1.4 Cambio climático

Para determinar el efecto de la variabilidad climática en el rendimiento de los cultivos, en primer lugar es necesario tener claridad sobre algunos conceptos claves, por ejemplo qué es el clima, variabilidad climática y cambio climático. De acuerdo al IPCC (2001) el clima es la descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes, tales como temperatura, precipitaciones o viento, durante períodos que pueden ser de meses a miles o millones de años pero que, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el período normal de medición es de 30 años.

La variabilidad climática se refiere a las variaciones en el estado medio, las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. Por otra parte, el cambio climático, de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), se define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial (IPCC, 2001).

Investigaciones del IPCC evidencian que el clima sí está cambiando, lo que se ve reflejado en el aumento del promedio mundial de la temperatura del aire y océano, en el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar (IPCC, 2007). Estos cambios afectan de distintas formas e intensidad a sistemas humanos como la energía, industria, la salud humana, la ganadería, la silvicultura y la agricultura. Sin embargo, éstos también aportan grandes porcentajes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En el caso de la agricultura, la ganadería y el cambio del uso del suelo generan casi un 30% de estas emisiones a nivel mundial (Ministerio del Medio Ambiente, 2008).

## **1.5 Cambio climático en la Agricultura**

En la presente investigación nos enfocaremos en el efecto de la variabilidad climática en la agricultura, que tiene una especial sensibilidad frente estos cambios, tanto en lo económico como en lo social, además de ser un factor relevante de la economía mundial y nacional, así como para la sobrevivencia humana.

El clima y sus variaciones constituyen uno de los determinantes más importantes del comportamiento de la producción agrícola y de alimentos (CEPAL, 2010), ya que estos cambios afectan el crecimiento y desarrollo de plantas y cultivos, determinando además el tipo e intensidad de éstos.

De acuerdo al cuarto reporte del IPCC (2007), en un escenario en que los días y las noches serán más cálidos y con fríos menos frecuentes, es prácticamente seguro que las cosechas serán mejores en entornos más fríos; peores, en entornos más cálidos y con plagas de insectos más frecuentes. En un escenario en que las olas de calor ocurran con más frecuencia es muy probable que, por el estrés térmico, se empobrezcan las cosechas en las regiones más cálidas y aumente el peligro de incendios incontrolables. Además, en un escenario donde aumenten los episodios de precipitaciones intensas, es altamente probable que se dañen muchos cultivos, aumente la erosión del suelo y que por anegación las tierras queden inhabilitadas para el cultivo.

En el caso de Chile los riesgos del cambio climático en el sector agrícola son principalmente el aumento de poblaciones de insectos y agentes patógenos; reducción de agua en glaciares y reservorios; el desplazamiento y cambios de uso del suelo; clima más variable; y menores tasas de crecimiento y productividad ( Santibáñez Q., s.f).

## **1.6 Cereales Tradicionales en Chile**

### **1.6.1 Maíz**

El maíz cuyo nombre científico es *Zea Mays* L. es uno de los cereales más cultivados en el mundo y se utiliza para alimentación humana como también animal, la cual va desde aves hasta vacunos.

Del maíz también se procesan una multitud de productos del tipo alimenticio e industrial, tales como el almidón, edulcorantes, aceite de maíz, bebidas y alcohol industrial, además del etanol combustible.

Esta planta, perteneciente a la familia de las gramíneas varía en su tamaño, encontrando plantas que pueden ir desde medio a cuatro metros de alto. Una larga vaina es formada por sus hojas que se arrollan al tallo, de éste nacen dos o tres mazorcas. En cada mazorca se logra diferenciar filas de granos, cuyo número puede variar de ocho a treinta y en donde a cada uno de éstos le corresponde un largo hilo sedoso que sobresale por el extremo de la mazorca.

En cuanto a su producción a nivel mundial, de acuerdo al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), se estima que para el periodo comprendido entre el 2013 y 2014, la producción será de 957,14 millones de toneladas, cifra superior a lo cosechado durante periodo 2012 a 2013. Los principales países productores son: Estados Unidos con 349,59 millones de toneladas, seguido por China con 211,00 millones de toneladas, para continuar con Brasil con 72,0 millones de toneladas (AgroPanorama.com, 2013).

En Chile, según indica el Censo Agropecuario y Forestal del año 2007 realizado por el INE el cultivo del maíz contaba con una superficie aproximada de más de 134 mil hectáreas.

Por otro lado en el país existen diversos tipos de suelos, en donde los ideales para la siembra del maíz son aquellos que poseen características de buen drenaje y buena profundidad, en general debiesen ser terrenos que no tuviesen problemas de agua, ya que este tipo de cultivo es muy exigente en cuanto al recurso hídrico mencionado.

En el área de estudio, las estadísticas proporcionadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), indican que para el año 2012/13 la superficie regional sembrada anual es de 49.472, 19.909 y 255 hectáreas, correspondiente a las VII, VIII y IX regiones respectivamente, lo que da un total de 69.636 hectáreas constituyendo casi el 50% del total a nivel país.

### 1.6.2 Trigo

El *Triticum* spp, nombre científico del trigo, también constituye parte importante de los cereales plantados a nivel mundial. Este cereal ha sido cultivado desde tiempos prehistóricos, utilizándose principalmente para la elaboración del pan, uno de los alimentos de mayor consumo masivo en el mundo y especialmente en Chile.

La palabra trigo se destina tanto para la planta como para sus semillas, como ocurre con el nombre de otros cereales. Generalmente se muele como harina, siendo un gran porcentaje de la producción total destinada al consumo humano y con la cual se elabora pan, tortas, galletas y pastas. En porcentajes menores se utiliza para la alimentación animal y para la industria, utilizándose como simiente, o bien para la preparación de aditivos para la cerveza y también como sucedáneo del café.

Al igual que el maíz, el trigo pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta anual herbácea, en donde el tamaño de esta planta en promedio puede alcanzar 1,2 metros de altura. Posee tallos erguidos con hojas que brotan de manera rápida, las cuales van seguidas por tallos gráciles, cuya terminación es en espigas de grano y de las cuales sobresale una barba que le da un aspecto plumoso a la espiga de trigo.

La producción mundial de trigo para el año 2013/14 se proyectó según el USDA en 705,37 millones de toneladas. Los países y conjunto de países destacados en cuanto a la producción de este cereal son: La Unión Europea con 141,37 millones de toneladas, China con 121 millones de toneladas e India con 92,46 millones de toneladas. (AgroPanorama.com, 2013)

En Chile el mercado del trigo tiene gran relevancia en la economía agrícola, tanto por el tamaño relativo que éste tiene dentro de las actividades productivas del sector, como por el hecho de que existe un número importante de agricultores de diferente tamaño que desarrolla este cultivo. Adicionalmente, aunque la producción triguera se concentra fuertemente en las regiones del sur (especialmente entre la VIII y IX), su presencia en casi todas las zonas consideradas como productoras le hacen ser una de las actividades agrícolas más extendidas dentro del país (Cotrisa). Finalmente según ODEPA la superficie sembrada de las regiones del área de estudio para el año 2012/13 alcanza 204.873 hectáreas lo que representa un 78% del total país.

---

## METODOLOGÍA

---

Para determinar la estimación de los efectos de la variabilidad climática en el rendimiento de los cultivos del maíz y trigo en las regiones del Maule, del Bío-Bío y la Araucanía se desarrolla una investigación cuantitativa, que se realiza con datos secundarios obtenidos de fuentes especializadas que permiten la generación de nueva información a través del programa estadístico R.

En primer lugar se realiza un análisis descriptivo de las series temporales climáticas de las áreas de investigación, con datos obtenidos desde La Dirección Meteorológica de Chile perteneciente a la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) y del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Quilamapu, tal como temperatura medias, mínimas, máximas y precipitaciones mensuales, para posteriormente estimar modelos ARIMA para cada una de las series.

Las estaciones seleccionadas son Curicó General Freire, para la región del Maule; Chillán Bernardo O'Higgins, para la región de Bío-Bío; y Temuco Maquehue, para la Araucanía. La selección de éstas se basó en la cantidad y calidad de los datos climatológicos disponibles por cada Región, siendo las tres estaciones seleccionadas las más completas respecto a las temperaturas y precipitaciones para los años 1980 hasta el 2012, ambos inclusive.

En segundo lugar, se realiza un análisis estadístico descriptivo de los rendimientos de los cultivos con datos oficiales de maíz y trigo de las séptima, octava y novena regiones, obtenidas desde la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Posteriormente un análisis de las series mediante un modelaje de tipo ARIMA. Es importante destacar que para efecto de tratamiento de los datos se consideró el año de la cosecha y no el año agrícola completo que incluye el ciclo siembra/cosecha. Además para el periodo 1994/1995 no se realizó el censo agrícola, por lo que se procedió a estimar los rendimientos de ese año en base a los rendimientos anteriores.

Como un primer paso para la estimación de modelos de regresión de rendimiento de cultivos, se realizaron a cada una de las series climáticas y de rendimiento test de raíz



unitaria a tales como, Augmented Dickey-Fuller test, Phillips-Perron test y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test, con el objeto de determinar la estacionariedad de las series, ya que de no cumplir con este requisito no se puede llevar a cabalidad los posteriores análisis.

Finalmente y después de verificar la estacionariedad de las series, se estima un modelo de función de producción estocástica de tipo Just and Pope (1978) para determinar el efecto de la variabilidad climática en la media y en la varianza de los rendimientos de trigo y maíz. Este método ha sido utilizado en estudios relacionados al cambio climático en la agricultura tales como (Chen et al, 2004), (Sarker et al, 2012), (Cabas et al, 2010), ya que aísla los impactos del cambio en una variable climática en rendimiento esperado y varianza del rendimiento. La forma general de la función de producción Just and Pope es la siguiente:

$$y = f(X, \beta) + \mu = f(X, \beta) + h(X, \alpha)^{0.5} \varepsilon$$

Donde  $y$  es la producción o rendimiento del cultivo,  $X$  es un vector de variables explicativas,  $f(\cdot)$  es la función de producción promedio (o componente determinística de la función de producción) relacionando  $X$  al rendimiento promedio con  $\beta$  como el vector asociado de parámetros estimados,  $\mu$  es la perturbación heteroscedástica con media cero;  $h(X, \alpha)$  es la función varianza (o componente estocástico de la producción) que relaciona  $X$  a la desviación estándar del rendimiento con  $\alpha$  como el vector correspondiente de parámetros estimados, y  $\varepsilon$  es un error aleatorio con media cero y varianza  $\sigma^2$ . Con esta formulación, los factores como el clima pueden afectar independientemente el rendimiento promedio  $E(y) = f(X, \beta)$  y la varianza del rendimiento  $(\text{Var}(y) = \text{Var}(\mu) = h(X, \alpha)\sigma^2)$ .

El proceso de estimación del tipo Just and Pope se modelará a través de la metodología de datos de panel, con 33 años de datos. Este modelo puede ser realizado desde dos aproximaciones. La primera considera la utilización de la metodología de máxima verosimilitud. La segunda aproximación utiliza mínimos cuadrados ordinarios, mediante un proceso de 3 pasos. Es este último método que utilizaremos en la presente investigación debido a que nuestros datos se adaptan de mejor forma a sus requerimientos.

---

# **CAPÍTULO II**

## **“VARIABLES CLIMÁTICAS”**

---

---

## VARIABLES CLIMÁTICAS

---

La geografía que caracteriza a Chile permite observar diferentes microclimas, con claras diferencias significativas en cuanto a los valores y la distribución de las temperaturas y precipitaciones.

Se estima que los principales efectos del clima en los cultivos provienen directamente de las variaciones tanto de las temperaturas como de las precipitaciones, produciendo alteraciones fisiológicas, deficiencias hídricas y cambios en la duración de los ciclos de los cultivos, entre otros. Algunos efectos indirectos de los cambios esperados se producirían en las poblaciones de parásitos, plagas y enfermedades (migración, concentraciones, flujos poblacionales, incidencias, etc.) disponibilidad de nutrientes en el suelo y planificación agrícola (fechas de siembra, laboreo, mercadeo, etc.) (Porter et al 1991, Watson et al 1997, citados por Villalobos y Retana 2005)

A continuación se describirán brevemente las variables climáticas utilizadas en el estudio para continuar con un análisis comparativo de las mismas dentro del área de investigación en los 33 años de estudio, comprendido entre 1980 y 2012. Posteriormente se realiza un análisis estadístico de las series mediante modelaje de tipo SARIMA.

---

## PRECIPITACIÓN

---

La precipitación es producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad.

La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve, granizo o virga, ésta última es la precipitación que comienza a caer desde una nube, pero que se evapora antes de alcanzar el suelo.

Este componente de la naturaleza es el principal participante del ciclo hidrológico, de esta manera gracias a la precipitación se deposita la mayor parte de agua dulce sobre el planeta. (CicloHidrológico.com). Asimismo, las precipitaciones corresponden a uno de los elementos climáticos que de manera más directa influye en la configuración del medio natural, siendo la principal aportación de agua a una cuenca, donde su distribución, tanto temporal como espacial, condiciona los ciclos productivos, por lo que es un elemento vital para el asentamiento de poblaciones humanas, que basan su quehacer productivo en ellas (Fernández citado por Pizarro et al, 1995).

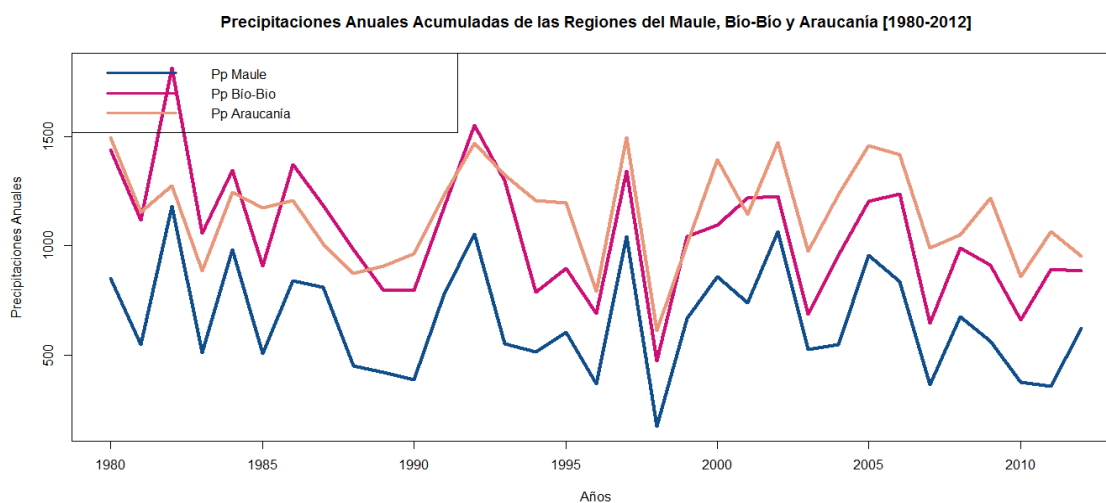
Ahora bien, los ejes de mayor interés para el análisis de esta variable climática son la distribución de las lluvias y sus cantidades, ya que el comportamiento durante los últimos años puede explicar de mejor manera el cambio climático atribuido a las precipitaciones.

A continuación compararemos el comportamiento anual de las precipitaciones en las regiones de análisis y posteriormente expondremos más en profundidad el comportamiento mensual de éstas en cada región desde el año 1980 a 2012.

## 2.1 Precipitaciones Anuales Acumuladas

Las precipitaciones acumuladas por año a lo largo del periodo de análisis muestran una tendencia a la baja y con grandes variaciones. En la región del Maule a comienzos del periodo las precipitaciones promediaban 710 mm de agua acumulada, para a fines del periodo bordear los 653 mm. Por su parte, en el Bío-Bío también han disminuido las precipitaciones anuales, puesto que en la década del 80 las precipitaciones acumuladas promediaban los 1.200 mm, mientras que en los últimos años llega a los 970 mm en promedio. Esta región superaba en la cantidad de aguas lluvias caídas al inicio del periodo de estudio a la región de la Araucanía, sin embargo a fines del periodo la situación cambió. La novena región ha aumentado levemente la cantidad de precipitaciones anuales, puesto que partió con 1.123 mm para finalizar el periodo con 1.173 mm en promedio.

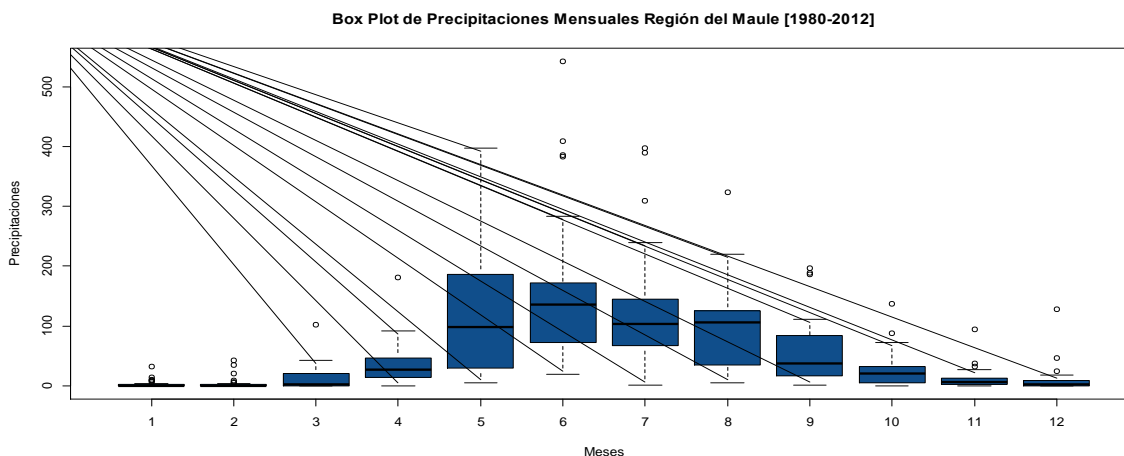
**Gráfico 1: Precipitaciones Anuales Acumuladas de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012]**



Los años con menor cantidad de lluvias acumuladas en las tres regiones es 1990, 1996, 1998, 2007 y 2010-2011, coincidentes con años de sequías a nivel nacional, que en algunos casos se debió declarar zona de emergencia agrícola en las áreas de estudio por déficit pluviométrico.

## 2.2 Precipitaciones Mensuales de la Región del Maule

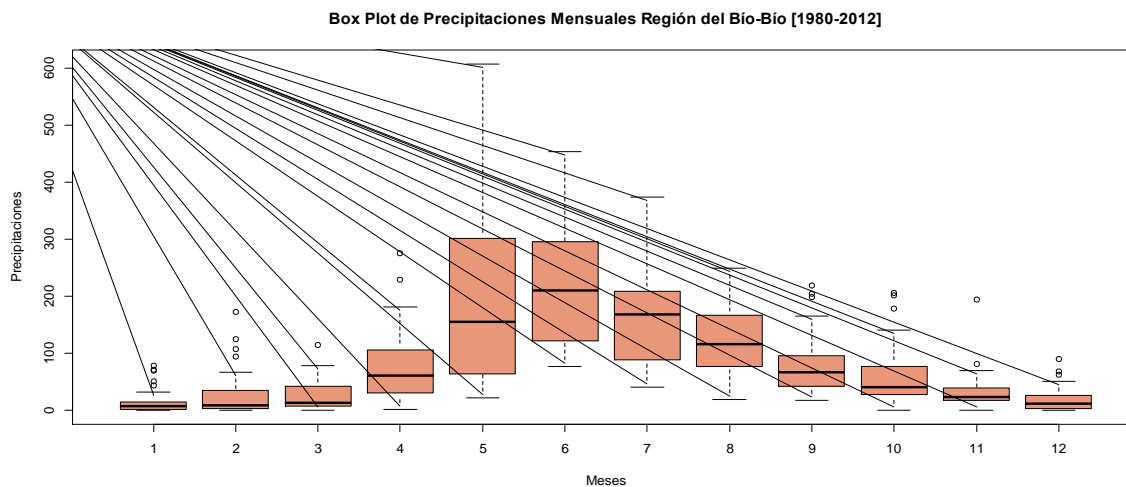
**Gráfico 2: Box Plot de Precipitaciones Mensuales, Región del Maule [1980-2012]**



En la séptima región podemos apreciar que las mayores precipitaciones fluctúan marcadamente entre el otoño e invierno, con los mayores valores de las medianas para junio. En los meses de mayo y junio se presenta la mayor dispersión de estas precipitaciones, con outliers que alcanzan valores sobre los 500 mm en junio. En enero y febrero como espera se presentan los valores más bajos y las menores dispersiones de datos. Posee una media de 54,1mm y una desviación estándar de 80mm, lo que indica una gran variabilidad de la serie. En esta región, durante los últimos 33 años ha sumado en precipitaciones un total de 21745,3 mm.

