



“CAMBIO CLIMÁTICO, SEQUÍA Y POBREZA EN CHILE”

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN ANÁLISIS ECONÓMICO**

**Alumna: Alexander Mackenzie Hughes
Profesor Guía: Damian Clarke**

Santiago, Marzo 2023

I. Contenido

Resumen	3
I. Introducción.....	4
II. Contexto y revisión de la literatura.....	7
i. Mega sequía en Chile	7
ii. Revisión de la literatura.....	8
III. Metodología.....	10
i. Estrategia Empírica.....	11
IV. Datos.....	14
i. Datos socioeconómicos	14
ii. Datos climatológicos	16
1. Definición del Standardized Precipitations Index (SPI).....	17
2. Definición del Standardized Precipitations Evapotranspiration Index (SPEI).....	18
iii. Datos utilizados y estadística descriptiva	20
V. Resultados.....	22
i. Efectos en ingresos reales.....	22
ii. Efectos en desempleo	27
iii. Efectos en pobreza	32
iv. Controlando por Family Wise Error Rates (FWER)	37
v. Discusión	38
VI. Conclusiones e implicancias de política pública	39
VII. Bibliografía.....	42

Resumen

i) Según la CEPAL, se estima una reducción en las precipitaciones anuales de un 30% entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos para finales de siglo, junto con un costo anual de 1,1% del PIB hasta el año 2100. ii) Utilizando una metodología de pseudo panel con encuestas CASEN desde 1990 hasta 2020 e indicadores de sequía a nivel comunal, se estima el efecto de la sequía sobre salarios reales, pobreza y desempleo, empleando efectos fijos por comuna y año, a nivel país, y por subgrupos. iii) No se halla evidencia de incidencia de sequía sobre salarios, tanto a nivel general como por subgrupos, sin embargo, el aumento de una desviación estándar en la negatividad del SPI-12 se asocia a un incremento de probabilidad de 0,36% en desempleo y un 0,35% en pobreza utilizando SPEI-12. iv) Los resultados sugieren que personas en situación de pobreza son más propensas a vivir en zonas secas y estarían más restringidas en poder mitigar los efectos de la sequía (migración selectiva).

Agradezco al profesor Mauricio Zambrano-Biagirini, profesor asociado de la Universidad de la Frontera e investigador del Center for Climate and Resilience Research (CR)², por sus comentarios y facilitación de datos. Cualquier error es de mi responsabilidad.

I. Introducción

Existe un amplio consenso científico que afirma que el cambio climático es un fenómeno principalmente antropogénico, y, posiblemente, irreversible (IPCC, 2019). En 2021, las concentraciones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) alcanzaron niveles sin precedentes, con el aumento anual en la concentración de metano más alto jamás registrado (ONU, 2022).

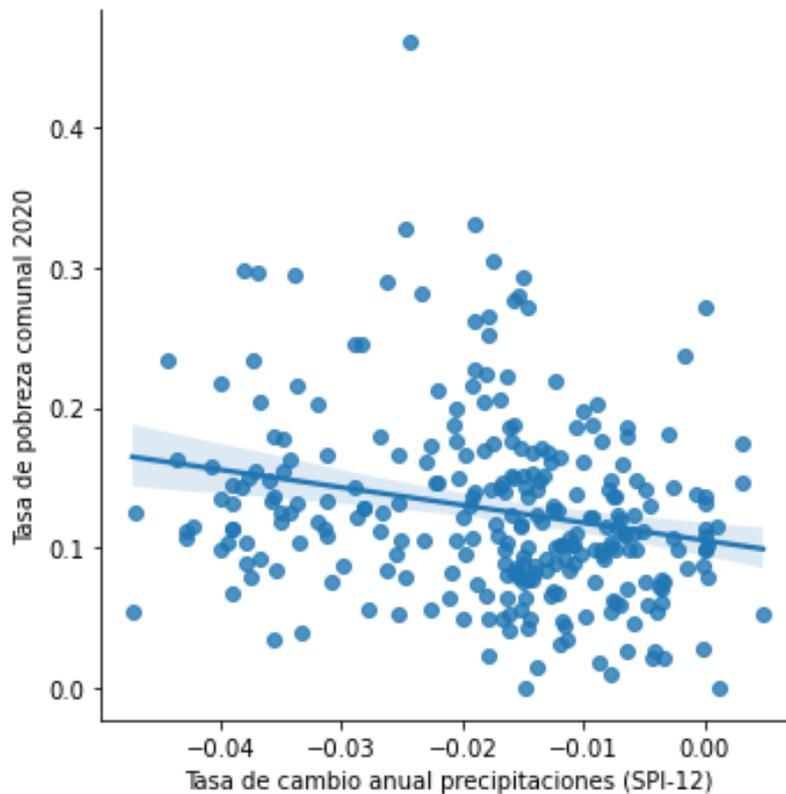
Se estima que las actividades humanas ya son responsables de un incremento global de 1°C, y, según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2019), en un pronóstico optimista con grandes avances en la reducción de emisión de gases invernadero de aquí a 2030, se podría limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C en los próximos decenios. De no cumplirse, se espera un aumento que sobrepase los 2°C. Esta variación en la temperatura puede llegar a corresponder a un cuarto de la diferencia entre la media de temperatura actual y la de la Edad del Hielo.

De acuerdo con la ONU (2021), en América Latina, la sequía generalizada ha tenido impactos sobre el rendimiento de los cultivos y la producción de alimento. En Guatemala, las condiciones climáticas han contribuido a la pérdida del 80% de la cosecha de maíz; además, ha habido reducciones drásticas en las masas de hielo de los glaciares de Chile y Argentina desde 2010. Por último, del 27% de la población que vive en áreas costeras de América Latina y el Caribe, un 8% tiene un riesgo alto o muy alto de verse afectada por el incremento del nivel del mar.

Lo anterior demuestra que no solo es importante la magnitud de los impactos del cambio climáticos, sino cómo éstos se distribuyen. En general, es la población más pobre la que está más expuesta a los embates del cambio climático. De acuerdo con Hallegatte et al., (2018) la gente más pobre suele estar asentada en áreas más expuestas a desastres climáticos. En países como Bangladesh, India y Honduras, las personas en situación de pobreza ven entre 2 a 3 veces más afectados sus activos a causa de desastres climáticos como sequías o inundaciones que personas no pobres (Hallegatte & Rozenberg, 2017).