### 2.3 Precipitaciones Mensuales de la Región del Bío-Bío

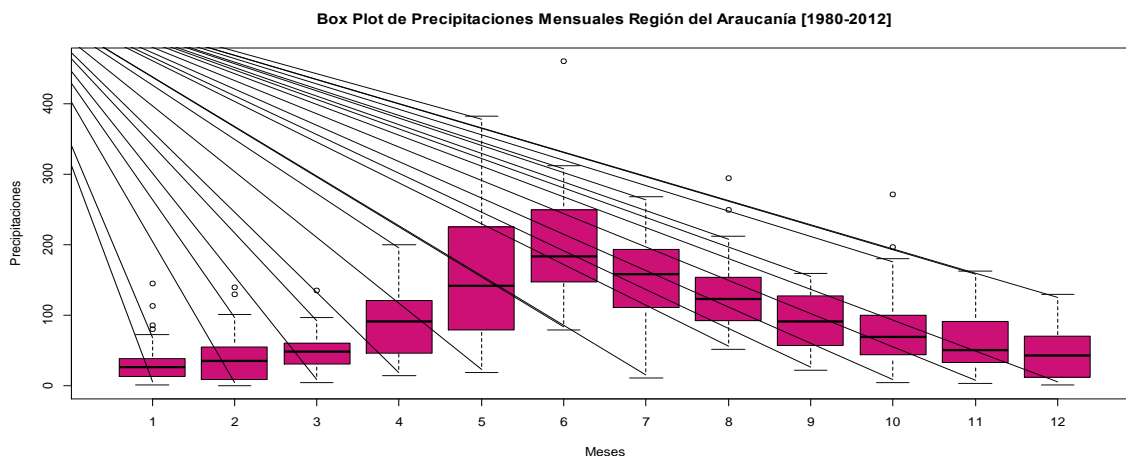
**Gráfico 3: Box Plot de Precipitaciones Mensuales, Región del Bío-Bío [1980-2012]**



Aquí la menor dispersión se adelanta en relación a la región anterior, observándose desde el mes de noviembre a enero. Por otro lado la mayor dispersión se mantiene en el mes de mayo y junio. La mayor mediana al igual que en Maule se encuentra nuevamente en junio, pero es interesante observar que el mes de agosto obtiene el cuarto mayor valor de mediana en comparación con el segundo lugar que alcanza en Maule. La media es de 87,63 mm y la desviación estándar es de 100,21 mm ambas mediciones muy superiores en comparación con Maule. Las precipitaciones totales en la octava región durante los últimos 33 años alcanzan los 34703,4mm.

## 2.4 Precipitaciones Mensuales de la Región de la Araucanía

**Gráfico 4: Box Plot de Precipitaciones Mensuales, Región de la Araucanía [1980-2012]**



En Araucanía sigue la predominancia de mayo como el mes más disperso a lo largo de los últimos 33 años de precipitaciones, se observa además que el mes con menos precipitaciones es enero, que también posee gran cantidad de outliers. Las mayores precipitaciones se presentan en junio y nuevamente agosto alcanza el cuarto lugar tal como en Bío-Bío.

Los datos de precipitaciones de la novena región presentan una media de 95,4mm y una desviación estándar de 76,93mm, la menor de las 3 regiones en estudio. Finalmente la región posee una precipitación total de los 33 años de 37779,6mm, la mayor cantidad del área de estudio.



---

## TEMPERATURA

---

La temperatura mide el calentamiento o enfriamiento del aire producto del intercambio de calor entre la tierra y la atmósfera. La temperatura depende del grado de agitación de las partículas del aire, es decir, en cuanto más agitación, más temperatura. Además, ésta varía de acuerdo a diferentes factores, tales como la radiación que llega del sol; las variaciones diurnas y estacionales provocadas por rotación y traslación de la tierra; las capacidades de absorción y emisión de la radiación de los distintos tipos de superficie; y de la latitud y altitud del territorio, a mayor latitud y altitud menor temperatura.

Para la medición de la temperatura se utiliza comúnmente tres escalas. Las más usuales son las escalas de Celsius y de Fahrenheit, mientras que la escala de Kelvin es principalmente usada en experimentos científicos.

Medir la temperatura de un territorio es muy importante, ya que permite elaborar índices de referencia de aplicación en modelos fenológicos de cultivos (INIA, s.f.). Ésta se mide día a día y se registra de acuerdo a la temperatura máxima, mínima y media diarias, que permiten a su vez obtener las medias, la media de todas las máximas, la media de todas las mínimas para un periodo determinado, ya sean un mes, años, décadas, entre otros.

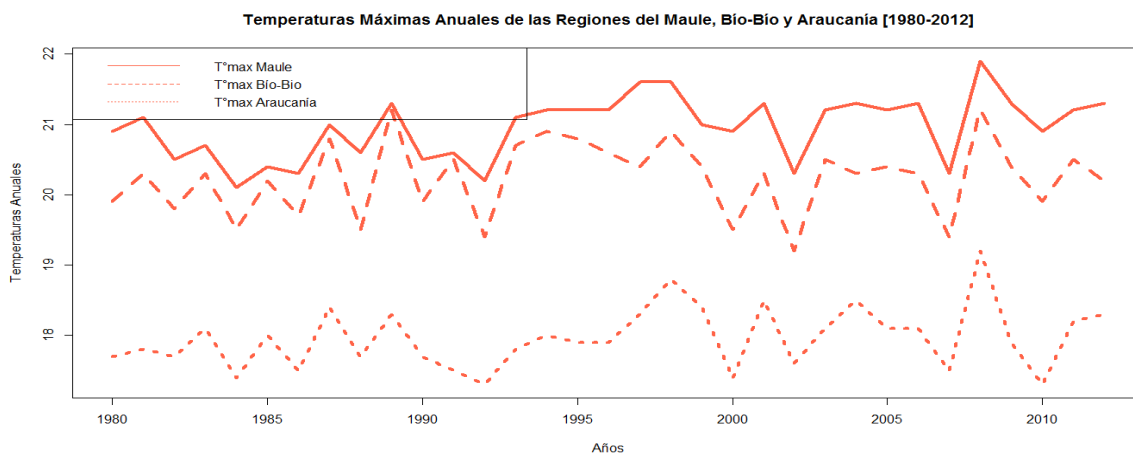
Para este estudio analizaremos durante un periodo de 33 años para las regiones de Maule, Bío-Bío y Araucanía las temperaturas medias máximas, que son el promedio de todas temperaturas máximas ocurridas durante un mes. Otra variable incluida son las temperaturas medias, que es el promedio de todas las temperaturas percibidas durante un mes. Y las temperaturas medias mínimas, que es el promedio de las temperaturas más bajas alcanzadas en un mes. Cabe destacar que el estudio no analiza las temperaturas extremas como heladas que es definida como toda condición energética del medio ambiente que alcanza valores suficientemente bajos, que provocan alteraciones en el metabolismo vegetal, resultando daños fisiológicos en las plantas (Ometto, 1981)

En primer lugar compararemos el comportamiento anual de las tres variables en las regiones de análisis y posteriormente expondremos más en profundidad el comportamiento mensual de las temperaturas en cada región.

## 2.5 Temperaturas Máximas Anuales

Tal como podemos apreciar en el gráfico de a continuación, comparando las temperaturas medias máximas anuales de las tres regiones, y de acuerdo a la geografía de nuestro país, las temperaturas del región del Maule son superiores a las del Bío-Bío y Araucanía. En la primera, las temperaturas máximas anuales promedian los 21°C mostrando una tendencia al alza, salvo en los años 2002 y 2007 donde las temperaturas llegaron a los 20,3°C, explicado por fríos inviernos que bordean los 10°C en promedio como máximas. En el 2008 fue el año con temperaturas máximas más altas con 22°C en promedio anual, pues las temperaturas de enero, febrero y diciembre fueron las más elevadas en el periodo de estudio.

**Gráfico 5: Temperatura Máximas Anuales de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012]**



En el Bío-Bío, las temperaturas máximas anuales en promedio alcanzan los 20°C. Los años 1992, 2002 y 2007 fueron los con menores temperaturas máximas y el 2008 el año con mayor temperatura anual, puesto que en los primeros, que al igual que el Maule, las temperaturas de los meses de Junio y Julio bordearon los 10°C disminuyendo las temperaturas de esos años, mientras que en el 2008 los meses de verano fueron los más cálidos. No se aprecia una marcada tendencia al alza, sin embargo sí hay una mayor variabilidad en las temperaturas. Además podemos observar que las últimas dos décadas las diferencias de las temperaturas entre las VI y VII regiones son mayores que en los primeros años de estudio.

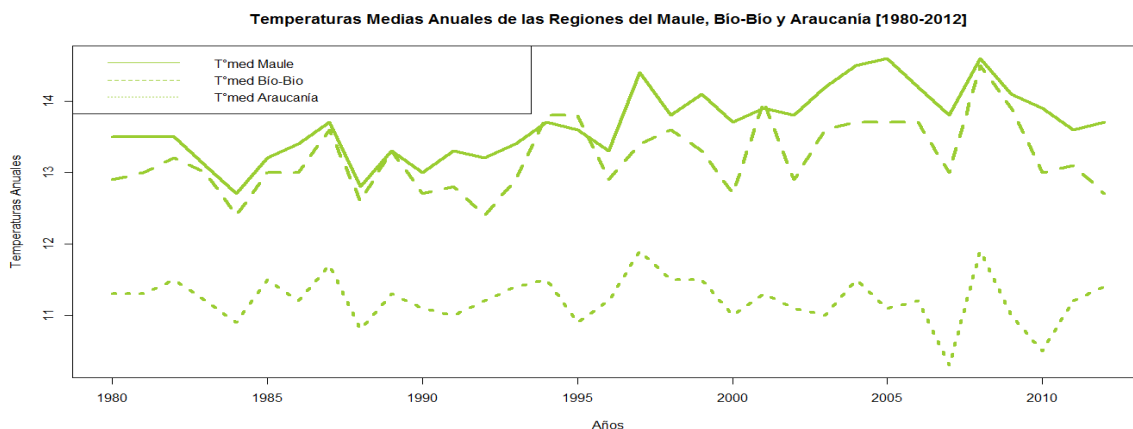
En la Araucanía, las temperaturas máximas durante el periodo estudiado promedian los 18°C, a inicios de éste no hay mayor variabilidad en las temperaturas, sin embargo, a finales del periodo ésta aumenta, en años como 2007, 2008 y 2009 muestra altas variaciones con temperaturas de 17,5, 19,2 y 17,9, respectivamente. Al ser la región más al sur del área de investigación las diferencias entre las dos primeras regiones es mayor.

## 2.6 Temperaturas Medias Anuales

Respecto a las temperaturas medias anuales de la región del Maule, en los primeros años bordeaba los 13°C, sin embargo, desde el 2000 ésta ha aumentado en 1°C promedio. En los años 2005 y 2008 se presentan las temperaturas más altas con 14,6°C promedio anual, mientras que el año 1984 fue el más frío dentro del total del periodo en la región.

En el Bío-Bío, las temperaturas medias anuales bordean los 13°C, aumentando hasta un promedio de 13,6°C en el último periodo. En algunos años las temperaturas medias de esta región superaron las del Maule, por ejemplo en 1994,1995, 2001 y en el 2008 la diferencia fue de 0,1°C. Se observa una gran variabilidad entre temperaturas medias, en especial en los últimos años de estudio.

**Gráfico 6: Temperaturas Medias Anuales de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012]**



En la Araucanía, las temperaturas medias promedian los 11°C, sin mayor crecimiento durante el periodo de análisis, pero con mayor variabilidad a finales de éste. La

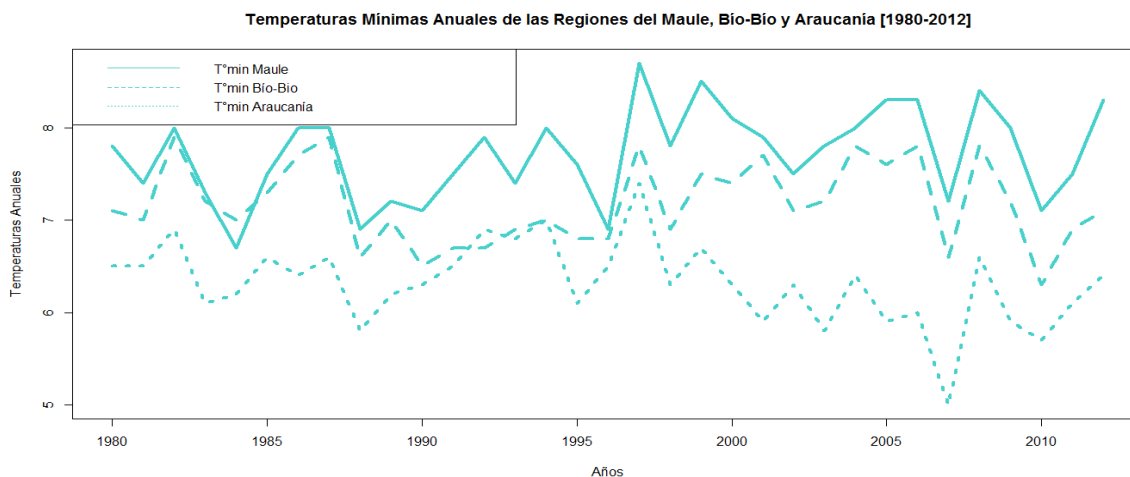
temperatura media más baja se presenta en el año 2007 con 10,3°C y la más alta al año siguiente, con 11,9°C. Después de esa alza vuelve a bajar en el 2010 hasta 10,5°C.

## 2.7 Temperaturas Mínimas Anuales

Las temperaturas mínimas en la región del Maule han crecido de 7,5°C promedio a inicios del periodo a 8°C a fines de éste y presentan una gran variabilidad. Las temperaturas más bajas se dieron en los años 1984 y 1996, y en sus respectivos años siguientes, éstas aumentaron considerablemente, desde el año 96 al 97 hubo un aumento de 25% en la temperatura mínima anual explicado por una menor cantidad de heladas en los meses de invierno.

Las temperaturas de Maule y Bío-Bío, comienzan bastante similares, sin embargo, a medida que avanza el tiempo las primeras suben mientras las otras se mantienen en un promedio de 7 y 7,3°C. La temperatura mínima más baja se presenta a finales de periodo en el 2010 con 6,3°C y la máxima de las mínimas se da en 1987 con 7,9°C.

**Gráfico 7: Temperaturas Mínimas Anuales de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012]**

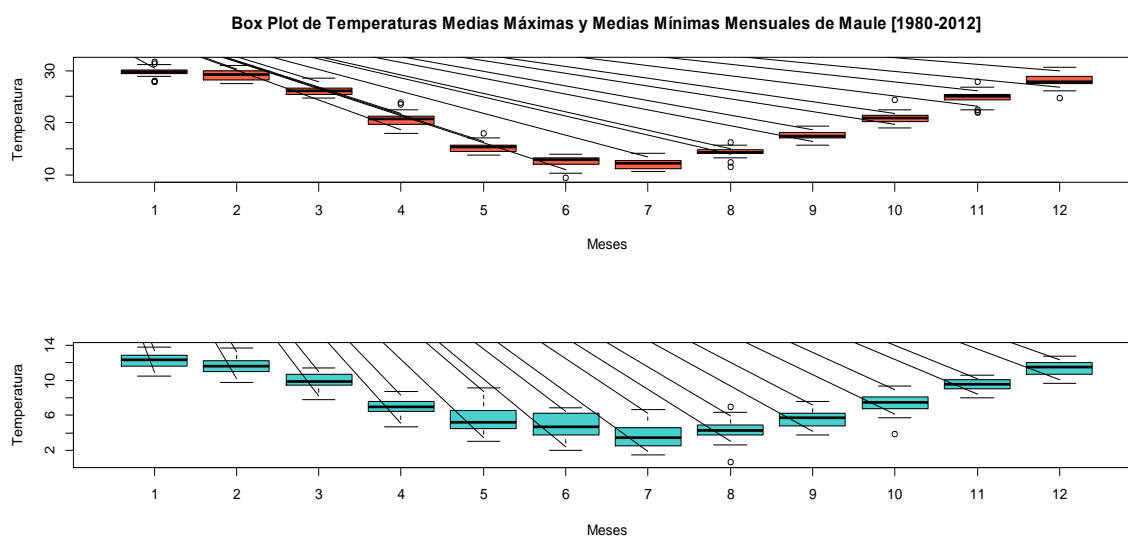


En la Araucanía se aprecia una tendencia a la baja de las temperaturas mínimas, puesto que a comienzos del periodo de análisis ésta bordeaba los 6,4°C y a finales de éste llega a los 6°C. La temperatura más baja se da en el 2007 con 5°C puesto que agosto el

promedio de las mínimas fue de  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . Mientras que la temperatura más alta de las mínimas fue de  $7,4^{\circ}\text{C}$  en 1997.

## 2.8 Temperaturas mensuales Región del Maule

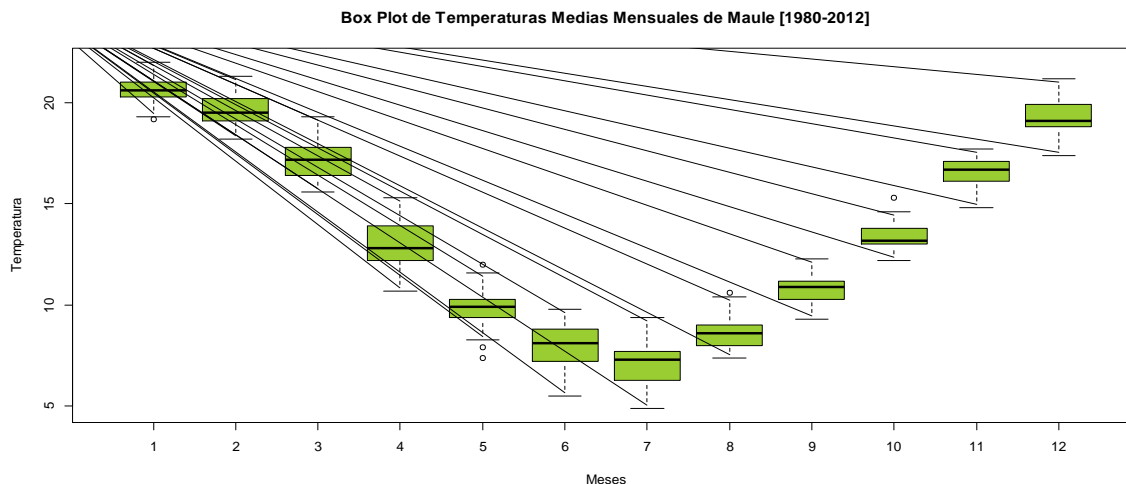
**Gráfico 8: Box Plot de Temperaturas Medias Máximas y Medias Mínimas Mensuales, Región del Maule [1980-2012]**



Al observar las temperaturas medias máximas podemos ver que en cuanto al tamaño de las cajas Febrero y Julio presentan mayor dispersión de sus datos, a diferencia de Enero y Agosto que son más concentrados explicando mayormente el 95% de los datos los que se encuentran entre ambos whiskers (bigotes), los datos que se encuentran fuera de estos extremos, llamados outliers se observan sobre todo en los meses de Enero y Noviembre los que caen muy por fuera del patrón general de los datos. Cabe mencionar que la media alcanza los  $20,95$  durante los 33 años de estudio, con una desviación estándar de  $6,35^{\circ}\text{C}$ .

En cambio en las temperaturas medias mínimas, las mayores dispersiones se observan entre los meses de Mayo a Junio, mientras que el resto de los meses presenta una dispersión similar entre ellos. Los tres outliers se concentran en los meses de Agosto y Octubre. Su media alcanza los  $7,7^{\circ}\text{C}$  y presenta una desviación estándar menor a la temperatura media máxima de  $3,14^{\circ}\text{C}$ .

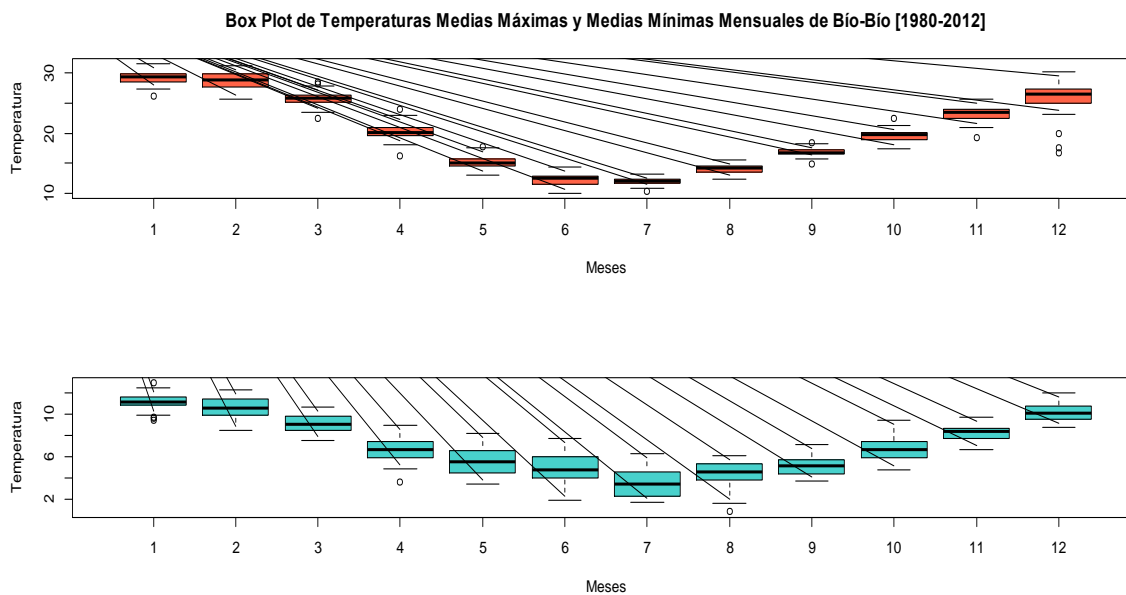
**Gráfico 9: Box Plot de Temperaturas Medias Mensuales, Región del Maule [1980-2012]**



Los meses de Abril, Junio y Julio al verse representados por mayores cajas indican que sus datos son más dispersos, mientras que los meses más concentrados son Mayo y Septiembre. Así como también es Mayo nuevamente el que presenta la mayor cantidad de outliers. La media es de 13,66 y la desviación estándar es de 4,72°C.

## 2.9 Temperaturas mensuales Región del Bío-Bío

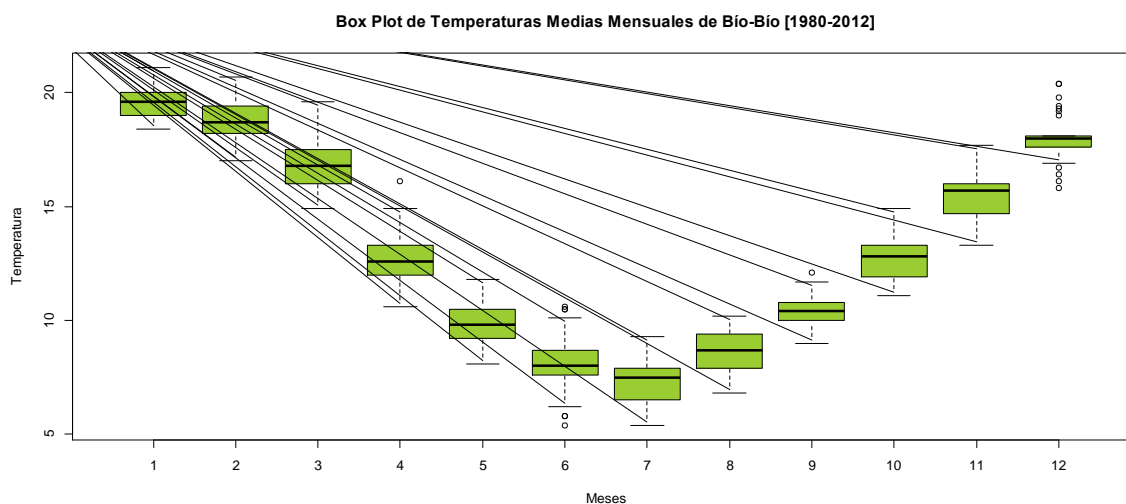
**Gráfico 10: Box Plot de Temperaturas Medias Máximas y Medias Mínimas Mensuales, Región del Bío-Bío [1980-2012]**



Al observar las temperaturas medias máximas podemos ver que la mayor cantidad de outliers se presentan en los meses de Marzo y Diciembre con tres datos cada mes que se escapan de lo normal, en tanto este último mes mencionado además de Febrero representan los datos más dispersos en cada uno de los meses, caso contrario ocurre con Julio y Septiembre que son los meses presentan sus datos más concentrados. Su desviación estándar es similar a la del Maule con un total de  $6,16^{\circ}\text{C}$  y una media de  $20,23$ .

En tanto, las temperaturas medias mínimas del Bío-Bío denota que Enero posee los datos mayormente concentrados aun así también posee la mayor cantidad de excepciones representadas por los outliers. Julio presenta los datos más dispersos de la serie, esto quiere decir que el comportamiento de todos los meses de Julio durante los últimos 33 años han sido los más variables. La desviación estándar de las mínimas medias es de  $2,72^{\circ}\text{C}$ , inferior a los datos obtenidos de Maule y la serie presenta una media de  $7,17$ .

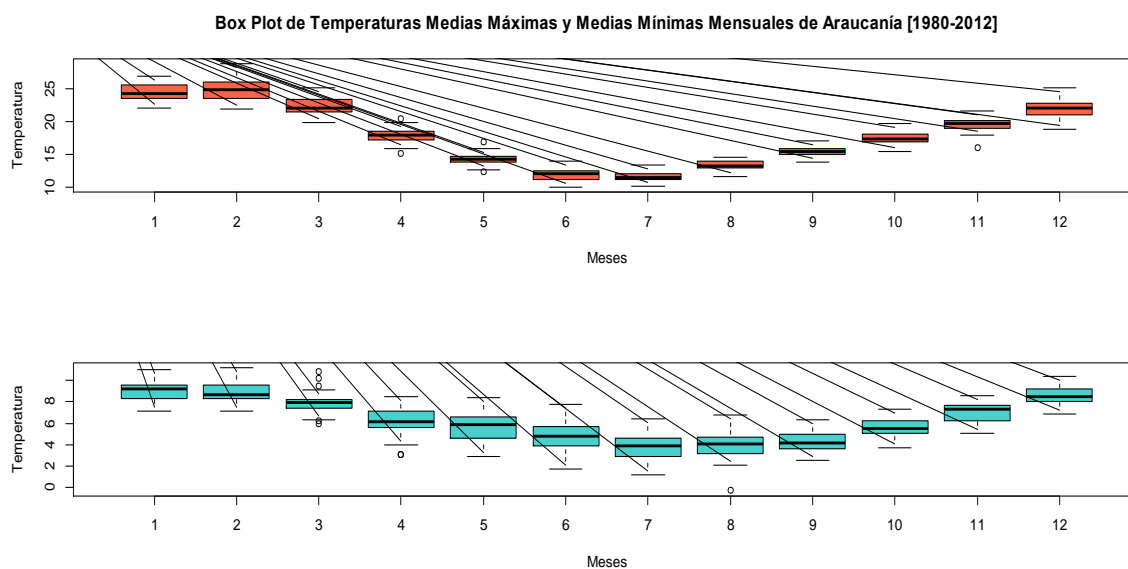
**Gráfico 11: Box Plot de Temperaturas Medias Mensuales, Región del Bío-Bío [1980-2012]**



La mayor cantidad de outliers se observan en Diciembre, mes que también presenta la mayor concentración de datos. Las mayores dispersiones se observan en todos los Marzo y Agosto de los 33 años de la muestra. La media es de  $21,8$  y la desviación estándar que presenta es de  $4,33^{\circ}\text{C}$ , similar a la de Maule.

## 2.10 Temperaturas mensuales Región de la Araucanía

**Gráfico 12: Box Plot de Temperaturas Medias Máximas y Medias Mínimas Mensuales, Región de la Araucanía [1980-2012]**

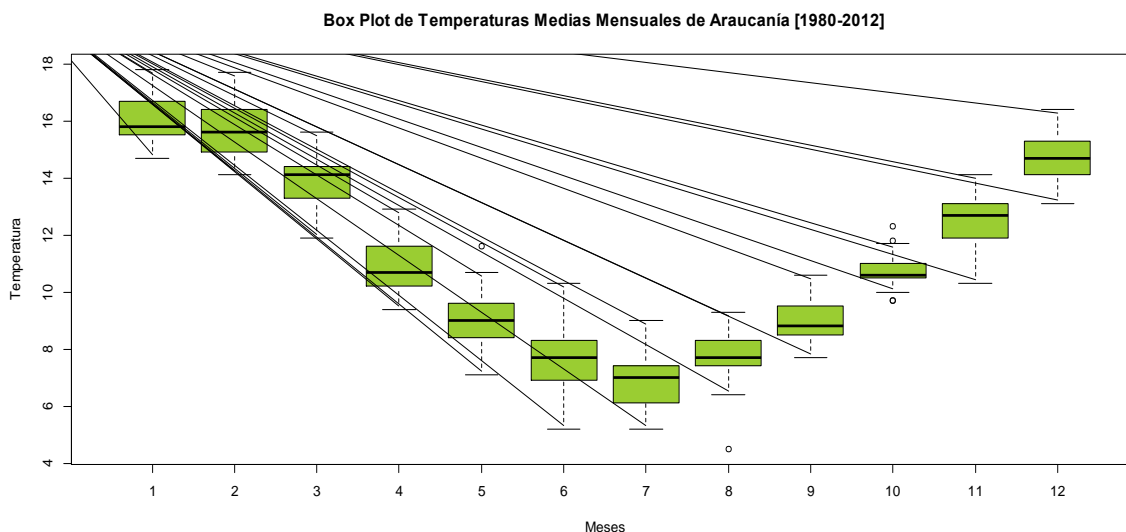


Es significativo que a medida que descendemos en las observaciones hacia las regiones del sur se observa claramente una disminución en las escalas de temperaturas, sobre todo en las temperaturas medias máximas. Y es que en el caso de la novena región podemos apreciar que el mes que posee datos más dispersos es Febrero durante los últimos 33 años, contrario a lo que ocurre en Mayo, Julio y Septiembre cuyas cajas pequeñas indican que sus datos se encuentran más concentrados. Finalmente son los meses de Abril y Mayo presentan excepciones fuera de sus whiskers, en donde la serie presenta una media de 17,95 y una desviación estándar de 4,72°C.

Por otro lado, las dispersión más notoria de datos que podemos ver en las temperaturas medias mínimas de la Araucanía es en el mes de Mayo, mientras que los más concentrados se observan en el mes de Marzo, que a su vez presenta la mayor cantidad de outliers. Posee una desviación estándar de 2,15°C, y una media de 6,31.



**Gráfico 13: Box Plot de Temperaturas Medias Mensuales, Región de la Araucanía [1980-2012]**



Aquí se logra observar que la caja más amplia que indica mayor dispersión corresponde al mes de Febrero, al revés de lo que ocurre con Octubre, cuyo mes a su vez presenta la mayor cantidad de outliers. Con una media de 11,22 y una desviación estándar inferior en comparación con las regiones anteriores de 3,27°C.

La tendencia indica que a medida que evaluamos las regiones hacia el sur, sus temperaturas tanto medias, máximas y mínimas mensuales irán disminuyendo, lo que se traduce en que en el sur el clima es más estable que hacia el norte.

### 2.11 Resumen Estadísticos de las variables climáticas

En la tabla 1 podemos ver que la media de las temperaturas medias máximas del periodo analizado son mayores en la región del Maule y disminuyen hacia el sur, de igual manera actúan las temperatura medias y medias mínimas. Por otra parte, las precipitaciones son mayores en la Araucanía, alcanzando en promedio los 95,4mm, seguidos del Bío-Bío con 87,63mm y por Maule con 54,91mm. Entre las tres variables de temperaturas, las mínimas son las que presentan mayor variabilidad entre sus valores, y éstas a su vez varían más en el Maule que en las otras dos regiones, situación que se repite para las demás variables climáticas en observación.

**Tabla 1: Estadísticos de las Variables Climáticas**

	Estadísticos	Temperaturas	Temperaturas	Temperaturas	Precipitaciones
		Medias Máximas	Medias	Medias Mínimas	
<b>MAULE</b>	Media	20.95	13.67	7.71	54.91
	Mediana	20.85	13.10	7.50	22.35
	Desviación Estándar	6.36	4.73	3.15	80.00
	Varianza	40.42	22.35	9.92	6400.01
	Coficiente de Variación	0.30	0.35	0.41	1.46
	Media	20.23	13.21	7.17	87.63
	Mediana	19.75	12.80	6.90	53.75
<b>BÍO-BÍO</b>	Desviación Estándar	6.16	4.34	2.72	100.21
	Varianza	37.97	18.80	7.40	10042.28
	Coficiente de Variación	0.30	0.33	0.38	1.14
	Media	17.96	11.22	6.31	95.40
	Mediana	17.65	10.65	6.25	78.70
	Desviación Estándar	4.72	3.27	2.16	76.94
	Varianza	22.29	10.72	4.67	5919.36
<b>ARAUCANÍA</b>	Coficiente de Variación	0.26	0.29	0.34	0.81

## 2.12 Modelos ARIMA para las variables climáticas

Los modelos SARIMA para las variables climáticas mensuales temperaturas máximas, medias, mínimas y precipitaciones de las tres regiones nos indican que todas estas son estacionarias, lo que se condice con los test de raíz unitaria que se aplicaron a las series permitiendo un trabajo más sencillo con los datos.

Para el caso de las temperaturas en todas las regiones los modelos son bastante simples, donde todas tienen una constante positiva, y son explicadas por valores pasados de la misma variable de orden autorregresivo 1 ó 2 meses, además

son explicada por la misma variable pero correspondiente al año anterior. Para las precipitaciones los modelos son un poco más complejos y con mayor cantidad de variables.

**Tabla 2: Modelos SARIMA para las variables climáticas**

	<b>Variab</b>	<b>SARIMA</b>	<b>Modelo SARIMA</b>
<b>Maule</b>	Temperaturas Máximas	(1,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 21.1111 + 0.3819Y_{t-1} + 0.4082S_1 + 0.5696S_2 + \epsilon_t$
	Temperaturas Medias	(2,0,0)(1,0,0)	$Y_t = 13.6461 + 0.173Y_{t-1} + 0.1729Y_{t-2} + 0.9619S_1 + \epsilon_t$
	Temperaturas Mínimas	(2,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 7.8073 + 0.2128Y_{t-1} + 0.1617Y_{t-2} + 0.5407S_1 + 0.3571S_2 + \epsilon_t$
	Precipitaciones	(4,0,2)(1,0,2)	$Y_t = 0.1015Y_{t-1} + 0.0042Y_{t-2} + 0.0884Y_{t-3} - 0.0720Y_{t-4} - 0.0375\epsilon_{t-1} + 0.0100\epsilon_{t-2} + 0.9880S_1 - 1.0085SMA_1 + 0.0949SMA_2 + \epsilon_t$
<b>Bío-Bío</b>	Temperaturas Máximas	(2,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 20.1994 + 0.2568Y_{t-1} + 0.0997Y_{t-2} + 0.3785S_1 + 0.5870S_2 + \epsilon_t$
	Temperaturas Medias	(2,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 12.9742 + 0.2907Y_{t-1} + 0.1683Y_{t-2} + 0.4586S_1 + 0.5024S_2 + \epsilon_t$
	Temperaturas Mínimas	(2,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 7.1450 + 0.2080Y_{t-1} + 0.1091Y_{t-2} + 0.5080S_1 + 0.3621S_2 + \epsilon_t$
	Precipitaciones	(1,0,1)(1,0,2)	$Y_t = 44.3127 - 0.7892Y_{t-1} + 0.8160\epsilon_{t-1} + 0.9662S_1 - 0.7541SMA_1 - 0.1052SMA_2 + \epsilon_t$
<b>Araucanía</b>	Temperaturas Máximas	(2,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 17.9922 + 0.2605Y_{t-1} + 0.1142Y_{t-2} + 0.4670S_1 + 0.4824S_2 + \epsilon_t$
	Temperaturas Medias	(1,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 11.2553 + 0.1584Y_{t-1} + 0.5073S_1 + 0.4223S_2 + \epsilon_t$
	Temperaturas Mínimas	(1,0,0)(2,0,0)	$Y_t = 6.3323 + 0.1301Y_{t-1} + 0.431S_1 + 0.3724S_2 + \epsilon_t$
	Precipitaciones	(1,0,1)(2,0,2)	$Y_t = 107.5975 - 0.6768Y_{t-1} + 0.6974\epsilon_{t-1} + 1.2566S_1 - 0.2689S_2 - 1.1599SMA_1 - 0.2666SMA_2 + \epsilon_t$

---

**CAPÍTULO III**  
**“RENDIMIENTO DE LOS**  
**CULTIVOS”**

---

---

## RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

---

En general en toda actividad productiva se espera percibir rendimientos positivos, rendimientos que pueden verse afectados por diversas situaciones y factores. En la investigación se ha puesto énfasis en lo que se refiere al cambio climático con datos expuestos en el capítulo anterior, y como éste afecta a ciertos cultivos en sus rendimientos.

Es así como se han seleccionado dos cultivos propios de la producción tradicional chilena tales como el maíz y trigo, cereales habituales de las zonas de estudio que van desde la séptima a la novena región, y de los cuales se disponen datos acerca de sus rendimientos anuales de quintales por hectáreas asociados al periodo comprendido entre 1980 hasta el año 2012, antecedentes extraídos de la base de datos del sitio web de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Cabe mencionar que para el año 1995 no se encontraban datos, debido a la no realización del censo agrícola correspondiente, por lo que se optó por estimar la tendencia de los rendimientos de quintales por hectárea para poder obtener el dato faltante.

Por otro lado es de conocimiento general que para poder obtener ciertas retribuciones a través del óptimo manejo de los cultivos, es completamente necesario conocer el desarrollo de estos cereales, fijándonos en cómo crecen y cuándo se determinan los componentes del rendimiento y cuyo mayor o menor progreso depende de muchas variables, tales como la textura del terreno, la situación de la capa freática, la época de la siembra, la mayor o menor cantidad de lluvia caída en las primeras fases de su desarrollo, entre otros. En donde obviamente que el mejor de los escenarios para los cultivos, es que éstos estén en insuperables condiciones durante todo su ciclo y que por lo demás no se enfrenten a ningún tipo de estrés.

A continuación comenzaremos por observar algunas características propias del maíz para posteriormente interiorizarnos en el trigo. Luego se realiza un análisis descriptivo de los rendimientos y su variabilidad a través de los 33 años de estudio y se estiman modelos ARIMA para cada una de las series.

---

## MAÍZ

---

La agricultura chilena que nace mucho antes de la llegada de los españoles, fue bastante avanzada, asociada pues a varios cultivos, entre los cuales encontramos el maíz, alimento base de la civilización antigua y también de la moderna. En Chile la producción se destina mayoritariamente al consumo animal en forma de grano seco y ensilaje, seguido por el uso de alimento humano directo, fresco, congelado o en forma de almidón y aceite, y semillas híbridas de exportación. A continuación se da a conocer información entregando más a fondo algunas características de éste cultivo.

### **3.1 Morfología y Taxonomía**

El maíz, posee un sistema radicular fasciculado, que es de rápido desarrollo. El tallo como se mencionó anteriormente puede alcanzar grandes alturas dependiendo de la variedad (desde medio metro a cuatro de alto). Posee hojas abrazadoras y anchas y cada planta puede ser diclina o monoica.

Por lo general las flores femeninas surgen en las axilas de algunas hojas y están agrupadas en una espiga rodeada de largas brácteas, espiga a la cual se le denomina con el nombre de mazorca. En tanto las flores masculinas aparecen en la extremidad del tallo y están agrupadas en panículas. La mazorca está formada por una parte central que representa del 15 al 30% del peso de la espiga, llamada zuro. Centenares de granos se sitúan por encima del zuro en forman en hileras. (abcAgro.com)

#### **3.1.1 Exigencias del cultivo**

Para la siembra se necesita un suelo con una temperatura media de 10°C y que la misma vaya en aumento, en tanto para que la floración se lleve a cabo sin problemas se necesita bastante calor, con 18°C como mínimo, ya que la planta debe madurar antes de que comiencen las bajas temperaturas, es así como este cultivo se realiza en países mayormente cálidos para que pueda recibir temperaturas elevadas durante su ciclo vegetativo. En tanto para la nascencia la temperatura más favorable es aproximadamente 15°C. En fase de crecimiento la temperatura ideal se encuentra entre los 24 y 30°C.

Ciertos rangos de temperaturas son desfavorables para el crecimiento, como por ejemplo, superiores a 30°C hacen que la planta disminuya su capacidad de absorción de agua por las raíces debido a que provoca problemas en la actividad celular. Otro caso son las noches cálidas, debido a que genera en la planta una respiración muy activa, causando que el cultivo utilice reservas importantes de energía, que generalmente son utilizadas en el día durante el proceso de la fotosíntesis.

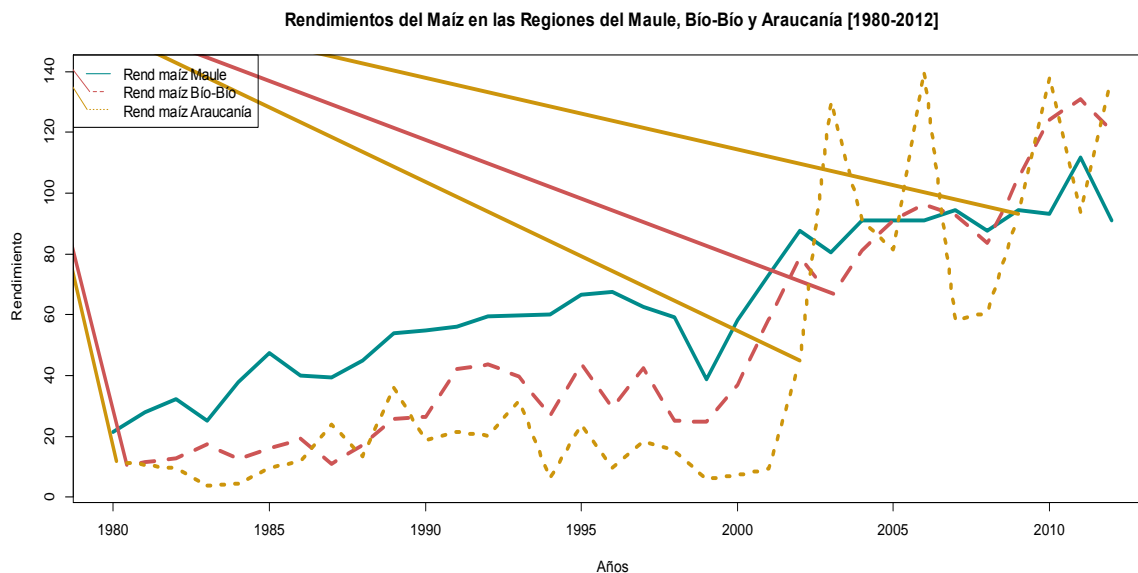
Caso contrario es el de las heladas, las cuales si se producen antes de la maduración, sin que se haya producido aun la total transformación de los azúcares del grano en almidón, se interrumpe de forma irreversible el proceso, quedando un grano blando, en el cual el secado será mucho más dificultoso, ya que los últimos procesos vitales de la plantan se centran en el transporte de humedad al grano.

Por otro lado en términos de humedad, las grandes necesidades de agua del maíz condicionan el área de cultivo, necesidades que aumentan de 15 a 20 días antes de la época de floración, y es que son más de 550 milímetros de recurso hídrico los que requiere este cultivo (Agribusiness).