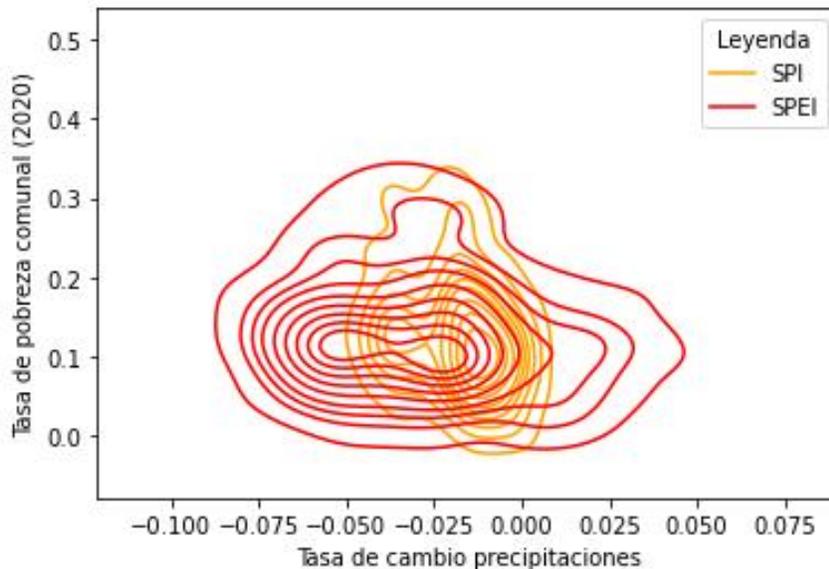
En Chile, la situación no es muy distinta. Desde 2010 se observa una secuencia ininterrumpida de años secos en Chile central, con déficit anuales de precipitación que varían entre un 25 a 45% (R. D. Garreaud et al., 2017, 2021). En lo que respecta al futuro, se espera una reducción en las precipitaciones anuales de un 30% entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos para finales de siglo (CEPAL, 2016); asimismo, se estima que producto de los costos asociados al cambio climático, Chile podría alcanzar una pérdida anual de 1,1% del PIB hasta el año 2100.

Figura 1: Relación entre tasa de pobreza comunal y tasas de cambio interanuales de precipitación históricas por comuna.



Notas: Una tasa anual de cambio de precipitaciones negativa significa que una comuna ha tenido una tendencia a ver reducidas sus precipitaciones entre 1990 y 2020. Se puede notar una asociación entre escasez de precipitaciones y pobreza reportada en 2020. Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Estimación de densidades kernel de comunas según su tasa de cambio de precipitaciones y pobreza presentada en 2020, según SPI-12 y SPEI-12.



Notas: En este gráfico se emulan curvas de nivel para representar la distribución de comunas según pobreza y sequía, utilizando dos indicadores de sequía (SPI/SPEI). Si predomina la relación entre escasez de precipitaciones y pobreza a nivel nacional, se espera una mayor densidad de comunas aproximándose hacia la esquina superior izquierda de la figura. Fuente: Elaboración propia.

Dicho lo anterior, resulta razonable analizar, dado el incremento de la sequía que se ha venido dando históricamente, si es que la sequía se ha traducido en mayor pobreza en nuestro país. De este modo, podremos tener una aproximación de qué impactos podría tener una intensificación de ésta en años próximos.

En esta investigación, se abordará la relación entre sequía y ciertos *outcomes* de interés tales como ingresos, desempleo y pobreza. Se puede presumir que un aumento de la sequía podría ocasionar detrimentos en los niveles de ingresos de los sectores económicos que más dependen del clima, como la agricultura. Este trabajo se constituye como un aporte novedoso a la

literatura, ya que es una primera aproximación a los canales a través de los cuales el déficit de precipitaciones opera sobre la pobreza en Chile.

La presente tesis se estructura del siguiente modo: la sección II se realiza una revisión del estado del arte relacionado al vínculo entre cambio climático y pobreza, así como con otros *outcomes*; la sección III entrega la metodología y estrategia empírica a seguir para entender la relación entre cambio climático, sequía y pobreza; la sección IV presenta los datos; los resultados se presentan y se discuten en la sección V para concluir y entregar implicancias de política pública en la sección VI.

II. Contexto y revisión de la literatura

i. Contexto: Mega sequía en Chile y su origen

El cambio climático puede impactar a través de varios fenómenos: inundaciones, sequías, intensificación de ciclones, etc. Sin embargo, existe un fenómeno en particular que enciende las alarmas en nuestro país que es el déficit de precipitaciones. Según se documenta en R. Garreaud et al., (2021) y R. D. Garreaud et al., (2017), desde 2010 se observa una secuencia ininterrumpida de años secos en Chile central, con déficit anuales de precipitación que varían entre un 25 y 45%. De acuerdo con los autores, son varias implicancias las que se reconocen de la mega sequía: disminución de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, descenso del aporte de nutrientes a la zona costera, disminución del verdor de la vegetación natural, incremento del área consumida por incendios forestales y abastecimiento de agua potable en zonas rurales.

El principal factor que determina la cantidad de precipitación que recibirán las zonas central y sur del país es la presencia del llamado “anticiclón del Pacífico Sur” (también llamado *Anticiclón Subtropical Semi-Permanente del Pacífico Sur*), que corresponde a una gran área de la atmósfera de alta presión ubicada en el Pacífico Sur -frente a las costas de Chile- donde el aire desciende y rota en el sentido contrario a las agujas del reloj (Vicencio, 2018).

Según se explica en Vicencio (2018), este anticiclón funciona como una barrera ante los sistemas frontales, los que son responsables de gran parte de las lluvias entre La Serena y Valdivia. La llegada de lluvias a Chile depende de la posición e intensidad del anticiclón: mientras más al sur se ubique, los eventos de lluvia que provienen desde el Oeste podrán consecutivamente llegar más al norte del país; por su parte, una mayor intensidad del anticiclón (mayor presión atmosférica) se asocia a una mayor dificultad de ingresos de eventos de lluvia en las zonas centro sur del país.

Esto deriva en que cualquier fenómeno que afecte la ubicación o intensidad del anticiclón impactará a la cantidad de lluvias a recibir en el país.