Finalmente en cuanto al suelo, el maíz tiene gran capacidad de adaptabilidad, en donde el pH óptimo oscila entre los 5,6 y 5,5, o sea en duelos ligeramente ácidos aunque de igual manera puede desarrollarse en condiciones donde el pH es mayor o menor al rango mencionado.

### 3.2 Análisis del rendimiento del maíz

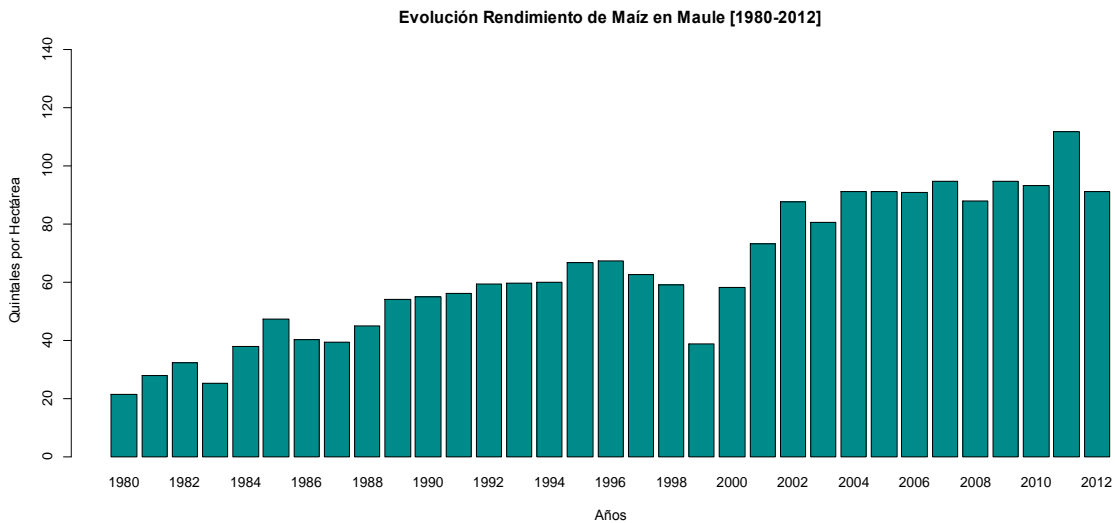
**Gráfico 14: Rendimientos del Maíz de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012]**



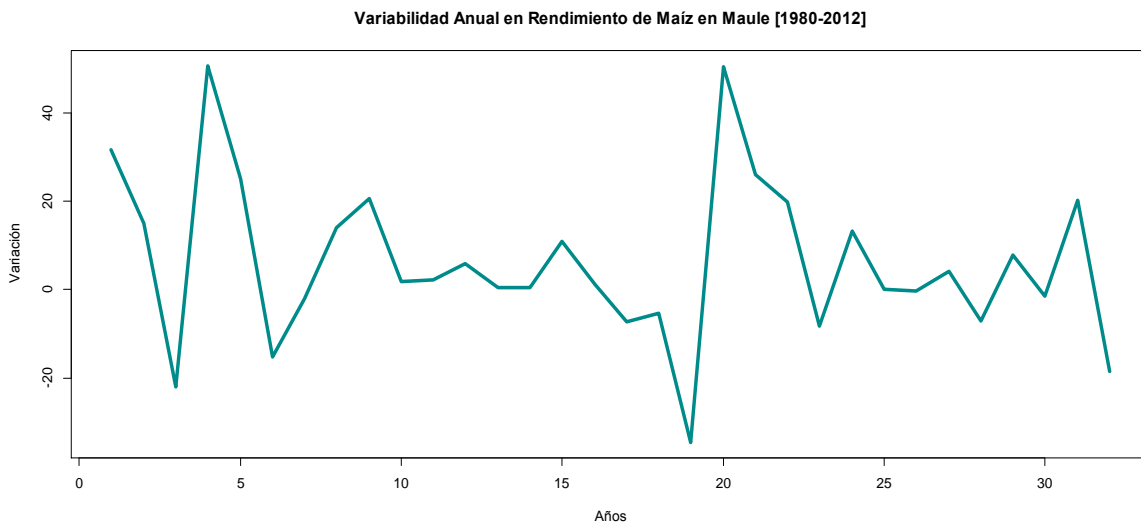
Aun cuando se observa una tendencia positiva, hay una clara diferencia en el periodo de tiempo analizado que divide notoriamente el rendimiento en dos tipos de alzas. La primera indica una tendencia positiva pero no muy pronunciada hasta finales del año 1999. A partir de este año en adelante vemos una segunda tendencia positiva al igual que la anterior, pero con un aumento significativo en las tres regiones, sobre todo en Araucanía, estos alzas son atribuidas a un cambio que se produce a partir de la variación en la demanda del maíz debido fundamentalmente a la expansión de las industrias productoras de aves y cerdos, las cuales utilizan este cereal como el más importante componente de alimentación, llegando a utilizar dos tercios aproximadamente de la producción nacional, lo que generó un aumento tanto en las hectáreas plantadas, como también en una mejor utilización de fertilizantes e inversión en tecnologías relacionadas con este cereal. (FIA, 2003)



**Gráfico 15: Evolución del Rendimiento del Maíz en Maule[1980-2012]**



**Gráfico 16: Variabilidad Anual en Rendimientos de Maíz en Maule [1980-2012]**

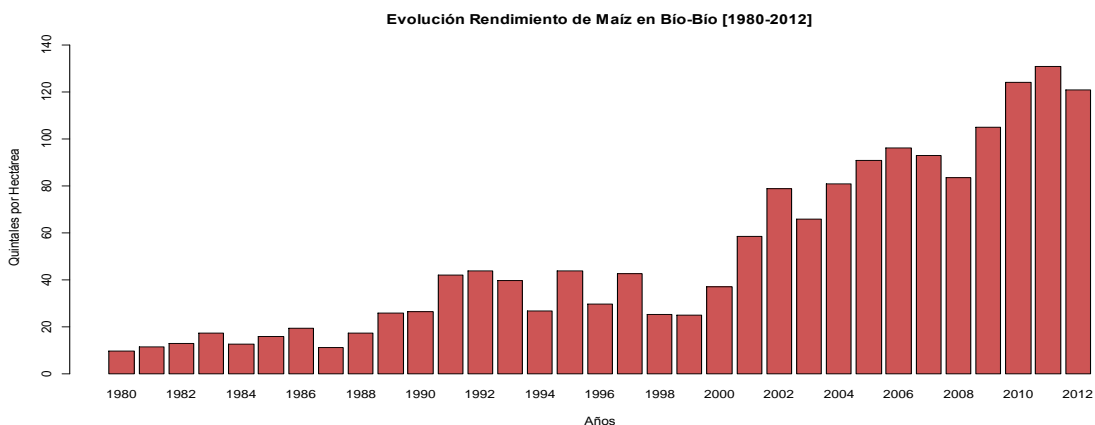


En la región del Maule, se observa un incremento en el rendimiento del maíz a lo largo de últimos 30 años, con algunas observaciones que no siguen un comportamiento parecido a la tendencia, es así que en el año 1999 se observa la mayor variación para este cultivo en esta región. Por otro lado el mayor rendimiento se observa en el año 2011 con 111,9 qq/ha, caso contrario es el menor rendimiento con 21,3 qq/ha que se observó en el

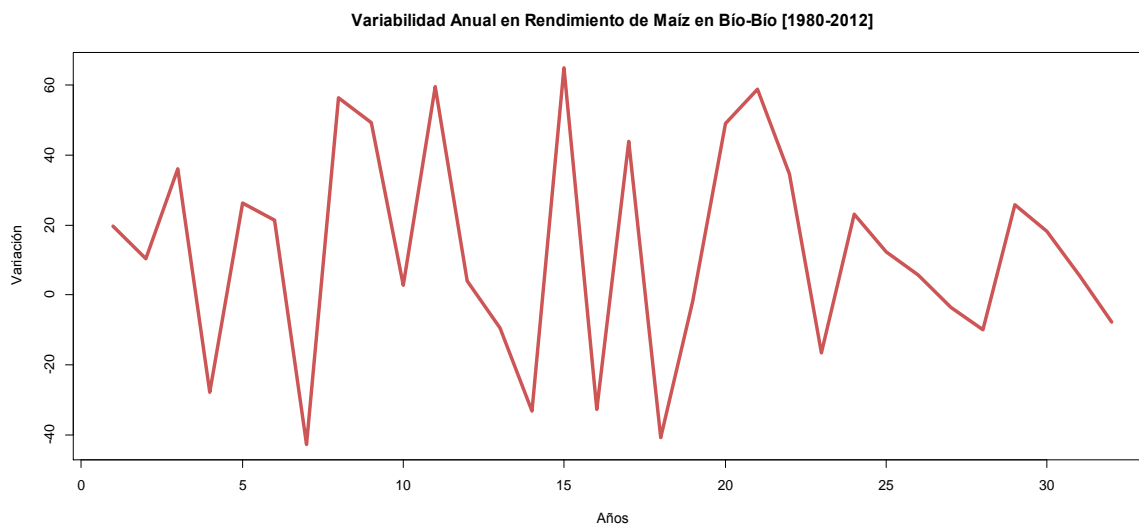
año 1980 las cuales se explican por la baja utilización de tecnología, además de las bajas notorias en los años 1983 y 1999.

La variación obtenida al sacar los rendimientos en quintales por hectáreas del año 1980 comparado con el año 2012 fue de un 328,169%.

**Gráfico 17: Evolución del Rendimiento de Maíz en Bío-Bío [1980-2012]**



**Gráfico 18: Variabilidad Anual en Rendimientos del Maíz en Bío-Bío [1980-2012]**

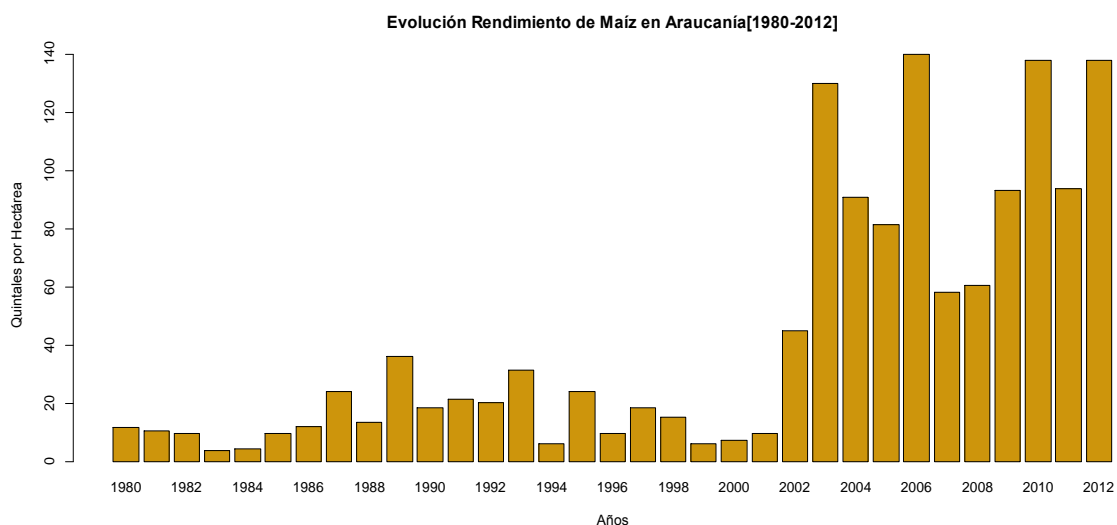


En la región del Bío-Bío se observa un comportamiento poco uniforme de acuerdo con lo que implica las innovaciones tecnológicas, las cuales significarían que los rendimientos solo fueran en aumento con pequeñas disminuciones poco notorias, es por ello que observamos mayor variación anual en los rendimientos. Se observa que desde el año 2000 los quintales por hectáreas comienzan a aumentar con leves variaciones, pero con mejores rendimientos desde ese año, en donde para el año 2011 con 130,9 qq/ha se observa

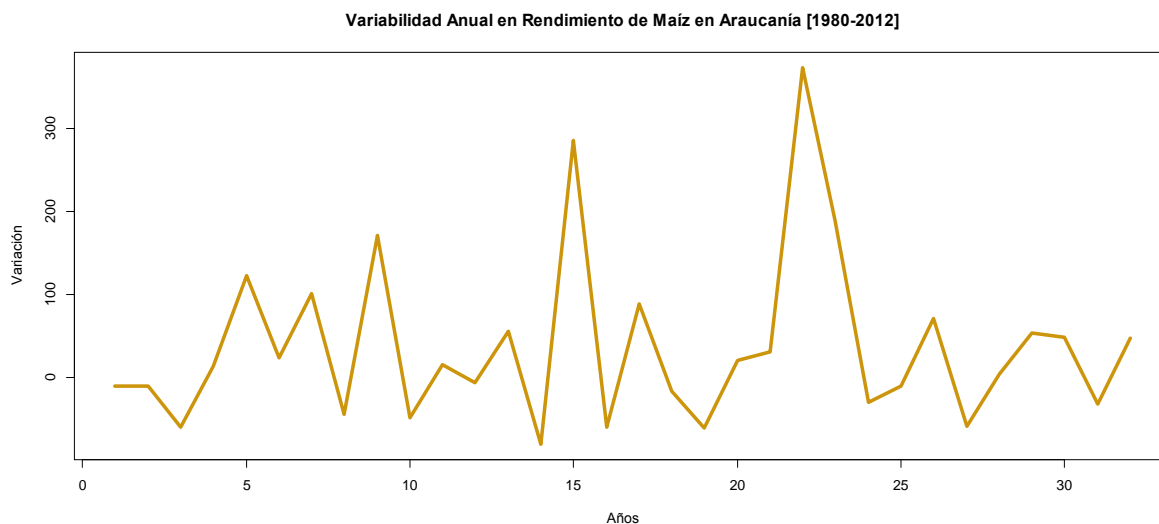
el pick del maíz en la región. Finalmente el menor rendimiento es en el año 1980 con 9,6 qq/ha, y cuyos años más bajos además son 1987, 1994, 1996, 1998, 1999, 2008 años en donde existe mayor variabilidad anual.

La variación para la región del Bío-Bío entre el primer año de estudio y el último, determina que el cambio porcentual ha sido de 1158,333%, experimentando un alza muy superior a la obtenida en el Maule, en donde las condiciones para el cultivo asociados a agricultores más experimentados, ha triplicado en la región sus rendimientos.

**Gráfico 19: Evolución del Rendimiento de Maíz en Araucanía [1980-2012]**



**Gráfico 20: Variabilidad Anual en Rendimientos del Maíz en Araucanía [1980-2012]**



Se observa que el mayor rendimiento se obtuvo en el año 2006 con 140 qq/ha, seguido por los años 2003, 2006, 2009 2010 y 2012. Caso contrario se dio en el año 1983, con 3,8 qq/ha, siguiendo la tendencia de bajos rendimientos, los años 1984, 1988, 1994, 1999, 2007, 2011.

La variación porcentual entre los datos obtenidos de qq/ha del año 1980, comparado con el año 2012 es de 1069,492%.

Cabe mencionar que de las tres regiones en investigación, la Araucanía además de presentar los menores rendimientos de qq/ha, también posee los menores niveles de superficie sembrada de maíz, muy por debajo de las dos regiones anteriores. Debido al comportamiento extraño de los rendimientos además hicimos las consultas correspondientes al INE, cuya respuesta fue la siguiente:

*“...informamos a Uds. Que este tipo de agricultores, que son marginales a la zona maicera principal del país en donde comportamiento se basa en que si el choclo (hortaliza) presenta un precio elevado en la zona, estos productores cosechan en verde para vender como hortaliza (puede ser el total o parte de la producción). Además el nivel de fertilización aplicado es un factor importante y decisivo para el rendimiento, como los costos de siembra y rendimientos posibles. Otro factor que se debe considerar es el clima de la región, que es un microclima que en general permite realizar este cultivo, pero que muchas temporadas tienes comportamientos que afectan los rendimientos. En los últimos años debido a los avances tecnológicos del cultivo, variedades de corto periodo vegetativo que permiten obtener cosechas antes que el clima afecte al cultivo (lluvias), fertilizantes diseñados específicamente para el suelo, zona climática y variedad han permitido elevar los rendimientos. Los productores en otras épocas tomaban el cultivo del maíz en la zona como un producto marginal y por eso se le aplicaba un bajo nivel tecnológico”*

Aún con la respuesta del Sistema Integral de Información y Atención Ciudadana del Instituto Nacional de Estadísticas, se ha decidido que las anomalías observadas en el

comportamiento de los rendimientos del maíz en Araucanía no nos dan la confianza suficiente como para poder generar un modelo estadístico adecuado, porque no es posible que el rendimiento de qq/ha cambie tan drásticamente, es por ello que para el tratamiento de la investigación centrada en el maíz, no se considerará la Araucanía, sino que solo se trabajará con Maule y Bío-Bío.

Ahora bien, llama la atención el acontecimiento que se produce durante el año 2008, con una baja considerable en las tres regiones, porque si bien los resultados económicos del maíz en la temporada 2007/08 fueron buenos, lo que debería haber sido un factor determinante de la superficie de siembra en la temporada 2008/09, ésta fue influida también por otros factores importantes, como el alza de los insumos y el acceso al financiamiento al momento de tomar la decisión de sembrar. Los precios de los insumos presentaron un alza mayor que la de los precios del grano, como por ejemplo la urea, que es uno de los gastos más importantes dentro del presupuesto del cultivo, el cual subió más del doble entre septiembre de 2007 y el mismo mes de 2008.

Fue así como no solo la superficie sembrada se vio perjudicada, ya que el alza en los costos de los insumos y las dificultades para acceder a financiamiento por parte de los productores provocó una disminución relativa en el gasto de insumos, específicamente en fertilizantes, lo que afectó considerablemente a los rendimientos, reduciendo además la producción nacional del maíz. (ODEPA, 2008).

### **3.3 Resumen Estadístico de los Rendimientos del Maíz**

En la tabla de a continuación podemos observar que la media de los rendimientos del maíz es mayor en la región del Maule en comparación con las regiones del Bío-Bío y Araucanía. En la primera, el rendimiento alcanza en promedio los 63,6 qq/ha, mientras que en Bío-Bío y Araucanía son de 50,4 y 42,2, respectivamente, disminuyendo hacia el sur. Por otra parte observando la varianza y coeficiente de variación de los rendimientos se aprecia con claridad que en la región de la Araucanía hay mayor variabilidad entre los datos, mientras que en el Maule el rendimiento es menos variable que en las otras regiones.

### 3.4 Resumen Estadístico de los Rendimientos del Maíz

**Tabla 3: Estadísticos de Rendimiento del Maíz**

<b>Estadístico</b>	<b>Maule</b>	<b>Bío-Bío</b>	<b>Araucanía</b>
Media	63.65	50.38	42.18
Mediana	59.70	39.70	20.20
Desviación Estándar	24.12	37.30	44.62
Varianza	581.79	1390.95	1990.86
Coefficiente de Variación	0.379	0.74	1.058

---

## TRIGO

---

A diferencia del maíz, el trigo fue introducido a nuestro país con la llegada de los españoles, además de otros cultivos los cuales se adaptaron con gran facilidad, es más esta gran capacidad de adaptación llevó a Chile a convertirse para el siglo XVIII en el gran productor y exportador de trigo, debido a diversas situaciones de crisis en los países vecinos relacionadas con el cultivo, haciendo que la vida de muchos chilenos girara en torno a la hacienda y el trigo (Biografía de Chile).

Así pues, luego de observar ciertos acontecimientos relacionados con este cultivo y nuestro país ahora ahondaremos en características y peculiaridades de este cereal.

### 3.5 Morfología y Taxonomía

El trigo forma parte de la familia de las gramíneas y actualmente la clasificación de este se base en: trigos duros o cristalinos clasificados botánicamente como *Triticum turgidum*, cuya subespecie se le denomina *durum*. Y los trigos harineros conocidos botánicamente como *Triticum aestivum*, subespecie *vulgaris*.

Al igual que el maíz, el trigo también posee un sistema radicular fasciculado, raíces en donde aproximadamente el 50% de ellas se encuentra entre los 0 y 25 centímetros de profundidad mientras que el resto puede llegar a alcanzar hasta 1,50 metros.

El tallo en tanto, al comienzo de la fase vegetativa se halla dentro de una masa celular que constituye el nudo de ahijamiento presentando brotes auxiliares, desde los cuales se originan los tallos hijos. Posteriormente comienza la fase de encañado en donde el tallo se alarga, llevando entre 7 u 8 hojas envainadoras a lo largo de la longitud de un entrenudo, hojas que son cintiformes, paralelinervias y terminadas en punta. En un comienzo el tallo es macizo, volviéndose después hueco, salvo en los nudos donde permanece macizo.

Al terminar el desarrollo del tallo aparece la espiga, envuelta en la última hoja, etapa llamada fase de espigado, la espiga entonces está constituida por un eje llamado raquis que lleva insertas las espiguillas alternadamente, el números de éstas puede llegar hasta 25 y se

recubren unas a otras, cada una de estas espiguillas contiene varias flores, las cuales serán fértiles dependiendo de la variedad y del estado en que se ha desarrollado el trigo, pero suele variar de 2 a 5. La flor da lugar a un fruto único, denominado grano, conformado por el germen (2 a 3% del tamaño del grano del trigo, contiene toda la información genética y cuando empieza a brotar libera todas las vitaminas y minerales), el salvado (13 a 15% del tamaño total y protege al grano contra los insectos, el clima y enfermedades entre otros) y el endospermo (83% aproximadamente del grano es una única fuente de harina blanca). (abcAgro.com)

### **3.5.1 Exigencias del cultivo**

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del trigo esta entre los 10 y 24°, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica, que resulta de la acumulación de grados días, la cual es muy variable según la variedad, es más la temperatura no debe ser demasiado fría en invierno y ni demasiado elevada en primavera. Por otro lado si la cantidad de lluvia caída durante el ciclo de cultivo ha sido escasa y es especialmente intensa en primavera se puede producir el asurado. (El Agricultor Eficiente)

El coeficiente de transpiración del trigo es de 450 a 550, es decir, que se necesitan de 450 a 550 litros de agua para elaborar 1 kg. de materia seca. Se ha demostrado que en años secos el trigo puede desarrollarse bien con 300 o 400 mm de lluvia, siempre que la distribución de esta lluvia sea buena, es decir, escasa en invierno y más abundante en primavera.

En las tierras arenosas es más importante que en las arcillosas que las lluvias se distribuyan regularmente en la primavera, ya que tiene poca capacidad de retención de agua. Además es importante que las tierras sean profundas, para que se desarrolle satisfactoriamente el sistema radicular. En tierras ácidas, el trigo prospera negativamente es más indicado que sean neutras o alcalinas en donde también los microorganismos beneficiosos del suelo prefieren ese pH.

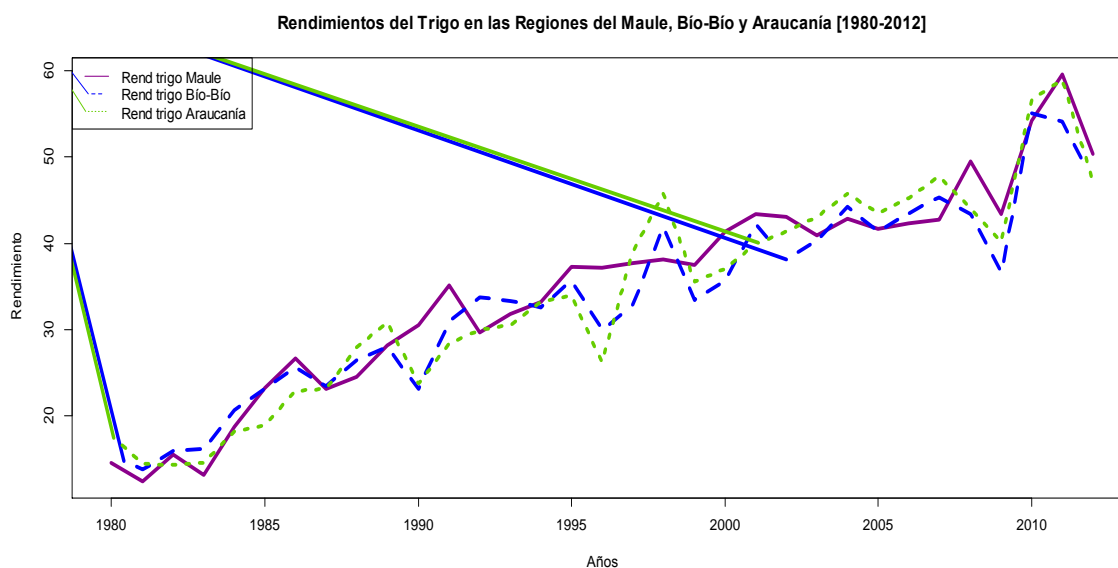


Finalmente el trigo es una planta que necesita luz, ya que el ahijamiento se realiza con un determinado valor de fotoperiodismo, que es diferente según las variedades, pero que en términos generales se habla de entre 9 y 13 horas de luz y hasta 16.

### 3.6 Análisis del rendimiento del trigo

Es remarcable la mejora en los rendimientos del trigo a lo largo de los últimos 33 años, asociada al perfeccionamiento en las innovaciones tecnológicas, mejor conocimiento por parte de los agricultores sobre la utilización de sistemas de riego y aprovechamiento predial, desarrollo e incorporación de fertilizantes, entre otros, que han beneficiado positivamente la generación de mayores rendimientos de trigo al menos en las tres regiones en estudio.

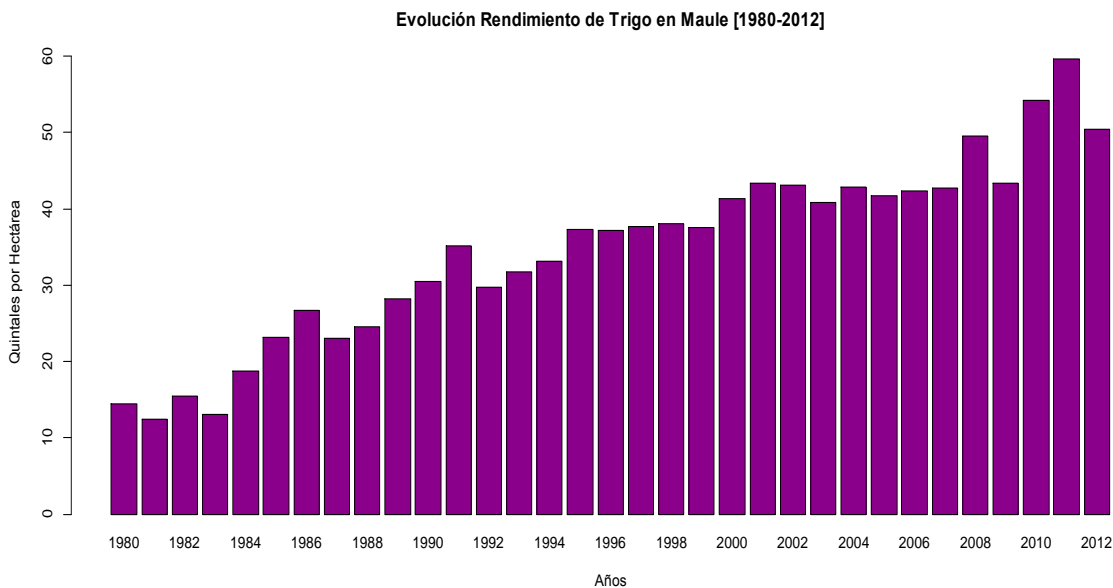
**Gráfico 21: Rendimientos del Trigo de las Regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía [1980-2012]**



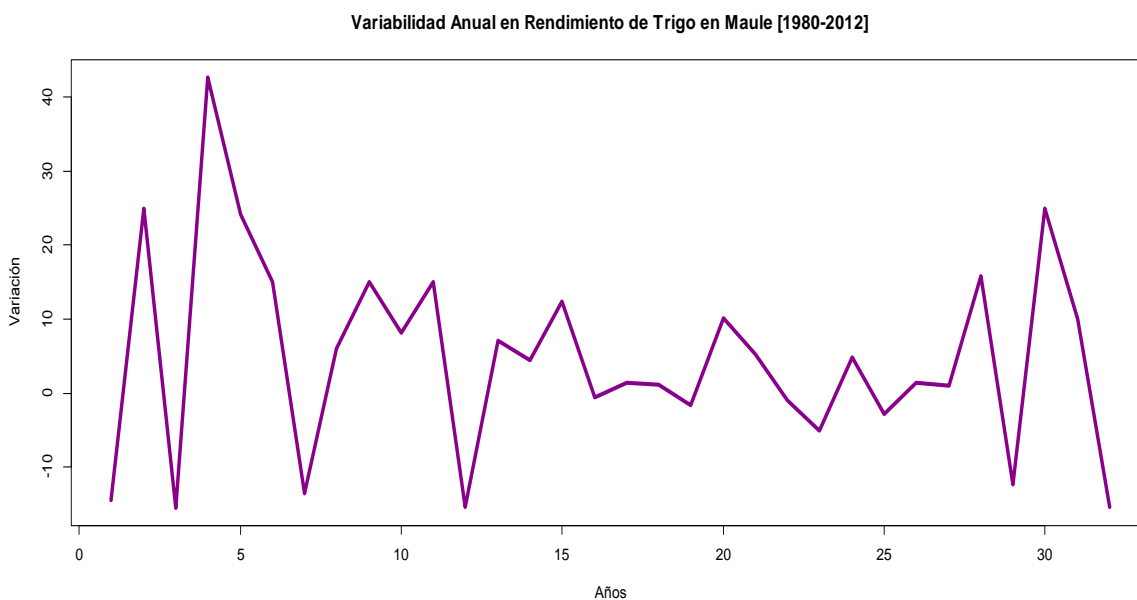
La tendencia del periodo es al alza, sin embargo, en el año 2008 se aprecia una gran variación negativa explicada por las condiciones meteorológicas que perjudicaron el rendimiento del cereal a nivel nacional, que afectaron el llenado de grano por una deficiente disponibilidad y oportunidad de agua, también hubo un menor uso de fertilizantes, a causa del alto costo alcanzado (ODEPA, 2011). Desde el 2010 repuntan los rendimientos alcanzando los rendimientos más altos que bordean los 55qq/ha, pero en 2012

disminuyeron por problemas de altas temperaturas en el período de llenado de grano y golpes de calor que habrían afectado la calidad de las proteínas presentes en el grano (ODEPA, 2012).

**Gráfico 22: Evolución Rendimiento del Trigo en Maule [1980-2012]**

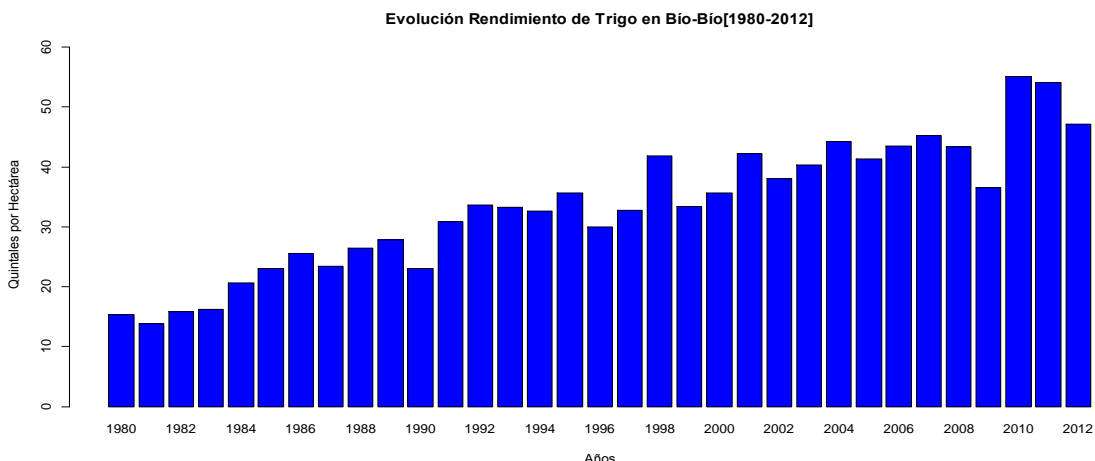


**Gráfico 23: Variabilidad Anual en Rendimientos de Trigo en Maule [1980-2012]**

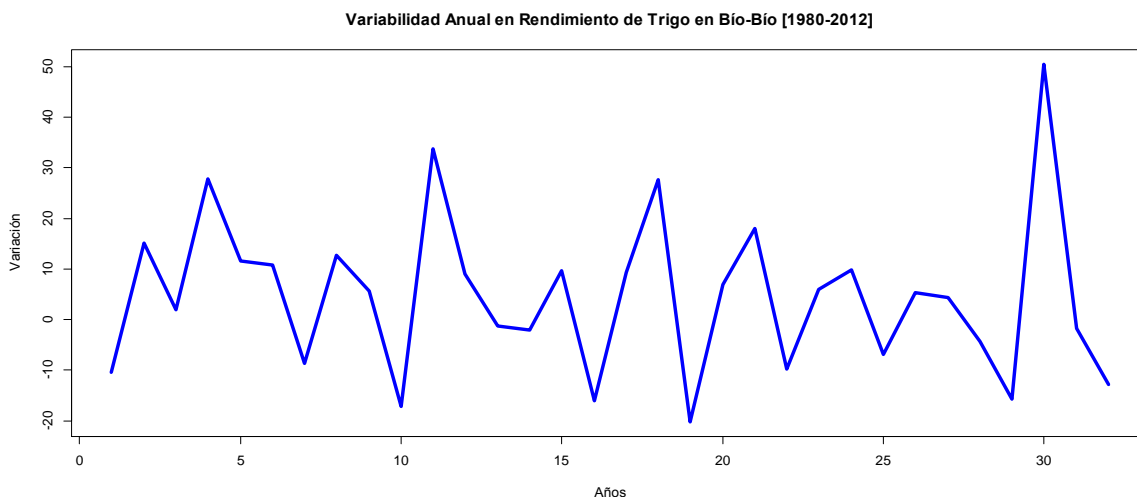


Haciendo un desglose por región, en el Maule los rendimientos del trigo se han incrementado en un 248% en el total del periodo estudiado, dado que el primer año alcanza un rendimiento de 14,5 qq/ha principalmente por una escasa eficiencia en el uso de las tecnologías, presentando una mayor variabilidad porcentual entre los rendimientos. En el último año el rendimiento del trigo alcanza los 50,4 qq/ha. En un periodo intermedio que abarca desde 1995 hasta 2007 los rendimientos se mantuvieron estables en un rango cercano a 40 qq/ha. Como se puede apreciar en el gráfico 22 en el año 2009 el rendimiento del trigo sufre una abrupta caída, luego alcanza su mayor rendimiento en el 2011 de 59,6 qq/ha, para posteriormente disminuir en el 2012 en concordancia con la situación a nivel nacional.

**Gráfico 24: Evolución del Rendimiento de Trigo en Bío-Bío [1980-2012]**



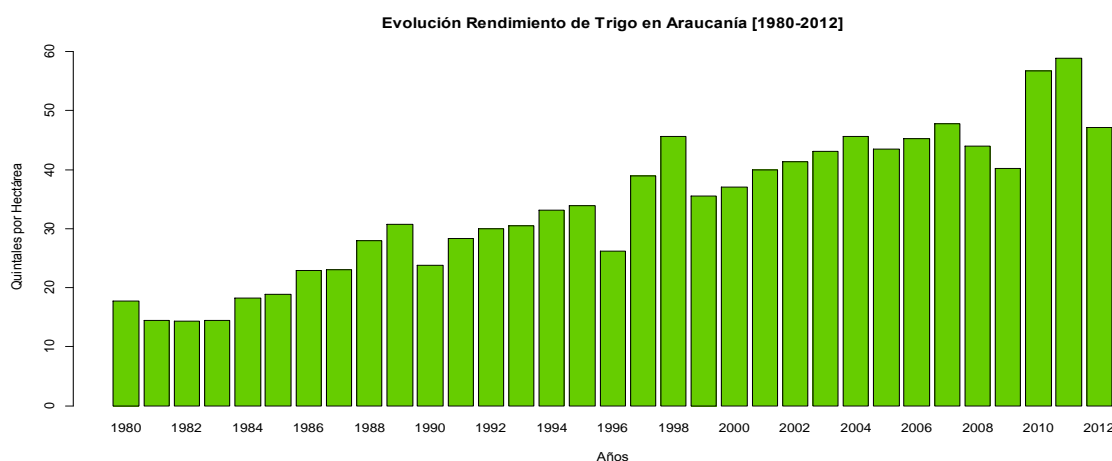
**Gráfico 25: Variabilidad Anual en Rendimientos del Trigo en Bío-Bío [1980-2012]**



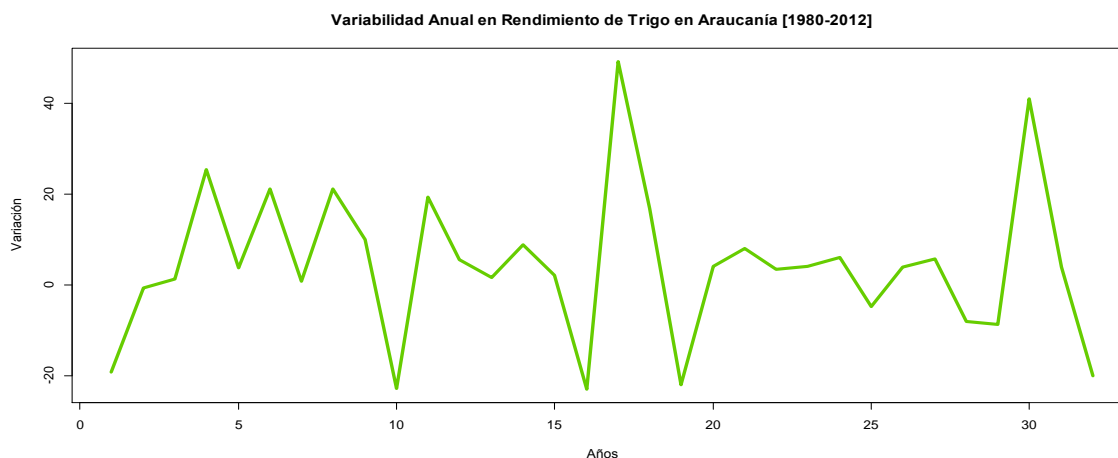
En la región del Bío-Bío, si bien los rendimientos del trigo aumentaron constantemente la variación entre éstos es mayor. El incremento total del periodo fue de un 206%, pues a inicios de éste el rendimiento fue de 15,4 qq/ha, mientras que al final del periodo alcanzó los 47,2 qq/ha.

La variabilidad del rendimiento del trigo es mayor que en el Maule, sin embargo, los rendimientos son bastante similares. La mayor variación se presenta en los últimos años, a partir del incremento del rendimiento del 2009 al 2010, año en que se alcanza el punto más alto con 55,1 qq/ha, pero que al 2012 baja alcanzado los 47 qq/ha, esto se explica principalmente por aumentos en la temperatura en periodo clave del crecimiento y maduración del cereal.

**Gráfico 26: Evolución del Rendimiento de Trigo en Araucanía [1980-2012]**



**Gráfico 27: Variabilidad Anual en Rendimientos del Trigo en Araucanía [1980-2012]**



En la región de la Araucanía, los rendimientos siguen la tendencia de las otras regiones en estudio, al alza, presentando un incremento total del periodo de 165%, comparativamente menor al del Maule y Bío-Bío. El primer rendimiento observado del trigo fue de 17,8 qq/ha, para finalizar el periodo con 47,2 qq/ha.

A pesar de tener etapas con rendimientos con crecimientos constantes, hay variaciones importantes como en los años 1996 y 2008/09 presentaron bajas para repuntar abruptamente al año siguiente. El 96 presentó problemas de sequía, que obligaron a declarar a la región como zona de emergencia agrícola (ONEMI, 1996). Posteriormente, durante la temporada 97/98 las condiciones meteorológicas fueron óptimas: suficientes fríos invernales y caídas pluviométricas oportunas y adecuadas, las que permitieron el aumento de los rendimientos (ODEPA, 1997).

En el 2008/09, la región presenta una baja importante en los rendimientos para posteriormente repuntar, situación constante a nivel país, como se mencionó anteriormente. En el año 2012 volvieron a disminuir los rendimientos por la presencia de varias semanas sin precipitaciones en enero, en pleno período de llenado de grano, además de muchos días con golpes de calor que provocan la desnaturalización de proteínas y el arrebató de la madurez fisiológica (ODEPA, 2012).

### 3.7 Resumen Estadístico de los Rendimientos del Trigo

**Tabla 4: Estadísticos de Rendimiento del Trigo**

<b>Estadísticos</b>	<b>Maule</b>	<b>Bío-Bío</b>	<b>Araucanía</b>
Media	34.648485	33.421212	33.939394
Mediana	37.300000	33.400000	33.900000
Desviación Estándar	11.958447	10.893770	12.176436
Varianza	143.004451	118.674223	148.265587
Coficiente de Variación	0.3451362	0.3259538	0.35877

En la tabla anterior se puede observar las medias de los rendimientos del trigo para las tres regiones en estudio que son bastante similares bordeando los 34 qq/ha por hectárea. La menor variación en los rendimientos de este cereal se presenta en el Bío-Bío con un

Coefficiente de variación de 0,33, seguido de la región del Maule con 0,35 y la Araucanía con 0,36.

### 3.8 Modelos ARIMA para el rendimiento del Maíz y Trigo

Los modelos ARIMA para los rendimientos del maíz y trigo de las tres regiones de estudio no son estacionarios y han debido ser diferenciados 1 vez para eliminar la tendencia, esto en concordancia con los resultados de los test de raíz unitaria que se muestran en el anexo 1.2. En términos generales los modelos son bastantes sencillos.

**Tabla 5: Modelos ARIMA para el rendimiento del Maíz y Trigo**

Variable	ARIMA	Modelo SARIMA
<b>s</b>		
<b>Maule</b>	Maíz	$(0,1,1)$ $Y_t = 2.3552 - 0.4543\epsilon_{t-1} + \epsilon_t$
	Trigo	$(0,1,1)$ $Y_t = 1.2605 - 0.6865\epsilon_{t-1} + \epsilon_t$
<b>Bío-Bío</b>	Maíz	$(0,1,0)$ $Y_t = 3.4750 + \epsilon_t$
	Trigo	$(2,1,0)$ $Y_t = 1.2013 - 0.6823 Y_{t-1} - 0.6715 Y_{t-2} + \epsilon_t$
<b>Araucanía</b>	Maíz	$(0,1,1)$ $Y_t = -0.4341\epsilon_{t-1} + \epsilon_t$
	Trigo	$(0,1,2)$ $Y_t = 0.0069\epsilon_{t-1} - 0.4239\epsilon_{t-2} + \epsilon_t$

---

**CAPÍTULO IV**

**“EFECTOS DE LAS VARIABLES  
CLIMÁTICAS EN LOS  
CULTIVOS DE MAÍZ Y TRIGO”**

---

---

## EFFECTOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS EN LOS CULTIVOS

---

Es un hecho que el cambio climático es el actual y futuro reto de la humanidad, netamente por el impacto que provoca en la producción, distribución y acceso a los alimentos, lo que se podría transformar en una amenaza para la seguridad alimentaria a nivel mundial.