Uno de estos corresponde a una mancha cálida frente a Nueva Zelanda, según describen R. Garreaud & Jacques (2020), que corresponde a una zona oceánica -cuya extensión es mayor que la que la de Estados Unidos territorial- que se ha calentado sobre 1,5 °C en los últimos 40 años, mientras que la temperatura de las aguas contiguas solo se ha incrementado entre 0,2 y 1 °C. Según describen Garcia (2021) y R. D. Garreaud et al., (2021), esta mancha cálida ha jugado un rol en el aumento de temperatura, en la intensificación del anticiclón, y, por ende, en las precipitaciones. Aun cuando el origen de esta mancha es natural -podría inclusive desaparecer- Garreaud manifiesta que las tasas de calentamiento de la mancha son entre un 50 a 70% mayor a las vistas históricamente, con persistencias más largas, por lo que es muy probable que la intensidad de la mancha cálida esté relacionada al cambio climático y a su origen antropogénico.

Todo lo anterior es relevante para entender el origen y la importancia de estudiar los impactos que la sequía -agudizada por el cambio climático- podría ocasionar sobre la población más vulnerable en Chile.

ii. Revisión de la literatura

Existe abundante literatura que aborda la relación entre cambio climático y pobreza. En Hallgatte et al. (2018) realizan una revisión bibliográfica abordando la relación entre exposición y vulnerabilidad de personas en situación de pobreza con shocks que se esperan que

aumenten en frecuencia e intensidad tales como inundaciones, sequías y sus impactos en la producción agrícola y en los ecosistemas. Concluyen que la relación entre pobreza y vulnerabilidad al clima va en ambos sentidos: la pobreza es uno de los mayores *drivers* de la vulnerabilidad a shocks climáticos, así como también es esa vulnerabilidad la que mantiene a las personas en la pobreza.

Asimismo, Hallegatte et al. (2014) al analizar los efectos del cambio climático sobre pobreza, examinan cuatro canales a través de los cuales los hogares consumen y pueden escapar o caer en pobreza: precios, activos, productividad y oportunidades. Concluyen principalmente que i) el cambio climático representa un obstáculo mayor para la erradicación de la pobreza; y ii) el cambio climático no modifica cómo deben diseñarse los programas de reducción de pobreza, pero sí incrementa su necesidad y urgencia.

Hay una conexión relevante entre agricultura, pobreza y cambio climático. Jacoby et al., (2015) en base a un modelo de equilibrio general de intercambio con factores específicos, estiman que tres décadas de calentamiento global reducirán entre 7 a 13% la productividad agrícola en India. En Bangladesh, Banerjee (2006) estudia las consecuencias de desbordamientos de ríos sobre la formación de salarios en agricultura desde 1979 hasta 2000. Sus resultados muestran que, aun cuando ciertos desbordamientos tienen implicancias positivas con los salarios en el largo plazo, los salarios caían en los meses en que los distritos se inundaban. Los efectos de la sequía no se hacen notar solo en agricultura. Somanathan et al., (2021) utilizan microdatos en India de empresas de manufactura para mostrar que en días más cálidos existe mayor ausentismo y menor productividad laboral

Por otra parte, ha habido estudios que intentan cuantificar el impacto de la sequía sobre la pobreza. Barbier & Hochard (2018) realizan un análisis espacial que indica que en el año 2000 un tercio de la población rural de países en desarrollo estaba asentada en áreas agrícolas poco favorecidas.

Existen otras líneas de estudio que analizan el vínculo de shocks climáticos con otros *outcomes* distintos a pobreza. De Goyeneche (2020) investigó la relación entre sequía y violencia doméstica en Chile. A través de diferencias en diferencias y utilizando un modelo de negociación intra-hogares, halla que un evento de sequía está asociado a una disminución de entre un 2 a un 8% de las denuncias de violencia doméstica.

Con relación al desempleo, Brookes et al. (2021) estimaron el impacto del aumento de temperaturas y sequía sobre desempleo en Sudáfrica, utilizando efectos fijos con datos de panel entre 2008 y 2017. Encuentran que las condiciones de sequía disminuyen un 3,2% las probabilidades de estar empleado.

La mayoría de la literatura sobre impactos de sequía se concentra en países de bajo desarrollo económico, siendo la mayoría de las veces aquellos provenientes de África. Sin embargo, Kahn et al. (2021) estiman los efectos de largo plazo del cambio climático en la actividad económica, utilizando un panel de 174 entre los años 1960 y 2014, hallando que el producto per capita se ve perjudicado ante cambios persistentes de la temperatura por sobre o por debajo de sus valores históricos, además de efectos marginales heterogéneos entre climas y grupos de ingreso. En suma, se puede argumentar de que existe amplia evidencia de los efectos adversos que trae el cambio climático por sobre el bienestar social.

Entendiendo la vulnerabilidad a shocks climáticos como un problema que requiere ser abordado, se deben proponer mecanismos que permitan proteger o prevenir a las poblaciones vulnerables frente a estos shocks. De acuerdo con Fuchs & Wolff (2016), los agricultores menos aversos al riesgo tienden a sub invertir y a producir cultivos más seguros de menor rendimiento. En función de esto, los autores estudian los efectos de la introducción de un seguro indexado a la cantidad de precipitación de la productividad de los agricultores implementado en México, el cual tuvo efectos positivos en la productividad de cultivos de maíz.

III. Metodología

El objetivo de esta tesis es hallar cuál es el impacto del déficit de precipitaciones sobre distintos *outcomes* de interés, tales como ingresos, pobreza y desempleo, a través del tiempo. La idea es determinar si, de afectar positivamente en pobreza, esta incidencia se produce vía menores salarios y/o mayor desempleo. Debido a que la sequía es una variable que -se asume- impacta en la pobreza en el largo plazo, se debe construir un modelo que sea capaz de representar los shocks contemporáneos de sequía a través de los índices *Standardized Precipitation*

*Index (SPI) y Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)*¹, así como también las variables de ingreso, a lo largo del tiempo.

Por otra parte, es posible que existan varios inobservables que pudieren estar influyendo en los *outcome* de interés. Por ejemplo, pueden existir comunas con tierras más productivas que otras, lo cual alteraría las estimaciones del efecto de la sequía sobre ingresos de agricultores. Una estrategia de panel permitiría controlar por características que se asumen invariantes a lo largo de los años. Lamentablemente, no existen encuestas longitudinales que recaben información de ingresos a nivel comunal, cuya frecuencia y fecha de inicio permitan capturar efectos de la sequía a largo plazo.

Debido a que el objetivo del estudio es determinar el efecto de la sequía a nivel nacional (y no a nivel individual), se propone un modelo de pseudo panel a partir de la CASEN con cohortes a nivel de comuna y año. Utilizando efectos fijos, es posible controlar por todas aquellas características que podemos asumir invariantes a lo largo de los años y que pudieran haber influido en los *outcomes* de interés. Este es un enfoque muy similar al utilizado en (Deschenes & Greenstone, 2006) que incluye efectos fijos por año y región con el fin de controlar determinantes invariantes específicos por región no observables y por diferencias anuales que sean constantes en las regiones. Siguiendo lo anterior, se asume que -de no existir sequía-, las comunas seguirían tendencias paralelas entre sí.

i. Estrategia Empírica

El modelo general por utilizar en esta investigación es el siguiente:

$$Y_{ct} = \beta_0 + \beta_1(SPEI^- - 12)_{ct} + \beta_k X_{k,ct} + \mu_c + \varphi_t + u_{it}$$

Donde:

¹ SPI y SPEI son índices estandarizados de precipitaciones que permiten determinar sequía o superávit en un año y área determinados. Se profundizará en ellos en la sección ii) Datos climatológicos.

Y_{ct} representa la variable dependiente donde c representa la comuna y t el año, la cual puede ser una variable de ingresos, pobreza o desempleo, la cual también es posible dividir en sub-grupos;

$SPEI^{-12}_{ct}$ corresponde al negativo del índice SPEI-12 promedio para la comuna c en el año t (para facilitar la interpretación de los resultados);

$X_{k,ct}$ corresponde a las variables independientes;

β_k representa los coeficientes de las variables independientes;

μ_c representa efectos fijos por comuna del país;

φ_t corresponde a efectos fijos por año.

u_{ct} corresponde al término de error.

La elección del modelo de efectos fijos por sobre el modelo de efectos aleatorios recae en que se asume que los efectos individuales específicos están correlacionados con las variables independientes. Dado este supuesto, el estimador de efectos aleatorios no sería consistente. Por otra parte, el modelo sería capaz de captar la heterogeneidad de condiciones climáticas de cada comuna, lo cual es importante ya que permite que cada comuna se compare consigo misma a lo largo de los años.

Para la estimación del impacto de la sequía por sobre los salarios de los trabajadores ocupados a lo largo del tiempo, la variable dependiente Y_{ct} corresponde a los ingresos reales provenientes de la ocupación principal, las cuales fueron llevadas a pesos de 2020. Adicionalmente, se estima esta regresión restringiendo la muestra por distintos grupos: por rama de actividad principal del trabajador, categoría ocupacional y sexo, con el fin de poder realizar comparativas entre estos grupos.

Luego, se estima el efecto de la sequía sobre pobreza y desempleo. Para estimar cómo afecta la sequía en la probabilidad de estar desempleado se estima el mismo modelo, utilizando una dummy como variable dependiente Y_{it} que toma valor 1 si la persona está desempleada y 0 si está ocupada, mientras que, en el modelo de pobreza, toma valor 1 si es que la persona se encuentra en situación de pobreza y 0 si no.

$$\ln(\text{Ingreso Real}_{ct,a,g,s}) = \beta_0 + \beta_1(\text{SPEI}^- - 12)_{ct} + \beta_k X_{k,it} + \mu_c + \varphi_t + u_{ct}$$

$$\text{Desempleo}_{ct,r,z,s} = \beta_0 + \beta_1(\text{SPEI}^- - 12)_{ct} + \beta_k X_{k,ct} + \mu_c + \varphi_t + u_{ct}$$

$$\text{Pobreza}_{ct,r,z,s} = \beta_0 + \beta_1(\text{SPEI}^- - 12)_{ct} + \beta_k X_{k,ct} + \mu_c + \varphi_t + u_{ct}$$

Donde:

$$\text{Desempleo} = \{1,0\}$$

$$\text{Pobreza} = \{1,0\}$$

$$a = \{\text{Agricultura, Manufactura, Comercio, Otra rama}\}$$

$$g = \{\text{Empleado, Cuenta Propia, Empleador}\}$$

$$s = \{\text{Hombre, Mujer}\}$$

$$r = \{\text{Región de Arica y Parinacota, ..., Región de Magallanes}\}$$

$$z = \{\text{Urbano, Rural}\}$$

Mientras que la estimación de ingresos reales se correspondería con un modelo de regresión lineal con efectos fijos tomando como base una ecuación de Mincer, en el caso de la estimación de probabilidad de pobreza y desempleo se utiliza un modelo de probabilidad lineal (MPL). Esta elección se funda principalmente en que el uso de modelos econométricos no lineales -usualmente más adecuados para este fin- como lo son *probit* y *logit*, es que entregan estimaciones inconsistentes en presencia de efectos fijos, lo cual es conocido en la literatura como el *incidental parameters problem* (Neyman & Scott, 1948).

De manera complementaria -y cuando es posible- se incluye en los modelos el uso del índice SPI-12 como variable independiente principal.

Es importante destacar que, por definición, un aumento del SPEI-12 o del SPI-12 significa mayor precipitación. Con el propósito de facilitar la lectura de resultados, en todas las

regresiones se utilizó el negativo de este índice (digamos, (-) SPEI-12), con el fin de interpretar los resultados como aumentos marginales de sequía y no de precipitaciones.

IV. Datos

La data para utilizar en este trabajo considera dos dimensiones: por un lado, se requiere información socioeconómica a través del tiempo, y, por otro lado, información climatológica con la cual identificar shocks de sequía a lo largo de los años.

i. Datos socioeconómicos

Una de las encuestas de ingresos más importantes es la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN). Esta es de tipo transversal y se encuentra disponible públicamente desde 1990 hasta 2020, aplicándose a nivel nacional cada 2 a 3 años, reuniendo información de hogares en educación, salud, trabajo, entre otros, con representatividad nacional y regional. En particular, se cuenta con las encuestas correspondientes a los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2003, 2006, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017 y 2020 (14 olas), las que fueron descargadas y concatenadas en una sola base. En total, se cuentan con cerca de 2.862.587 observaciones, con un promedio de 204.470 encuestados cada año.

Aun cuando esta encuesta sea de tipo transversal, en que no sean encuestados los mismos individuos a través del tiempo, es posible formar un pseudo panel, en el cual la unidad a seguir sean las comunas. De esta manera, es posible seguir a las entidades a través del tiempo utilizando los datos disponibles.