Es así como las anomalías observadas tanto en las precipitaciones como en las temperaturas, han ido generando de una u otra manera el aumento de la frecuencia y violencia de inundaciones o sequías, que influyen de sobremanera en la productividad de los sistemas agrícolas.

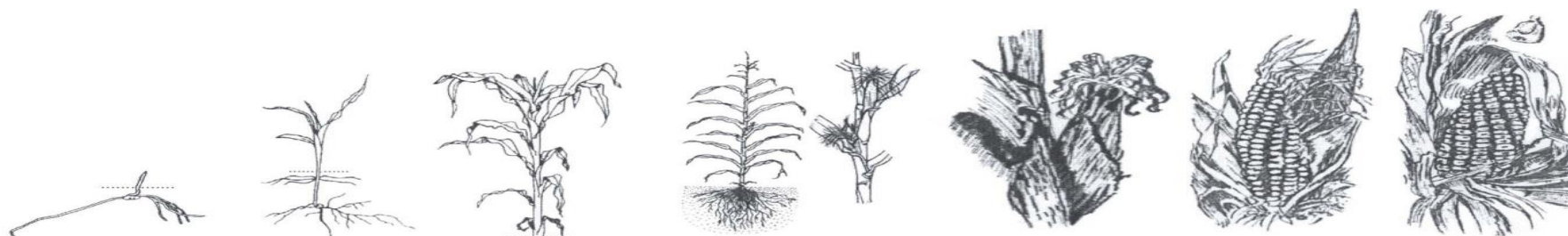
Por lo tanto el clima, como recurso natural afecta directamente la eficacia de la producción agraria, y su influencia dependerá de distintos factores tales como, las características climatológicas de la región o incluso de las condiciones en las que se desarrolla la producción, lo que en general afecta al manejo de recursos sensibles al clima y de gran relevancia para los cultivos en estudio así como el agua y las tierras agrícolas entre otros factores que muchas veces se dejan de lado, pese a que forman parte importante en la contribución de un buen rendimiento del cultivo. Todas constantes interrogantes a las que se ven expuestos los agricultores, y que a través de la presente investigación se pretende generar información respecto al efecto climático en las regiones de Maule, Bío-Bío y Araucanía y en cómo afectan a los cultivos del maíz y el trigo, ya que estas variables forman parte fundamental de la base del modelo de estimación que se utiliza en el presente estudio.

Por ello en el presente capítulo se procedió a identificar los meses críticos en cuanto a precipitaciones y temperaturas para los dos cultivos en estudio, meses que representan un riesgo para el desarrollo de estos cereales, por lo que fue necesario conocer el ciclo vegetativo y reproductivo tanto del maíz como del trigo, los que son expuestos a continuación, definiendo entonces la información climática útil. Además no se utilizaron los doce meses del año, para evitar posibles problemas de multicolinealidad, ya que una de las hipótesis del modelo de regresión lineal múltiple que será uno de los modelos a utilizar, indica que no debe existir relación lineal exacta.



## MAÍZ

Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
<b>Siembra</b>	<b>Crecimiento y Desarrollo</b>				<b>Cosecha</b>	



EMERGENCIA	APARICIÓN DE HOJAS	PANOJA	ESPIGA	MADURACIÓN LECHOSA	MADURACIÓN PASTOSA	MADURACIÓN CÓRNEA
8 días después de germinación	3 a 4 días después de emergencia	60 a 64 días después de emergencia	8 a 10 días después de panoja	26 a 30 días después de emisión de estilos	34 a 38 días después de emisión de estilos	60 a 64 días después de emisión de estilos
Aparición de las plantitas por encima de la superficie del suelo	Aparecen hasta el inicio de la panoja, dependiendo de la variedad puede variar entre 16 y 20	Se observa salir la panoja de la hoja superior de la planta.	Salida de los estilos (cabello de choclo)	Se ha formado la mazorca; se observa líquido lechoso al presionar los granos.	Los granos adquieren el color típico del grano maduro.	Los granos de maíz están duros. Las hojas se tornan amarillas o se han secado.

### Simbología

- Mes crítico Temperatura
- Mes crítico Precipitación

## 4.1 Aspectos Climáticos Maíz

### 4.1.1 Puntos críticos de la temperatura

Las temperaturas que perjudican al maíz de manera crítica se presentan en el mes de Octubre, las cuales siendo inferiores a 10°C afectarían a este cultivo en el periodo de germinación. En este mismo mes cuando ya han aparecido al menos 3 hojas, aproximadamente de 10 a 11 días después de la emergencia, las temperaturas no debiesen ser inferiores o iguales a 4°C, ya que en esta etapa a esa temperatura, el cultivo empieza a sufrir malformaciones, las cuales se traducen en una disminución de los rendimientos.

Caso contrario ocurre en las etapas de aparición de la panoja, espiga y maduración lechosa, etapas en las cuales son las temperaturas máximas sobre 32°C las que afectan a los rendimientos.

### 4.1.2 Puntos críticos de las precipitaciones

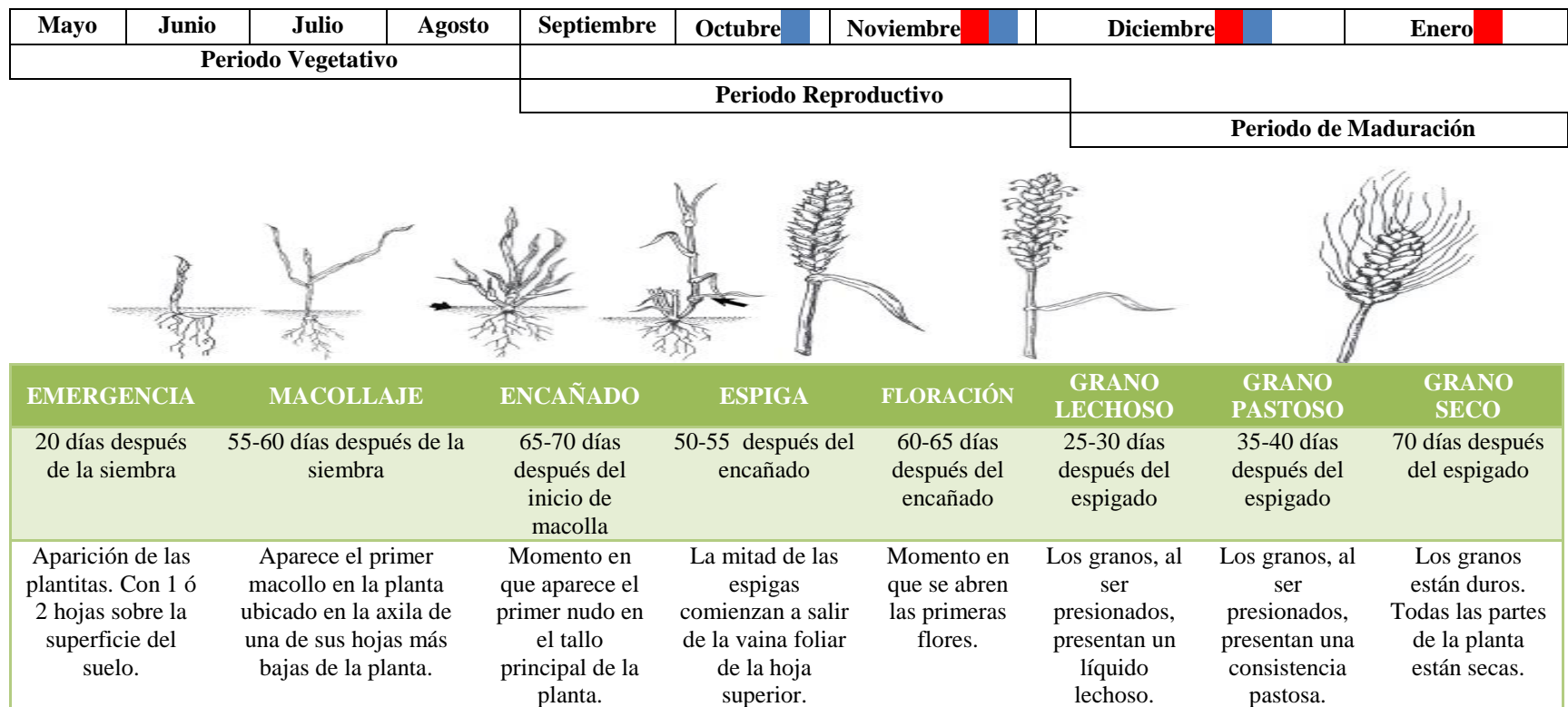
El maíz es un cereal que posee grandes necesidades hídricas a lo largo de sus etapas de desarrollo, pero la falta de agua en ciertos periodos del cultivo representan un riesgo para el rendimiento final. Es así que cuando el maíz posee 12 hojas completamente extendidas, aproximadamente entre los días 47 y 54 después de la emergencia, y en la etapa de la maduración lechosa en donde se produce la generación de granos y se determina el peso de los mismos, una falencia de precipitaciones podrían generar resultados distintos a los que ocurrirían con años con precipitaciones relativamente normales.

**Tabla 6: Resumen de aspectos climáticos que afectan al rendimiento del Maíz**

<b>Mes crítico</b>	<b>Aspecto Climático</b>
<b>Octubre</b>	Temperaturas mínimas
<b>Diciembre – Enero</b>	Temperaturas máximas
<b>Diciembre – Enero</b>	Con precipitaciones

# TRIGO

## Trigo de invierno

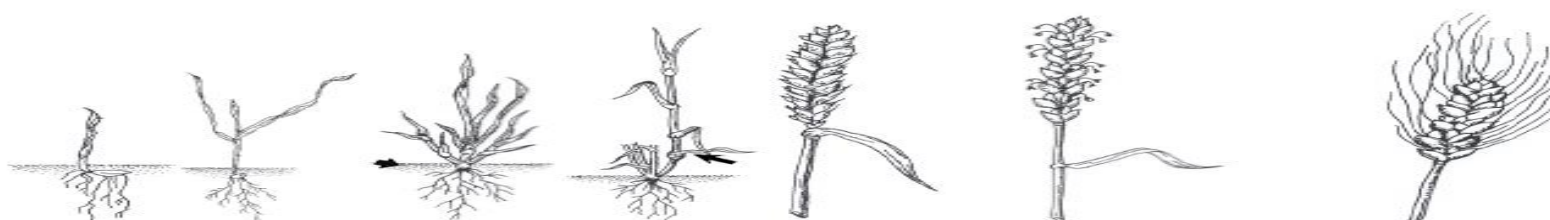


### Simbología

- Mes crítico Temperatura
- Mes crítico Precipitación

### Trigo Intermedio

<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>
<b>Periodo Vegetativo</b>			<b>Periodo Reproductivo</b>				<b>Periodo de Maduración</b>

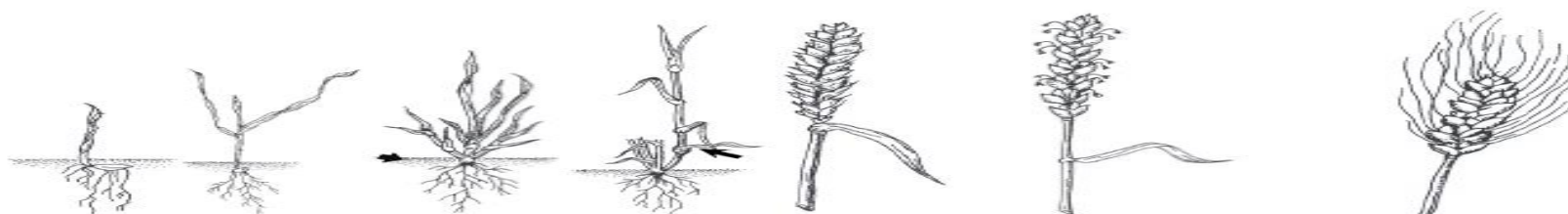
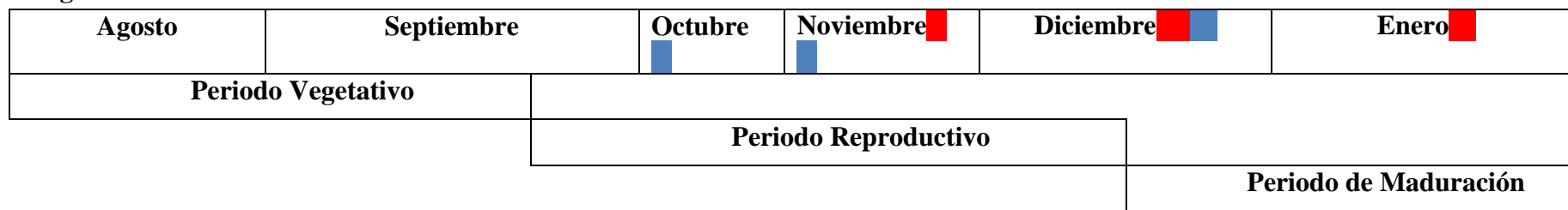


EMERGENCIA	MACOLLAJE	ENCAÑADO	ESPIGA	FLORACIÓN	GRANO LECHOSO	GRANO PASTOSO	GRANO SECO
20 días después de la siembra.	45-50 días después de la siembra.	25-30 días después del inicio de macolla.	60-65 después del encañado.	70-75 días después del encañado	30-35 días después del espigado	40-45 días después del espigado	60-65 días después del espigado
Aparición de las plantitas Con 1 ó 2 hojas sobre la superficie del suelo.	Aparece el primer macollo en la planta ubicado en la axila de una de sus hojas más bajas de la planta. Se debe registrar el inicio de la fase cuando el macollo tenga 1 cm de longitud.	Momento en que aparece el primer nudo en el tallo principal de la planta. Por lo general el primer nudo se localiza a una distancia de 2 a 3 cm sobre el suelo	La mitad de las espigas comienzan a salir de la vaina foliar de la hoja superior.	Momento en que se abren las primeras flores.	Los granos, al ser presionados, presentan un líquido lechoso.	Los granos, al ser presionados, presentan una consistencia pastosa.	Los granos están duros, no pueden ser cortados con las uñas de los dedos. Todas las partes de la planta están secas.

#### Simbología

- Mes crítico Temperatura
- Mes crítico Precipitación

### Trigo Primavera



EMERGENCIA	MACOLLAJE	ENCAÑADO	ESPIGA	FLORACIÓN	GRANO LECHOSO	GRANO PASTOSO	GRANO SECO
20 días después de la siembra.	25 días después de la siembra.	20-25 días después del inicio de macolla.	70 días después del encañado.	75-80 días después del encañado.	25-30 días después del espigado	35-40 días después del espigado	55-60 días después del espigado
Aparición de las plantitas. Con 1 ó 2 hojas sobre la superficie del suelo.	Aparece el primer macollo en la planta ubicado en la axila de una de sus hojas más bajas de la planta. Se debe registrar el inicio de la fase cuando el macollo tenga 1 cm de longitud.	Momento en que aparece el primer nudo en el tallo principal de la planta. Por lo general el primer nudo se localiza a una distancia de 2 a 3 cm sobre el suelo	La mitad de las espigas comienzan a salir de la vaina foliar de la hoja superior.	Momento en que se abren las primeras flores.	Los granos, al ser presionados, presentan un líquido lechoso.	Los granos, al ser presionados presentan una consistencia pastosa.	Los granos están duros, no pueden ser cortados con las uñas de los dedos. Todas las partes de la planta están secas.

#### Simbología

- Mes crítico Temperatura
- Mes crítico Precipitación

## 4.2 Aspectos Climáticos

### 4.2.1 Puntos críticos de la temperatura

El trigo en general, es resistente a las heladas ocasionales durante todo su proceso vegetativo, sin embargo, desde la etapa reproductiva el trigo es más sensible a éstas, durante la floración hasta el estado pastoso del grano las temperaturas bajo 5°C, en especial temperaturas de 0°C o menos causan aborto de las flores, principalmente la parte masculina y esterilidad de las espigas, lo que disminuye su rendimiento (Mellado, 2007). Es por esto que temperaturas mínimas en los meses de Noviembre y Diciembre son consideradas críticas. Por otra parte, temperaturas sobre los 26°C en la etapa de llenado de granos acortará la duración de ésta y por tanto el peso final del grano disminuirá. Por lo tanto, altas temperaturas en el mes de Enero afectarán el rendimiento de la planta (Faiguenbaum, 2003).

### 4.2.2 Puntos críticos de las precipitaciones

Los requerimientos hídricos del cultivo dependen del tipo de suelo en el que se siembren. Es por esto que analizaremos de manera separada la región del Maule a la de Bío-Bío y Araucanía. Debido a que en la primera la zona agroecológica preponderante es la de riego, mientras que en las VII y IX regiones la superficie plantada de trigo es principalmente en secano.

En la séptima región es importante que no ocurran precipitaciones en octubre y noviembre, pues éstas pueden provocar, entre otras cosas, la tendedura de la planta o bien el desgrane en las espigas. Por otra parte, los cultivos en secano de las regiones Bío-Bío y Araucanía necesitan precipitaciones en octubre, noviembre y diciembre, pues éstas son su única fuente de agua en esos periodos, de lo contrario podría acortar la etapa del llenado del grano, haciendo que éstos tengan menor peso o se queden chupados.

**Tabla 7: Resumen de aspectos climáticos que afectan al rendimiento del trigo**

Mes crítico	Aspecto Climático
Noviembre - Diciembre	Temperaturas mínimas
Enero	Temperaturas máximas
Octubre – Noviembre (Maule)	Sin precipitaciones
Octubre- Noviembre – Diciembre (Bío-Bío y Araucanía)	Con precipitaciones

---

## RESULTADOS

---

### 4.3 Maíz

En el caso de este cereal, y como se mencionó anteriormente, los rendimientos y datos meteorológicos de la Araucanía no formarán parte del modelo por la falta de confianza en éstos (principalmente debido a los bruscos cambios en los rendimientos del cultivo, los que alcanzan porcentajes de más 100% en 2001-2002). Es así que luego de realizar variadas pruebas para poder encontrar una función que representara de mejor manera el comportamiento de los rendimientos del maíz, se utilizan solo las variables independientes críticas como las temperaturas mínimas de octubre y la sumatoria de las precipitaciones de enero y diciembre, ya que al modelar se determinaron como estadísticamente significativas a diferencia de la sumatoria de las temperaturas máximas de diciembre y enero, las cuales a pesar de afectar negativamente a este cereal no son significativas, por lo cual no formarán parte del modelo. Finalmente se determinó un modelo con datos de panel.

Los pasos para la estimación del modelo de panel son los siguientes:

- 1- Estimación del modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO).
- 2- Estimación del modelo de panel de efectos fijos.
- 3- Comparación del modelo de MCO con el modelo de efectos fijos.
- 4- Estimación del modelo de panel de efectos aleatorios.
- 5- Comparación del modelo de efectos aleatorios con el de efectos fijos.
- 6- Diagnóstico del modelo seleccionado.

**Tabla 8: Resultados de la estimación de los efectos del cambio climático en el rendimiento del Maíz en las regiones del Maule y Bío-Bío**

	Modelo MCO		Modelo Fijo		Modelo Aleatorio		
	Coefficientes	p-value	Coefficientes	p-value	Coefficientes	p-value	
<b>MAULE y BÍO-BÍO</b>	Intercepto	24.189011	0.09383•	-	-	29.767766	0.02718 *
	Temperaturas mínimas (oct)	-1.974243	0.29827	-3.713297	0.02609 *	-3.408654	0.04510 *
	Precipitaciones (dic-ene)	-0.055554	0.52799	0.148474	0.08378•	0.112733	0.18967
	Tecnología	2.990677	< 2e-16 ***	3.070963	< 2e-16 ***	3.056899	< 2e-16 ***

\*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 • 0.1

Nota: Intercepto Modelo Fijo Bío-Bío: 21.15282; Maule: 40.75236

En primer lugar, para la estimación del modelo de mínimos cuadrados ordinarios de las tres variables utilizadas resultó significativa la variable desarrollo tecnológico. El modelo tiene una bondad de ajuste del 73% y una significancia global correspondiente al 1%.

Para la estimación del modelo de panel de efecto fijo se utiliza las mismas variables usadas en el modelo anterior, pero en este caso el resultado muestra que todas son significativas. Además, en este método se encuentra implícita la variable dummy regional. La regresión es globalmente significativa al 1% y con un R2 ajustado de 83,5%

El tercer paso consiste en la comparación de los dos modelos analizados anteriormente (modelo MCO y modelo de efecto fijo), mediante el pFtest para medir efectos individuales, cuyo p value es de 5.293e-06, lo que nos indica que sí hay efectos significativos, por lo que es mejor el modelo de panel de efecto fijo.

Posteriormente se procedió con la estimación del modelo de panel de efectos aleatorios mediante método de estimación llamado “walhus”, donde resultaron ser significativos las temperaturas mínimas y el desarrollo tecnológico. El modelo es globalmente significativo al 1% y tiene un R2 ajustado de 77%.



Comparando el modelo de efectos aleatorios con el de efectos fijos mediante el test de Hausman, el resultado indica que se rechaza la hipótesis nula ( $p\text{-value} < 0.05$ ), que el mejor modelo es aleatorio y por tanto, aceptamos que el mejor modelo es el de efectos fijos.