Tabla 1: Evolución del ingreso promedio nacional utilizando los ingresos por actividad principal a nivel individual (ajustados a pesos 2020) según actividad principal del encuestado. Fuente: Elaboración propia, con datos de CASEN 1990-2020.

Ingreso por actividad principal (en pesos 2020)				
Año	Agricultura	Comercio	Manufactura	Otro sector
1990	166,823	224,242	230,125	248,134
1992	169,025	275,086	292,010	305,401
1994	164,930	297,875	381,812	329,363
1996	174,595	280,588	326,673	361,200
1998	195,243	309,944	348,307	385,350
2000	192,604	276,760	323,350	356,278
2003	192,449	311,152	340,721	398,710
2006	211,613	283,664	317,353	394,268
2009	229,081	279,730	330,150	395,340
2011	260,081	309,978	387,480	485,595
2013	295,765	359,085	416,589	536,798
2015	321,072	375,005	437,372	571,353
2017	342,544	404,232	480,926	614,831
2020	419,205	421,264	507,052	673,617

*Tabla 2: Evolución de tasas de pobreza por región a través de los años.
Fuente: Elaboración propia con datos de CASEN 1990-2020.*

Tasas de Pobreza Regional														
Región	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2003	2006	2009	2011	2013	2015	2017	2020
I	0.58	0.50	0.37	0.38	0.32	0.33	0.35	0.27	0.25	0.16	0.08	0.07	0.06	0.14
II	0.58	0.53	0.40	0.25	0.23	0.20	0.20	0.12	0.09	0.07	0.04	0.05	0.05	0.09
III	0.62	0.56	0.51	0.47	0.48	0.40	0.42	0.22	0.22	0.16	0.07	0.07	0.08	0.09
IV	0.77	0.73	0.58	0.55	0.49	0.48	0.46	0.38	0.31	0.26	0.16	0.14	0.12	0.12
V	0.74	0.61	0.47	0.42	0.36	0.35	0.37	0.31	0.24	0.24	0.16	0.12	0.07	0.11
VI	0.75	0.63	0.60	0.56	0.50	0.46	0.41	0.33	0.26	0.19	0.16	0.14	0.10	0.10
VII	0.78	0.70	0.66	0.64	0.57	0.51	0.53	0.44	0.39	0.32	0.22	0.19	0.13	0.12
VIII	0.76	0.73	0.62	0.58	0.53	0.51	0.50	0.41	0.35	0.32	0.22	0.18	0.12	0.13
IX	0.78	0.75	0.64	0.66	0.61	0.58	0.59	0.48	0.48	0.39	0.28	0.24	0.17	0.17
X	0.76	0.67	0.61	0.61	0.54	0.53	0.46	0.34	0.29	0.27	0.18	0.16	0.12	0.11
XI	0.67	0.64	0.55	0.49	0.36	0.30	0.32	0.23	0.20	0.13	0.07	0.06	0.05	0.07
XII	0.55	0.48	0.27	0.28	0.23	0.22	0.20	0.13	0.10	0.07	0.06	0.04	0.02	0.06
RM	0.60	0.49	0.35	0.27	0.26	0.26	0.24	0.20	0.18	0.15	0.09	0.07	0.05	0.09
XIV									0.38	0.31	0.23	0.17	0.12	0.12
XV									0.19	0.21	0.15	0.10	0.08	0.12
XVI													0.16	0.15

ii. Datos climatológicos

Existen diversas maneras de definir sequía. Por ejemplo, se puede distinguir entre sequía meteorológica y sequía agrícola: la primera se refiere a una reducción en precipitaciones que puede ocurrir en conjunto a un potencial incremento en la evapotranspiración; mientras que la segunda tiene que ver a un déficit de humedad a nivel de suelo, que no es capaz de suplir la demanda por agua de la planta, derivando en pérdidas de cultivos y ganado (Zambrano-Biagirini & Baez-Villanueva, 2019).

Debido a que las sequías poseen dinámicas espaciotemporales diversas, es difícil utilizar un índice que las caracterice completamente (Zambrano-Biagirini & Baez-Villanueva, 2019). Existen dos índices que permiten cuantificar precipitaciones: el Standardized Precipitations Index (SPI) y el Standardized Precipitations Evapotranspiration Index (SPEI).

1. Definición del Standardized Precipitations Index (SPI)

Este índice elaborado por Mckee et al. (1993) está basado en una precipitación estandarizada que consiste en *“la diferencia entre la precipitación con la precipitación media de un tiempo especificado, dividida por la desviación estándar de la precipitación, que provienen de datos históricos para la localidad”*.

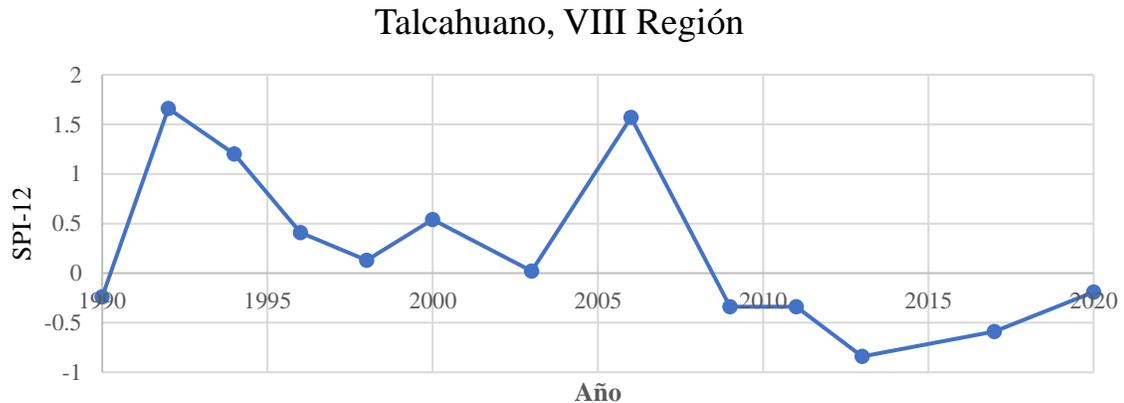
El procedimiento definido de cálculo por Mckee et al. (1993) es el siguiente: se prepara el set de datos de precipitaciones a nivel mensual para un periodo de m meses, idealmente en un periodo continuo de al menos 30 años. Luego, se establece un periodo para medias móviles de i meses, donde i puede ser 3, 6, 12, 24 o 48 meses, los cuales representarán las distintas escalas de tiempo en las que los déficits de precipitaciones podrán ir afectando a los distintos tipos de fuentes de agua. Dichos datos se ajustan a una función Gamma para definir la relación entre probabilidad y precipitación desde los datos históricos que, una vez definida, se calcula la probabilidad de toda observación de precipitación a través de un estimado de la inversa de una normal, obteniendo una desviación de precipitación con una densidad de probabilidad normal con media cero y desviación estándar igual a uno.