### Diagnóstico del modelo de efectos fijos

Dado que ambas comparaciones nos indican que el modelo que mejor se ajusta es el fijo procedemos a realizar el diagnóstico de éste. En primer lugar mediante el test Breusch-Godfrey/Wooldridge para datos de panel se identificó que no presenta problemas de autocorrelación dado que el p value del test es superior al 5%. Para comprobar que el modelo no tenga problemas de heteroscedasticidad se aplicó el Breusch-Pagan test, que dio como resultado un valor p inferior al 5% rechazando la hipótesis nula y aceptando que el modelo no es homocedástico. Respecto a la multicolinealidad, podemos observar que todos los valores VIF de la regresión son inferiores a 10, por lo que no se presenta este tipo de problema. Para la correlación o dependencia en sección transversal se realizaron los test Breusch-Pagan LM y Pesaran CD, donde ambos dieron un p value mayor al 5% aceptando que en el modelo no hay dependencia en sección transversal.

**Tabla 9: Diagnóstico del Modelo de Efecto Fijo del Maíz**

Test	Modelos
	MAULE Y BÍO-BÍO
Breusch-Godfrey/Wooldridge	0.1213
Breusch-Pagan	0.002277
Breusch-Pagan LM	0.7276
Pesaran CD	0.7276
<b>VIF</b>	T°min 1.2
	Pp 1.5
	t 1.0
	D1 1.5

Para solucionar los problemas de heteroscedasticidad en los datos de panel se trabajó mejorando la matriz de varianza-covarianza para corregir los errores estándar del modelo.

**Tabla 10: Modelo Just&Pope**  
**Modelo Final de Medias**                      **Modelo Final de Varianzas**

	Estimate	Pr(> t )	Estimate	Pr(> t )
Precipitaciones	0.148474	0.01313 *	-2.942	0.0657
Temperaturas mínimas	-3.713297	< 2.2e-16 ***	15.004	0.6217
Desarrollo Tecnológico	3.070963	4.191e-08 ***	7.095	0.0362 *
Dummy			-192.784	0.0103 *

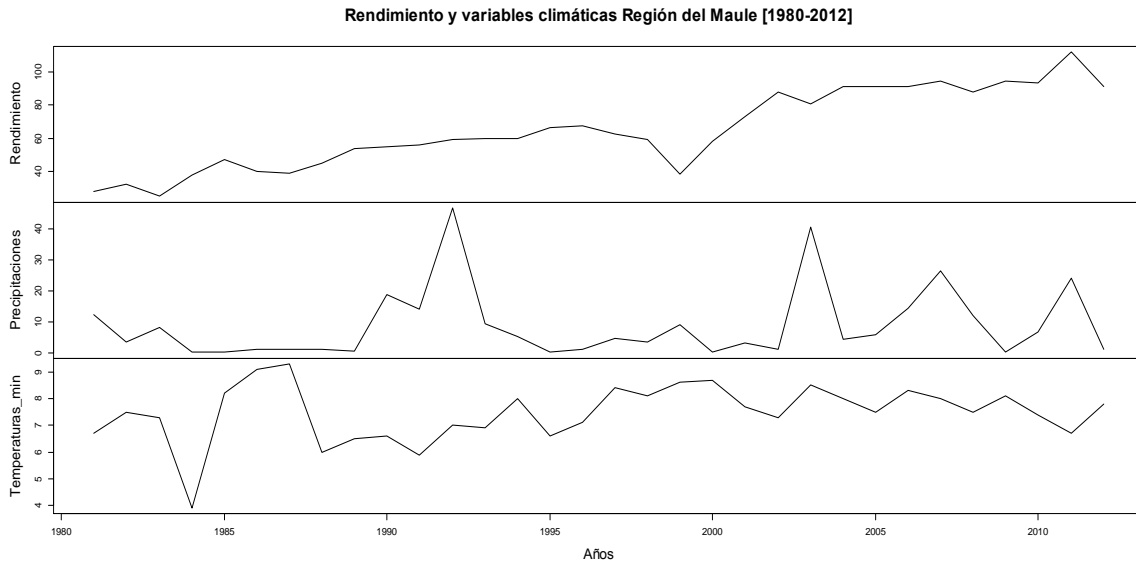
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Con el modelo de las varianzas podemos apreciar que al aumentar las precipitaciones durante los meses de diciembre y enero disminuye la variabilidad del rendimiento del maíz, mientras que las temperaturas mínimas de octubre no afectan a la varianza de los rendimientos. Por otra parte, el desarrollo tecnológico es aumentador del riesgo, puesto que a medida que aumenta la tecnología aumenta la variabilidad del rendimiento. La variable Dummy disminuye el riesgo, pero la región del Maule es menos riesgosa que el Bío-Bío en términos de variabilidad.

#### 4.3.1 Análisis gráfico

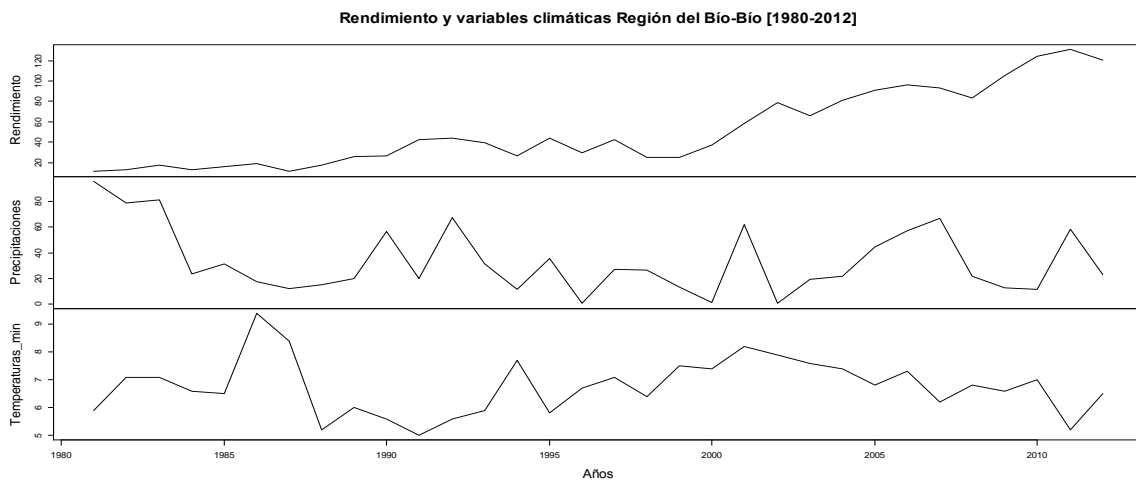
Para poder apreciar de mejor manera el modelo hemos dispuesto en los siguientes gráficos las variables significativas que componen el modelo que se presentó, tanto de Maule como del Bío-Bío, excluyendo a la Araucanía por las anomalías en los rendimientos que se mencionaron con anterioridad. Es así como en Maule se aprecia claramente para el año 1984 que la temperatura media mínima alcanza uno de sus menores valores, provocando a su vez un rendimiento mucho mayor en relación a años anteriores en la región, lo que indica claramente la relación inversamente proporcional que existe entre las temperaturas mínimas y el rendimiento, caso contrario se observa en el año 1999, en donde el rendimiento presenta una baja considerable explicada por temperaturas medias que aumentaron para el periodo. En tanto para el año 2011 se observan precipitaciones relativamente altas en a su vez el rendimiento se comporta de manera positiva, dándose la relación positiva entre las variables dependientes e independientes.

**Gráfico 28: Rendimiento del Maíz y Variables Climáticas, Región del Maule**



En Bío-Bío en tanto se logra observar que para el año 1995 coincidentemente que el rendimiento se comporta positivamente a través de la combinación de temperaturas medias bajas y precipitaciones altas, lo que se repite en varios ciclos a los largo de las series, lo que deja en evidencia la calidad del modelo.

**Gráfico 29: Rendimiento del Maíz y Variables Climáticas, Región del Bío-Bío**



#### 4.4 Trigo

De acuerdo a las características fenológicas del trigo explicadas anteriormente se procedió a estimar modelos de regresión de variadas formas funcionales para establecer los efectos del cambio climático en el rendimiento del cultivo, de éstos se seleccionaron dos modelos distintos, uno logarítmico para el Maule y un modelo lineal para las regiones del Bío-Bío y Araucanía. Los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 11: Resultados de la estimación de los efectos del cambio climático en el rendimiento del Trigo en las regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía**

		Modelos	
		Coefficientes	p-value
<b>MAULE</b>	Intercepto	4.002872	4.12e-06 ***
		-0.727261	0.026 *
	Precipitaciones (oct-nov)	-0.007036	0.619
	Tecnología	0.476703	< 2e-16 ***
<b>BÍO-BÍO y ARAUCANÍA</b>	Intercepto	2.200e+01	0.000401 ***
	Temperaturas mínimas (nov-dic)	-1.193e+00	0.049959 *
	Precipitaciones (oct-nov-dic)	4.862e-02	0.005563 **
	Precipitaciones <sup>2</sup> (oct-nov-dic)	-6.888e-05	0.090664 .
	Tecnología	1.137e+00	< 2e-16 ***
	Dummy regional	-3.200e+00	0.016584 *

‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1

El modelo logarítmico para el Maule es globalmente significativo al 1% y tiene un  $R^2$  ajustado de 95%, por lo que la regresión explica de buena manera las variaciones en el rendimiento del trigo por las variables *temperaturas mínimas*, que corresponden al promedio de los meses críticos de noviembre y diciembre del año anterior a la cosecha, y por lo tanto, el aumento de 1°C en la etapa de reproductiva disminuiría el rendimiento del trigo en promedio -0.727 qq/ha. La otra variable explicativa son las *precipitaciones*, que

corresponde a la sumatoria de los meses de octubre y noviembre, que en concordancia con lo expuesto anteriormente, la presencia de lluvias en esta región durante esos meses afectan el rendimiento del cultivo, por lo tanto si las precipitaciones aumentan 1 mm el rendimiento disminuye en promedio  $-0.007036$  qq/ha. El *desarrollo tecnológico* influye positivamente en la producción puesto que si ésta aumenta en 1 punto el rendimiento del trigo aumenta en promedio  $0.476703$  qq/ha.

En el caso de las regiones del Bío-Bío y Araucanía que se analizan conjuntamente puesto que en ambas regiones la mayor superficie de plantación de trigo se encuentra en seco, zona agroecológica que tiene requerimientos distintos a la de riego. De los modelos analizados, el que mejor explica el rendimiento del trigo por las variables climáticas es un modelo lineal con un nivel de significancia global al 1% y un  $R^2$  ajustado de 91%. Las variables que explican el modelo son las temperaturas mínimas que afectan al rendimiento durante la etapa de floración y llenado de grano, un aumento en  $1^\circ\text{C}$  provocaría una disminución en promedio de  $-1.193$  qq/ha. Las precipitaciones ocurridas en los meses críticos para estas regiones- octubre, noviembre y diciembre- afectan positivamente el rendimiento del trigo, pues es la única fuente de agua para el cultivo en esas fechas. El aumento de 1 mm de precipitaciones aumentaría en promedio  $0.04862$  qq/ha. Por otra parte, si éstas durante el mismo periodo son demasiadas afectarían el desarrollo de la planta y disminuiría el rendimiento, para ello utilizamos la variable precipitaciones al cuadrado que explica este efecto en el rendimiento disminuyéndolo en promedio  $-0.00006888$  qq/ha. El desarrollo tecnológico influye positivamente en el rendimiento pues si éste aumenta 1 punto el rendimiento del trigo aumenta en promedio  $1.137$  qq/ha. Existe además una variable *dummy* que toma el valor 1 cuando se trata de la región de la Araucanía y valor 0 cuando es por el Bío-Bío, esto quiere decir que en Araucanía, en promedio, el rendimiento es menor  $3,2$  qq/ha que en la región del Bío-Bío.

Si bien las temperaturas máximas del mes de enero sobre los  $26^\circ\text{C}$  afectan la duración del llenado de grano lo que afecta su peso final, dentro de los modelos analizados no fue considerada estadísticamente significativa, por ello no se incluye en el análisis.

**Tabla 12: Diagnóstico de los Modelos del Trigo**

Test	Modelos			
	MAULE	BÍO-BÍO Y ARAUCANÍA		
<b>Reset Test</b>	0.1774	0.1118		
<b>Durbin-Watson test</b>	0.164	0.3377		
<b>Breusch-Pagan test</b>	0.1367	0.1908		
<b>Shapiro-Wilk normality test</b>	0.08896	0.8682		
<b>VIF</b>	T°min	1.7	T°min	2.0
	Pp	1.1	Pp	12.3
	Pp <sup>2</sup>		Pp <sup>2</sup>	11.7
	t	1.6	t	1.1
			D1	2.3

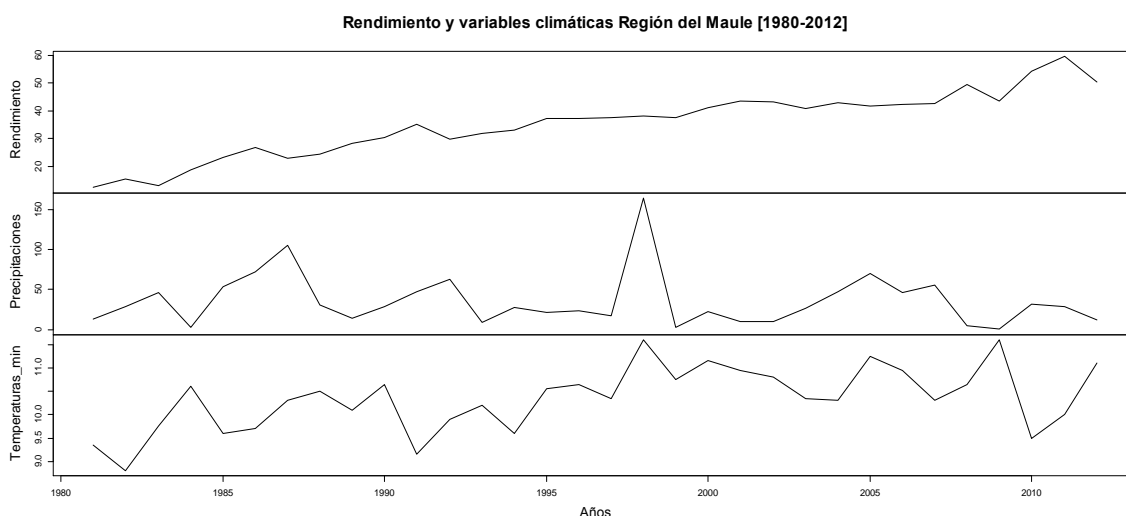
En la tabla anterior podemos ver los resultados del diagnóstico aplicado a los modelos presentados anteriormente. Podemos decir que en ambas regresiones no hay variables omitidas, por lo tanto no tienen problemas en la forma funcional. Con el Durbin-Watson test, dado que su p-value es superior a 5% se establece que los modelos no tienen problemas de autocorrelación. Para comprobar que los modelos no tuvieran problemas de heteroscedasticidad se aplicó el Breusch-Pagan test, que dio como resultado un valor p superior a 5% aceptando la hipótesis nula que el modelo es homocedástico. Respecto a los residuos, podemos decir que éstos siguen una distribución normal, pues el p value del test Shapiro-Wilk es superior al 5%. Observando los valores VIF del modelo logarítmico para la región del Maule, éstos son menores a 10, por lo que no presenta problemas de multicolinealidad. Por otra parte, en el modelo lineal para las regiones del Bío-Bío y Araucanía dos de las variables explicativas tienen valores VIF sobre 10, éstas son las precipitaciones y las precipitaciones al cuadrado, por lo que es esperable la multicolinealidad en ambas variables.

Debemos aclarar que en el modelo de trigo no fue posible estimar un modelo del tipo Just&Pope, debido a la situación de homocedasticidad de las perturbaciones. Además, al comparar los modelos MCO y de efecto fijo, el MCO resultó adecuado por lo que fue utilizado en las estimaciones.

#### 4.4.1 Análisis gráfico

Comparando las variables significativas en el modelo de la región del Maule podemos apreciar en varios ciclos del periodo la relación inversa que existe entre el rendimiento y las temperaturas medias mínimas meses noviembre y diciembre de acuerdo a lo establecido en el modelo logarítmico utilizado para la región. En años como el 2010 el rendimiento del trigo muestra una notable alza, mientras que las temperaturas medias mínimas del ese año alcanzan los niveles más bajos. Por otra parte, cuando el rendimiento disminuye como en el año 1983 las temperaturas mínimas muestran un incremento, evidenciando la relación inversa.

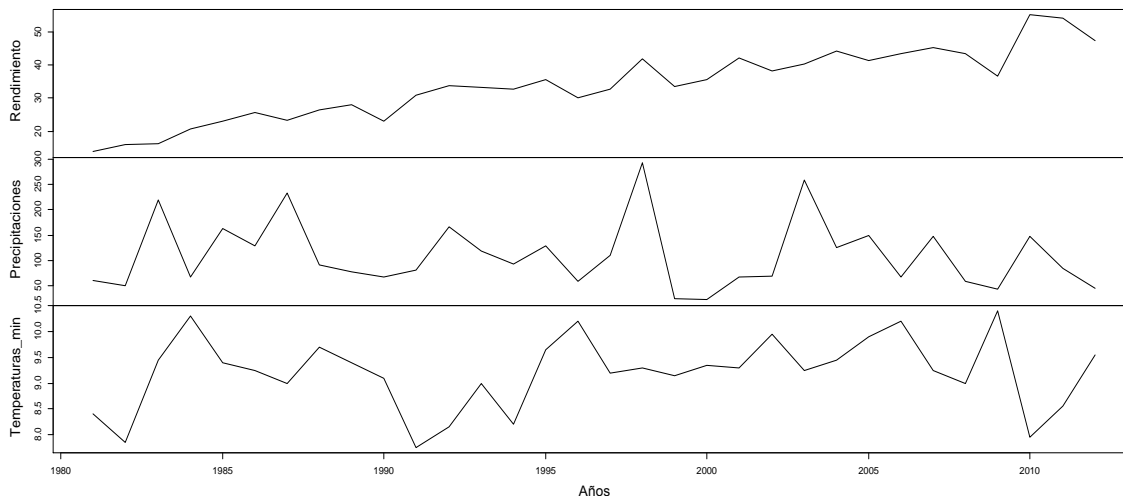
**Gráfico 30: Rendimiento del Trigo y Variables Climáticas, Región del Maule**



Para el modelo establecido de las regiones del Bío-Bío y Araucanía podemos ver que los aumentos en las precipitaciones en los meses octubre, noviembre y diciembre coinciden con los aumentos en los rendimientos de ambas regiones. Esta tendencia se aprecia con claridad por ejemplo en años como 1998 y 2010.

### Gráfico 31: Rendimiento del Trigo y Variables Climáticas, Región del Bío-Bío

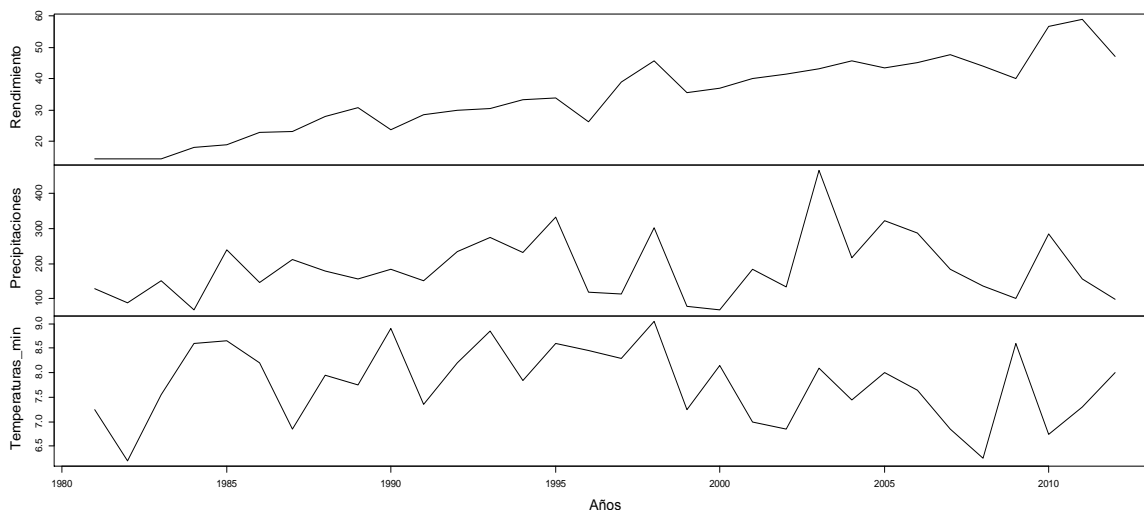
Rendimiento y variables climáticas Región del Bío-Bío [1980-2012]



En el caso de las temperaturas medias mínimas de los meses noviembre y diciembre que tienen una relación inversa con el rendimiento que también es posible observar a lo largo del periodo de análisis, pero con remarcada notoriedad los mismos años 1998 y 2010 cuando el rendimiento aumenta, éstas disminuyen, y en años como 1996 cuando hay bajas en rendimiento respecto a los años anteriores las precipitaciones disminuyen también mientras las temperaturas medias mínimas aumentan.

### Gráfico 32: Rendimiento del Trigo y Variables Climáticas, Región de la Araucanía

Rendimiento y variables climáticas Región de la Araucanía [1980-2012]





---

# **CAPÍTULO V**

## **“CONCLUSIONES”**

---

---

## CONCLUSIONES

---

Los cambios en el clima provocados por causas naturales se han ido desarrollando a lo largo de la historia de la Tierra, que salvo con algunas excepciones, climas cálidos o fríos se han desenvuelto siempre en periodos de tiempo a escala geológica (miles de años), lo que ha posibilitado los procesos de adaptación y supervivencia de muchos ecosistemas. Sin embargo, lo novedoso de los cambios globales que se están produciendo, es que tienen a la especie humana como principal causa y es que además se están desarrollando a un ritmo tal que los tiempos de reacción se acortan, con las consiguientes dificultades para la necesaria adaptación de los sistemas naturales y humanos. (ECOGUIA, 2009)

Es así como observando los resultados generados en los capítulos anteriores, podemos dejar en claro que las sociedades presentes y futuras de una u otra manera se verán en la obligación de realizar grandes esfuerzos para poder adaptarse a una cadena de distorsiones en los sistemas naturales, económicos y sociales generados por el cambio climático, por lo que será necesario entonces realizar una continua vigilancia y posterior investigación del clima, para realizar a tiempo las medidas necesarias de respuesta hacia estos factores.