A modo de ejemplo, la Figura 3 ilustra la evolución del SPI-12 a través de los años en Talcahuano. El rango posible para el indicador es $[-4, 4]$ donde un valor -4 se interpreta como Extremo Seco y 4 como Extremo Lluvioso. Un valor cercano a cero, como el calculado para Talcahuano para el año 2003 significa que la precipitación observada en dicho año se acerca al promedio histórico.

De acuerdo con Vicente-Serrano et al. (2010), el cálculo del SPI se basa en dos supuestos: 1) la variabilidad de la precipitación es mucho mayor que la de otras variables, como

temperatura y evapotranspiración potencial; y 2) las demás variables como temperatura, velocidad del viento, entre otras, son estacionales.

Figura 3: Evolución del promedio comunal del SPI-12 (diciembre de cada año) para la comuna de Talcahuano.



Notas: A partir de 2009, el SPI-12 promedio comunal de Talcahuano adquiere solo valores negativos, denotando déficit de precipitaciones, lo cual se condice con la situación de sequía de la zona centro sur. Fuente: Elaboración propia.

2. Definición del Standardized Precipitations Evapotranspiration Index (SPEI)

Aun cuando el SPI goza de buena aceptación por ser un índice comparable en tiempo y espacio, las mayores críticas se centran en que considera solamente datos de precipitación (Vicente-Serrano et al., 2010). No involucra otras variables que también pueden influir en sequías, tales como: temperatura, evapotranspiración, velocidad del viento y la capacidad del suelo para retener agua.

El SPEI, propuesto por primera vez por Vicente-Serrano et al. (2010), se basa en el cálculo original del SPI, pero incorporando la evapotranspiración potencial (PET). La evapotranspiración es un parámetro clave en la detección de estrés hídrico vegetal, rendimiento de cultivos y en el cálculo del balance hídrico (Sanchez & Carvacho, 2006). Siguiendo a Vicente-Serrano et al. (2010), si bien hay maneras muy complejas de calcular el PET, existe una manera más

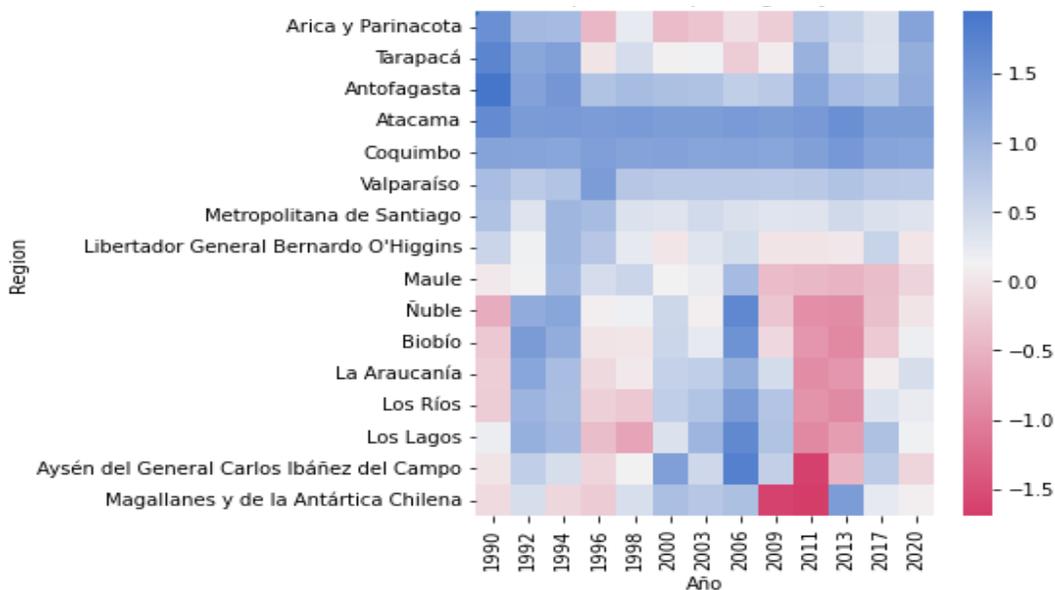
sencilla que solo requiere la temperatura promedio mensual. El PET mensual (mm) se obtiene como:

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m$$

Donde T es la temperatura promedio ($^{\circ}C$); I representa un índice de calor que se calcula como la suma de 12 valores índice que se derivan de la temperatura mensual promedio, y K corresponde a un coeficiente de corrección que corrige por mes y latitud.

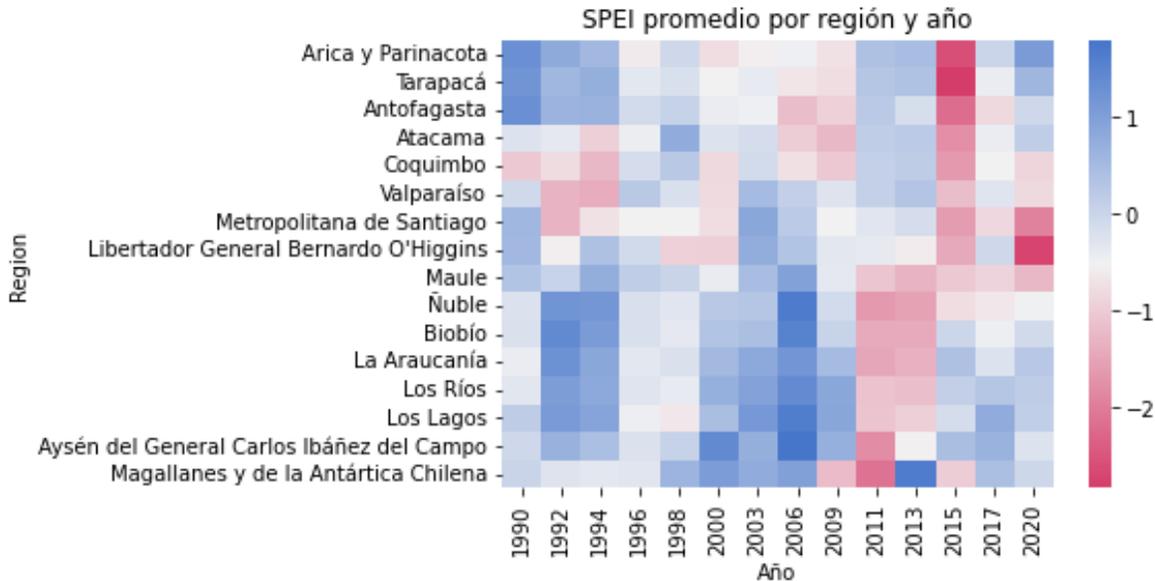
Una vez obtenido el valor de PET, la cantidad de precipitación en el periodo i se corrige sustrayendo el valor de PET calculado. Finalmente, se prosigue con la misma metodología de cálculo del SPI para obtener el índice SPEI.

Figura 4: Evolución del SPI-12 promedio a nivel regional y por año.



Notas: Para calcular la media regional se tomaron las medias comunales. El déficit de precipitaciones se hace más notorio en las zonas centro-sur y sur del país. Fuente: Elaboración propia, con datos de CR2.

Figura 5: Evolución del SPEI-12 promedio a nivel regional y por año



iii. Datos utilizados y estadística descriptiva

Para este trabajo, y con el objetivo de formar un pseudo-panel, se empalmaron las encuestas CASEN de los años 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2003, 2006, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017 y 2020 a nivel individual y de hogares, obtenidas desde el Observatorio Social del Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile. Se mantuvieron variables de ingreso; como así también escolaridad, situación de pobreza, ocupación principal, condición de actividad, categoría ocupacional y rama de actividad principal. Las variables de ingreso fueron ajustadas a precios 2020 representando así ingresos reales. A partir de estas variables, se calcularon tasa de pobreza y de desempleo a nivel comunal.

Por otra parte, se obtuvieron los índices SPEI y SPI para cada año de aplicación de la CASEN con un horizonte de 12 meses (en adelante. SPEI-12 y SPI-12), facilitados por el *Center for Climate and Resilience Research* (CR2) de la Universidad de Chile. Dichos índices son calculados a nivel de cuadrículas de 5x5 kilómetros, abarcando la mayoría del territorio nacional. Con el fin de poder empalmar con los datos de la CASEN, se calculó la media de los

índices SPI-12 y SPEI-12 para cada comuna y año, pudiendo asociar a cada individuo con un determinado valor SPI-12/SPEI-12.

Es importante notar que la elección de un horizonte de 12 meses para los índices SPEI y SPI obedece principalmente a que, si bien los indicadores SPI/SPEI de menor horizonte (1, 2 o 3 meses) son más apropiados para representar shocks de sequía para agricultura (Mckee et al., 1993), se están tratando de capturar efectos de largo plazo, abarcando un total de 30 años. Por lo tanto, se privilegió identificar shocks de largo plazo a la disponibilidad de recursos hídricos por sobre shocks de corto plazo en la pluviosidad.

A continuación, se presenta estadística descriptiva de las variables de interés y explicativas:

Tabla 3: Estadística descriptiva de variables de interés y explicativas

Variable	Observaciones	Media	Desv. Std.	Min	Max
Ingreso actividad principal (pesos 2020)	84,677,528	449067	781166	4	168000000
Experiencia	87,499,297	22.06	13.4	0	82
Años escolaridad	159,078,409	10.36	4.29	0	23
(-) SPI-12	217,238,191	-0.48	0.60	-2.23	2.35
(-) SPEI-12	222,036,516	0.32	0.91	-2.57	4
Pobre	222,481,702	0.30	0.46	0	1
Desempleado	222,481,702	0.03	0.18	0	1

V. Resultados

i. Efectos en ingresos reales

En la Tabla 4 se realiza una estimación del efecto de la sequía utilizando SPI-12 además del SPEI-12 como indicador de sequía, utilizando la muestra completa de personas ocupadas a través de los años. A grandes rasgos, no existe un efecto significativo entre sequía e ingresos reales, salvo un efecto positivo del (-) SPEI-12 significativo al 10%. Sin embargo, si es que los efectos de la sequía se distribuyen heterogéneamente, un resultado así podría presentarse, en la eventualidad que, con sequía, haya grupos “ganadores” y “perdedores” que de manera agregada se anulen (por ejemplo, que el sector Agricultura haya sido perjudicado mientras que el sector Comercio haya mejorado).

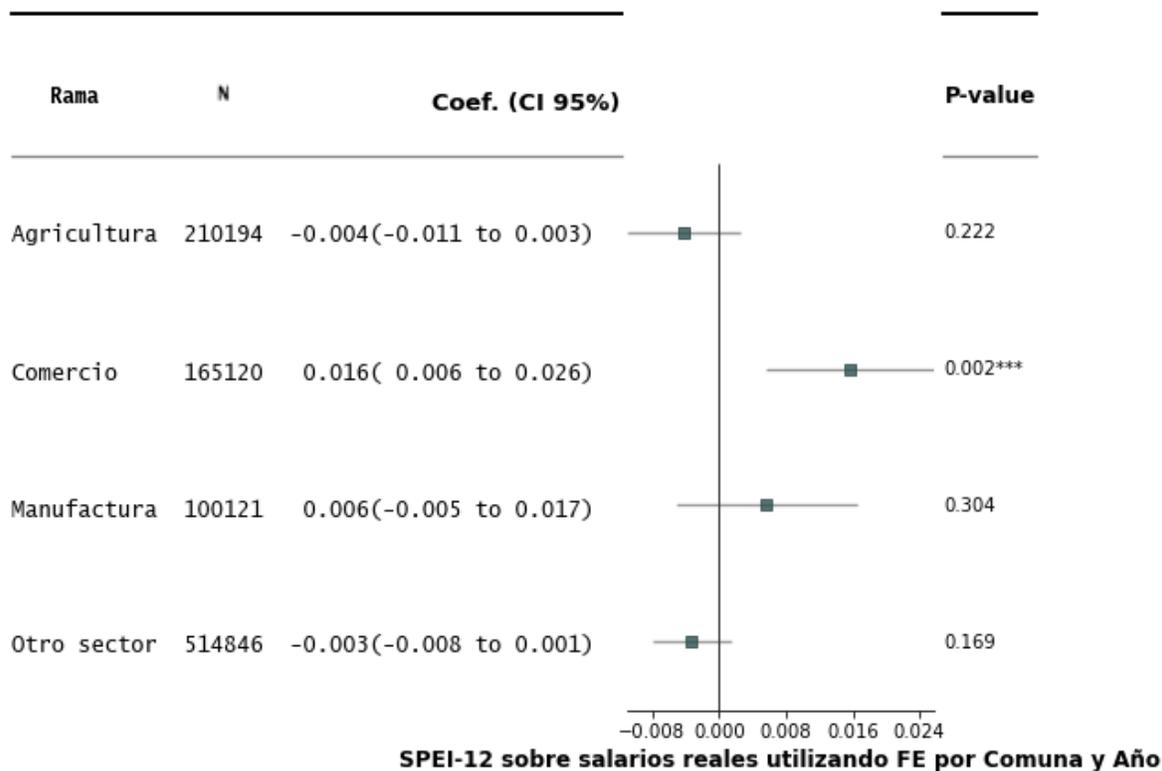
Para medir en qué medida ha afectado la sequía a distintos grupos, en primer lugar, se distingue por sus impactos en las principales ramas de actividad principal de los trabajadores chilenos. Los resultados se resumen en la Figura 6.