En el análisis descriptivo de las series temporales climáticas las regiones del Maule, Bío-Bío y Araucanía se identifican ciertas tendencias, como por ejemplo en las precipitaciones, que a lo largo del periodo de análisis muestran una propensión a la baja además de con grandes variaciones, lo que puede provocar escases de agua, recurso valioso para el desarrollo de la agricultura y la vida en general. Respecto a la temperaturas, éstas han aumentado en promedio 1°C en las regiones del Maule y Bío-Bío, mientras que en la Araucanía se han mantenido relativamente constantes.

El rendimiento del maíz, al igual que el trigo se han ido incrementado a lo largo del periodo de estudio, explicado principalmente por el desarrollo tecnológico y perfeccionamiento de los agricultores, con ciertos años de menor rendimiento que coinciden con periodos de sequías experimentados en el país. La mayor variabilidad en los

rendimientos se da en el maíz cultivado en la región de la Araucanía, motivos que no dan la confianza suficiente y por ende se dejaron fuera del análisis.

A través de los modelos empleados fue posible establecer la relación entre el rendimiento de los cultivos del maíz y trigo con las variables climáticas utilizadas, comprobando el efecto que tiene la variabilidad climática sobre el rendimiento de éstos. Para ello fue necesario determinar distintas regresiones para cada cultivo.

En primer lugar, para el maíz se estableció un modelo que incluye a las regiones del Maule y Bío-Bío, dejando fuera a la Araucanía por la poca confiabilidad de los datos del rendimiento de este cultivo. Los resultados de éste indican que el rendimiento del cultivo del maíz se ve afectado significativamente por las precipitaciones acumuladas en los meses de diciembre y enero provocando un incremento en éste al aumentar en 1mm, las temperaturas medias mínimas de octubre también resultan ser significativas, sin embargo, si éstas aumentan en 1°C el rendimiento disminuye. Por otra parte el desarrollo tecnológico es igualmente significativo y afecta positivamente la producción del maíz. Además, en este cereal la variabilidad de los rendimientos aumenta con el desarrollo tecnológico, en cambio, disminuye cuando aumentan las precipitaciones. La dummy regional tiene efectos significativos en la variabilidad de los rendimientos del maíz haciendo mayor la variabilidad en la región del Maule.

Para el caso de trigo se establecieron dos modelos distintos que se adaptan de mejor manera a la realidad de las regiones de análisis. En la región del Maule el rendimiento del trigo se explica por las temperaturas medias mínimas de los meses noviembre y diciembre y por el desarrollo tecnológico, éste último afecta positivamente el rendimiento del cultivo de este cereal, mientras que las temperaturas mínimas lo hacen negativamente. En esta región no resultan ser significativas las precipitaciones.

Por otra parte, en las regiones del Bío-Bío y de la Araucanía, todas las variables analizadas son significativas las temperaturas mínimas y las precipitaciones al cuadrado, al aumentar en una unidad disminuyen el rendimiento del trigo, mientras que las precipitaciones y el desarrollo tecnológico afectan positivamente a éste. Además, la

variable dummy regional también tiene efectos significativos en el rendimiento del cultivo, siendo éstos mayores en la región del Bío-Bío.

Se puede concluir que ambos cultivos en las tres regiones de estudio necesitan de horas de frío durante los meses de octubre, para el maíz, y en noviembre y diciembre, para el trigo. Sin embargo la variable utilizada es temperaturas *medias* mínimas, y no se analiza separadamente las temperaturas extremas mínimas ocurridas durante el periodo crítico, que dependiendo de la duración de éstas y los grados bajo cero alcanzados, afectan de manera irreversible al cultivo, haciendo que muchas veces los productores pierdan toda la cosecha.

Las temperaturas máximas ocurridas en la etapa terminal de ambos cereales fueron definidas como críticas de acuerdo a la literatura revisada, sin embargo, empíricamente se comprobó que no eran significativas en ninguno de los modelos aplicados. Esto puede deberse, al igual que en el caso de las temperaturas mínimas, que la variable utilizada solo considera un promedio de las temperaturas máximas ocurridas durante un mes y no eventos extremos particulares que afecten drásticamente las plantas y disminuyan su rendimiento.

Producto de la homoscedasticidad de los datos climáticos disponibles para las regiones en estudio no fue posible realizar el modelo de producción estocástica del tipo Just&Pope para el trigo, sumando además de que los datos proporcionados por ODEPA acerca de los cultivos, son de carácter regional, lo que dificulta el trabajo con datos de panel, por lo que finalmente se sugiere registrar datos a nivel provincial o comunal, para representar cada estación meteorológica con una medida de rendimiento y así hacer más eficaz un posterior análisis.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

Santibáñez Q., F. (s.f). *los riesgos del clima en la agricultura*.

*ECOGUIA*. (2009). Obtenido de [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=Changing\\_Change\\_Ecoguia.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=Changing_Change_Ecoguia.pdf)

*AgroPanorama.com*. (Agosto de 2013). Recuperado el 03 de Septiembre de 2013, de <http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Maiz.htm>

*AgroPanorama.com*. (Agosto de 2013). Obtenido de <http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Trigo.htm>

*NOAA*. (06 de 08 de 2013). Obtenido de [http://www.noanews.noaa.gov/stories2013/20130806\\_stateoftheclimate.html](http://www.noanews.noaa.gov/stories2013/20130806_stateoftheclimate.html)

*abcAgro.com*. (s.f.). Obtenido de <http://www.abcagro.com/herbaceos/cereales/trigo.asp>

*abcAgro.com*. (s.f.). Recuperado el 26 de 09 de 2013, de <http://www.abcagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>

Agribusiness, H. (s.f.). Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/7031/MAIZ.pdf>

*Biografía de Chile*. (s.f.). Obtenido de <http://www.biografiadechile.cl/detalle.php?IdContenido=1592&IdCategoria=93&IdArea=431&TituloPagina=Historia%20de%20Chile&pos=13>

Cabas et al. (2010). Crop yield response to economic, site and climatic variables. *Climatic Change*, 599–616.

CEPAL. (2010). *Istmo centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México.

Chen et al. (2004). *Yield Variability as Influenced by Climate: A Statistical Investigation*.

*CicloHidrológico.com*. (s.f.). Recuperado el 2013, de <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>

*Cotrisa*. (s.f.). Recuperado el 12 de 09 de 2013, de <http://www.cotrisa.cl/mercado/trigo/nacional/>

DGAC. (s.f.). *Anuarios Climatológicos*. Obtenido de <http://164.77.222.61/climatologia/php/menuAnuarios.php>

*El Agricultor Eficiente*. (s.f.). Obtenido de <http://elagricultoreficiente.blogspot.com/2012/07/el-asurado.html>

Faiguenbaum, H. (2003). *Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile*. Santiago: Vivaldi y asociados.

Fernández citado por Pizarro et al. (1995). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia para la zona centro sur de Chile*. Talca.

FIA. (2003). *Estrategia de innovación agraria para producción de cereales Maíz y trigo*. Santiago.

INE. (2007). *VII CENSO NACIONAL AGROPECUARIO Y FORESTAL*.

INIA. (s.f.). *Temperatura del aire atmosférico*. Recuperado el 2013, de [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc\\_tempe.htm](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_tempe.htm)

IPCC. (2001). *Glosario Terminos*.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: the AR4 Synthesis Report*. Geneva, Switzerland: IPCC.

Just, R. E. and Pope, R. D. 1978. Stochastic specification of production functions and economic implications. *Journal of Econometrics* 7: 67-86.

Mellado, M. (2007). *El trigo en Chile*. Chillán: INIA.

Ministerio del Medio Ambiente. (2008). *Plan de adaptación al cambio climático del sector Silvoagropecuario*. Santiago.

ODEPA. (1997). *Informe de temporada del sector agropecuario resultados 1996/97 y perspectivas 1997/98*. Santiago.

ODEPA. (Noviembre de 2008). Obtenido de <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2127.pdf>

ODEPA. (2011). *Boletín del trigo*. Santiago: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias .

ODEPA. (2012). *Mercado del trigo en Chile*. Santiago: ODEPA.

Ometto, J. (1981). *Bioclimatología Vegetal*. Sao Paulo.

ONEMI. (1996). *Informe preliminar sobre la situación de sequía entre las Regiones III y X*. Santiago.

Sarker et al. (2012). How does the variability in aus rice yield respond to climate variables in Bangladesh? *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189-194.

## ANEXOS

### 1.1 Test de Raíz Unitaria para las Variables Climáticas

VARIABLES CLIMÁTICAS / REGIÓN		AUGMENTED DICKEY-FULLER	PHILLIPS-PERRON	KWIATKOWSI-PHILLIPS-SCHMIDT-SHIN
<b>MAULE</b>	Temperaturas Medias Máximas	Dickey-Fuller=-14.6354 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -125.8737 Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0175 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	Temperaturas Medias	Dickey-Fuller=-14.0849 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -126.4934 Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0734 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	Temperaturas Medias Mínimas	Dickey-Fuller=-11.3832 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -128.4926, Truncation lag parameter = 5, p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0506 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	Precipitaciones	Dickey-Fuller = -10.9675 Lag order = 7, p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -228.231 Truncation lag parameter = 5, p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0718 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
<b>BIO-BIO</b>	Temperaturas Medias Máximas	Dickey-Fuller = -17.068 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -125.5778, Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0052, Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	Temperaturas Medias	Dickey-Fuller = -12.4312 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -126.4131 Truncation lag parameter = 5, p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0326, Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1



	<b>Temperaturas Medias Mínimas</b>	Dickey-Fuller = -11.1917 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -132.2917 Truncation lag parameter = 5, p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0206 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	<b>Precipitaciones</b>	Dickey-Fuller = -12.1483 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -212.0416 Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.2398 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
<b>ARAUCANÍA</b>	<b>Temperaturas Medias Máximas</b>	Dickey-Fuller = -17.3403 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -124.5501 Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0116 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	<b>Temperaturas Medias</b>	Dickey-Fuller = -13.8504 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -127.7863 Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0145 Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	<b>Temperaturas Mínimas</b>	Dickey-Fuller = -11.9598 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -151.0739 Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.1547, Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1
	<b>Precipitaciones</b>	Dickey-Fuller = -11.5567 Lag order = 7 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -236.6936, Truncation lag parameter = 5 p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 0.0292, Truncation lag parameter = 4 p-value = 0.1

## 1.2 Test de Raíz Unitaria para los Rendimientos de Maíz y Trigo

RENDIMIENTO S / REGIÓN		AUGMENTED DICKEY-FULLER	PHILLIPS-PERRON	KWIATKOWSI-PHILLIPS-SCHMIDT-SHIN
MAULE	Maíz	Dickey-Fuller = -2.4857 Lag order = 3 p-value = 0.3851 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -19.082 Truncation lag parameter = 3 p-value= 0.0425 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 1.5518, Truncation lag parameter = 1, p-value = 0.01
	Trigo	Dickey-Fuller = -2.8242 Lag order = 3, p-value = 0.2543 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -21.8813, Truncation lag parameter = 3, p-value = 0.01813 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 1.5999, Truncation lag parameter = 1, p-value = 0.01
BIO-BIO	Maíz	Dickey-Fuller = -1.2429 Lag order = 3, p-value = 0.8656 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -7.9202, Truncation lag parameter = 3, p-value = 0.623 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 1.4964, Truncation lag parameter = 1, p-value = 0.01
	Trigo	Dickey-Fuller = -3.4203 Lag order = 3, p-value = 0.07174 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -30.6605, Truncation lag parameter = 3, p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 1.6025, Truncation lag parameter = 1, p-value = 0.01
ARAUCANÍA	Maíz	Dickey-Fuller = -1.7946 Lag order = 3 p-value = 0.6523 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -17.8805, Truncation lag parameter = 3, p-value = 0.06105 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 1.1997, Truncation lag parameter = 1, p-value = 0.01
	Trigo	Dickey-Fuller = -3.4208 Lag order = 3, p-value = 0.07167 alternative hypothesis: stationary	Dickey-FullerZ( $\alpha$ )= -26.3163, Truncation lag parameter = 3, p-value = 0.01 alternative hypothesis: stationary	KPSS Level = 1.6001, Truncation lag parameter = 1, p-value = 0.01

### 1.3 Salidas del programa R de los pasos para la estimación de los modelos de panel.

#### Estimación del modelo de panel de MCO

Call:

```
plm(formula = ym ~ spped + tmino + t, data = maiz, model = "pooling", index = c("region", "años"))
```

Balanced Panel: n=2, T=32, N=64

#### Residuals

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-40.70	-9.41	3.22	10.60	27.50

#### Coefficients

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )
Intercepto	24.189011	14.207498	1.7026	0.09383 .
Precipitaciones	-0.055554	0.087518	-0.6348	0.52799
Temperaturas Mínimas	-1.974243	1.881590	-1.0492	0.29827
Tecnología	2.990677	0.209898	14.2482	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares 62399  
 Residual Sum of Squares 14042  
 R-Squared 0.77496  
 Adj. R-Squared 0.72653  
 F-statistic 68.8732 on 3 and 60 DF, p-value: < 2.22e-16

### Estimación del modelo de panel de efectos fijos

Call:

```
plm(formula = ym ~ spped + tmino + t, data = maiz, model = "within",
     index = c("region", "años"))
```

Balanced Panel: n=2, T=32, N=64

Residuals

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-31.4000	-5.4900	0.0585	5.9600	35.1000

Coefficients

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )
Precipitaciones	0.148474	0.084413	1.7589	0.08378 .
Temperaturas Mínimas	-3.713297	1.626974	-2.2823	0.02609 *
Tecnología	3.070963	0.178036	17.2492	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares 59563  
 Residual Sum of Squares 9853.7  
 R-Squared 0.83457  
 Adj. R-Squared 0.76937  
 F-statistic 99.2141 on 3 and 59 DF, p-value: < 2.22e-16

Interceptos del modelo fijo:

> fixef

Bío-Bío Maule

21.15282 40.75236

### Comparación del modelo de MCO con el modelo de efectos fijos

*F test for individual effects*

data: ym ~ spped + tmino + t

F	df1	df2	p-value
25.0794	1	59	5.293e-06

alternative hypothesis: significant effects

### Estimación del modelo de panel de efectos aleatorios

Call:

```
plm(formula = ym ~ spped + tmino + t, data = maiz, model = "random",
     random.method = "walhus", index = c("region", "años"))
```

Balanced Panel: n=2, T=32, N=64

Effects

	var	std.dev	share
idiosyncratic	180.449	13.433	0.822
individual	38.961	6.242	0.178

theta: 0.6444

Residuals

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-34.800	-7.290	0.355	8.330	31.100

Coefficients

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )
Intercepto	29.767766	13.146497	2.2643	0.02718 *
Precipitaciones	0.112733	0.084979	1.3266	0.18967
Temperaturas Mínimas	-3.408654	1.665662	-2.0464	0.04510 *
Tecnología	3.056899	0.182871	16.7162	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Total Sum of Squares 59922  
 Residual Sum of Squares 10587  
 R-Squared 0.82331  
 Adj. R-Squared 0.77186  
 F-statistic 93.1945 on 3 and 60 DF, p-value: < 2.22e-16

**Comparación del modelo de efectos aleatorios con el de efectos fijos**

*Hausman Test*

data: ym ~ spped + tmino + t

chisq	df	p-value
102.2554	3	< 2.2e-16

alternative hypothesis: one model is inconsistent

**1.4 Diagnóstico del modelo seleccionado**

**Autocorrelación:**

*Breusch-Godfrey/Wooldridge test for serial correlation in panel models*

data: ym ~ spped + tmino + t

chisq	df	p-value
41.4994	32	0.1213

alternative hypothesis: serial correlation in idiosyncratic errors

**Heteroscedasticidad:**

*Breusch-Pagan test*

data: ym ~ spped + tmino + t + factor(region)

BP	df	p-value
16.633	4	0.002277

**Multicolinealidad:**

Precipitaciones	Temperaturas Mínimas	Desarrollo Tecnológico	Dummy
1.449051	1.182012	1.035478	1.467394

**Dependencia contemporánea o en sección transversal**

*Breusch-Pagan LM test for cross-sectional dependence in panels*

data: formula

chisq	df	p-value
0.1213	1	0.7276

alternative hypothesis: cross-sectional dependence

chisq = 0.1213, df = 1, p-value = 0.7276

*Pesaran CD test for cross-sectional dependence in panels*

data: formula

z	p-value
0.3483	0.7276

alternative hypothesis: cross-sectional dependence

**1.5 Modelo final de medias**

t test of coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
Precipitaciones	0.148474	0.058049	2.5577	0.01313 *
Temperaturas	-	0.144320	-	< 2.2e-16 ***
Mínimas	3.713297		25.7297	
Tecnología	3.070963	0.487956	6.2935	4.191e-08 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

## 1.6 Modelo final de varianzas

Call:

lm(formula = residuals(m1.1)^2 ~ spped + tmino + t + D1, data = maiz)

Residuals

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-323.61	-138.36	-48.06	27.14	858.38

Coefficients

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )
Intercepto	88.359	223.386	0.396	0.6939
Precipitaciones	-2.942	1.569	-1.875	0.0657 .
Temperaturas Mínimas	15.004	30.244	0.496	0.6217
Tecnología	7.095	3.309	2.144	0.0362 *
Dummy	-192.784	72.751	-2.650	0.0103 *

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error      240.2 on 59 degrees of freedom  
 Multiple R-squared            0.188  
 Adjusted R-squared          0.133  
 F-statistic                    3.416 on 4 and 59 DF, p-value: 0.01404



### 1.7 Salidas del programa R los modelos de Trigo para Maule

Call:

lm(formula = log(ytri) ~ log(mintx) + log(pps) + log(tec), data = trigomaule)

Residuals

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-0.270879	-0.060299	0.004294	0.052131	0.158466

Coefficients

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )
Intercepto	4.002872	0.702265	5.700	4.12e-06 ***
Precipitaciones	-0.007036	0.013977	-0.503	0.619
Temperaturas Mínimas	-0.727261	0.309380	-2.351	0.026 *
Tecnología	0.476703	0.023270	20.485	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error 0.08834 on 28 degrees of freedom

Multiple R-squared 0.9538

Adjusted R-squared 0.9489

F-statistic 192.7 on 3 and 28 DF, p-value: < 2.2e-16

## 1.8 Diagnóstico del modelo logarítmico del Maule

### Heteroscedasticidad:

*Breusch-Pagan test*

data:  $\log(ytri) \sim \log(mintx) + \log(pps) + \log(tec)$

BP	df	p-value
5.5328	3	0.1367

### Multicolinealidad:

Precipitaciones	Temperaturas Mínimas	Desarrollo Tecnológico
1.100003	1.700519	1.575622

### Forma Funcional

*RESET test*

data:  $\log(ytri) \sim \log(mintx) + \log(pps) + \log(tec)$

RESET	df	df2	p-value
1.8497	2	26	0.1774

### Autocorrelación

*Durbin-Watson test*

Dwtest:  $(\log(ytri) \sim \log(mintx) + \log(pps) + \log(tec))$

DW	p-value
1.7322	0.164

Alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0

## 1.9 Salidas del programa R los modelos de Trigo para Bío-Bío y Araucanía

Call:

$\text{lm(formula} = \text{yt} \sim \text{tminx} + \text{ppx} + \text{t} + \text{D1} + \text{I(ppx}^2), \text{data} = \text{trigobya})$

Residuals

Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-7.9342	-2.3411	0.0099	2.2069	8.8213

Coefficients

	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )
Intercepto	2.200e+01	5.856e+00	3.757	0.000401 ***
Precipitaciones	4.862e-02	1.688e-02	2.880	0.005563 **
Temperaturas Mínimas	-1.193e+00	5.957e-01	-2.002	0.049959 *
Tecnología	1.137e+00	4.670e-02	24.351	< 2e-16 ***
Precipitaciones <sup>2</sup>	-6.888e-05	4.003e-05	-1.721	0.090664 .
Dummy	-3.200e+00	1.297e+00	-2.467	0.016584 *

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error 3.403 on 58 degrees of freedom  
 Multiple R-squared 0.9155  
 Adjusted R-squared 0.9082  
 F-statistic 125.6 on 5 and 58 DF, p-value: < 2.2e-16

### 1.1 Diagnóstico del modelo lineal de Bío-Bío y Araucanía

**Heteroscedasticidad:**

*Breusch-Pagan test*

data: lm(formula = yt ~ tminx + ppx + t + D1 + I(ppx^2), data = trigoby)

BP	df	p-value
7.4271	5	0.1908

**Multicolinealidad:**

Precipitaciones	Temperaturas Mínimas	Desarrollo Tecnológico	Precipitaciones <sup>2</sup>	Dummy
12.303755	2.040944	1.027936	11.681689	2.325166

**Forma Funcional**

*RESET test*

RESET	df	df2	p-value
2.2786	2	56	0.1118

**Autocorrelación**

*Durbin-Watson test*

Dwtest:  $(\log(ytri) \sim \log(mintx) + \log(pps) + \log(tec))$

DW	p-value
1.9667	0.3377

Alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0