Aun cuando el efecto sobre los salarios reales en agricultura es negativo, no es estadísticamente distinto de cero, mostrando un p-value de 0,222. Solo las personas empleadas en Comercio tendrían un efecto -positivo, por lo demás- con la disminución de las precipitaciones. Esto es plausible, ya que en general, las actividades comerciales no dependen de la sequía. Incluso se postula que se requiere un mejor y más estrecho comercio para mitigar las consecuencias del cambio climático (OMC, 2022). Asimismo, podría explicarse si es que el mercado laboral se ajusta al haber trabajadores que cambian su actividad principal en respuesta a shocks climáticos.

Tabla 4: Estimación del efecto de la sequía sobre los ingresos reales de trabajadores ocupados

Variables	(1) Ingreso Real (en pesos 2020)	(2) Ingreso Real (en pesos 2020)
(-) SPEI-12	0.00532* (0.00292)	
Años escolaridad	0.106*** (0.000413)	0.106*** (0.000408)
Experiencia	0.0367*** (0.000356)	0.0367*** (0.000352)
Experiencia2	-0.000516*** (7.30e-06)	-0.000517*** (7.21e-06)
(-) SPI-12		-0.000706 (0.00189)
Constante	10.70*** (0.0120)	10.70*** (0.0115)
Observaciones	964,665	990,281
R-cuadrado	0.371	0.370
Indicador	SPEI-12	SPI-12
Efectos fijos		
Comuna	SI	SI
Año	SI	SI
Errores estándar entre paréntesis *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1		

Figura 6: Efecto de sequía sobre salarios reales por rama de actividad principal

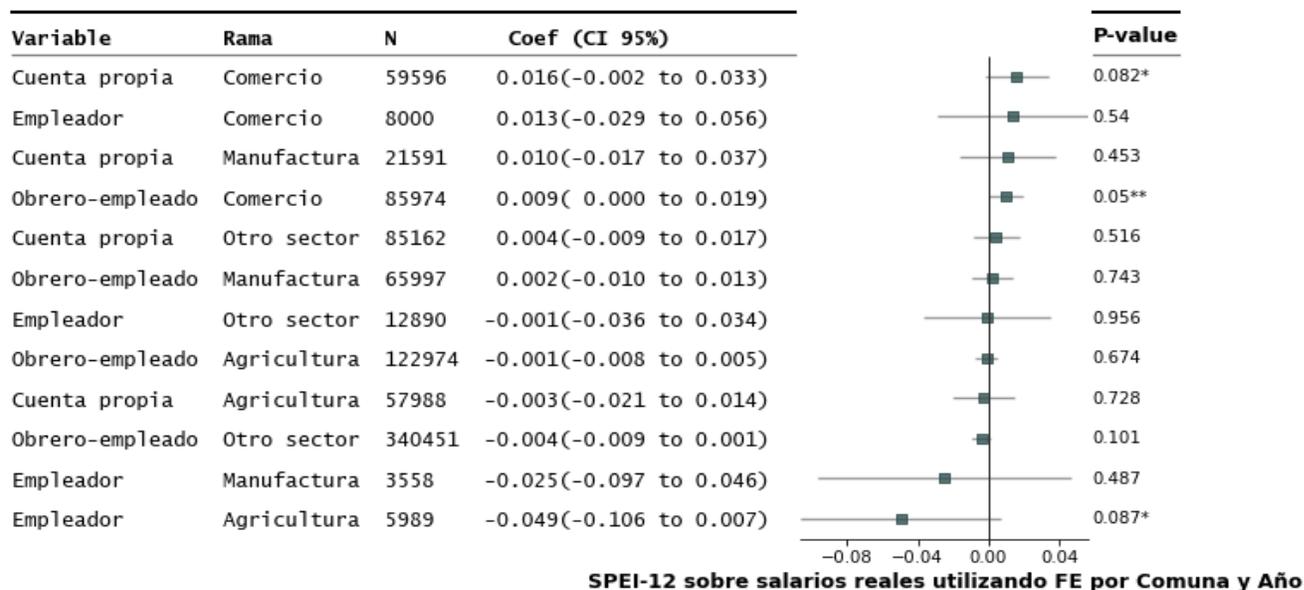


Notas: Se representan coeficientes (Coef.) de estimaciones de efecto de sequía sobre salarios reales, restringiendo la muestra por rama de actividad principal, el tamaño de las muestras (N), los intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) y los p-value.

Se puede continuar el análisis desagregando las distintas ramas de actividad por categoría ocupacional como se en la Figura 7. Allí se encuentran ordenadas por magnitud las estimaciones de sequía tomando como muestra distintas combinaciones de rama de actividad y categoría ocupacional. En la mayoría de los modelos, no se puede rechazar la hipótesis de que los efectos de la sequía sobre salarios reales sean distintos de cero. Aun cuando se puede ver que el efecto sobre empleadores en agricultura sea el que presente la mayor negatividad, se presenta demasiada desviación estándar como para poder rechazar la hipótesis nula al 5%. Adicionalmente se presenta la Figura 8 que descompone a los ocupados además por sexo, sin obtener coeficientes significativos.

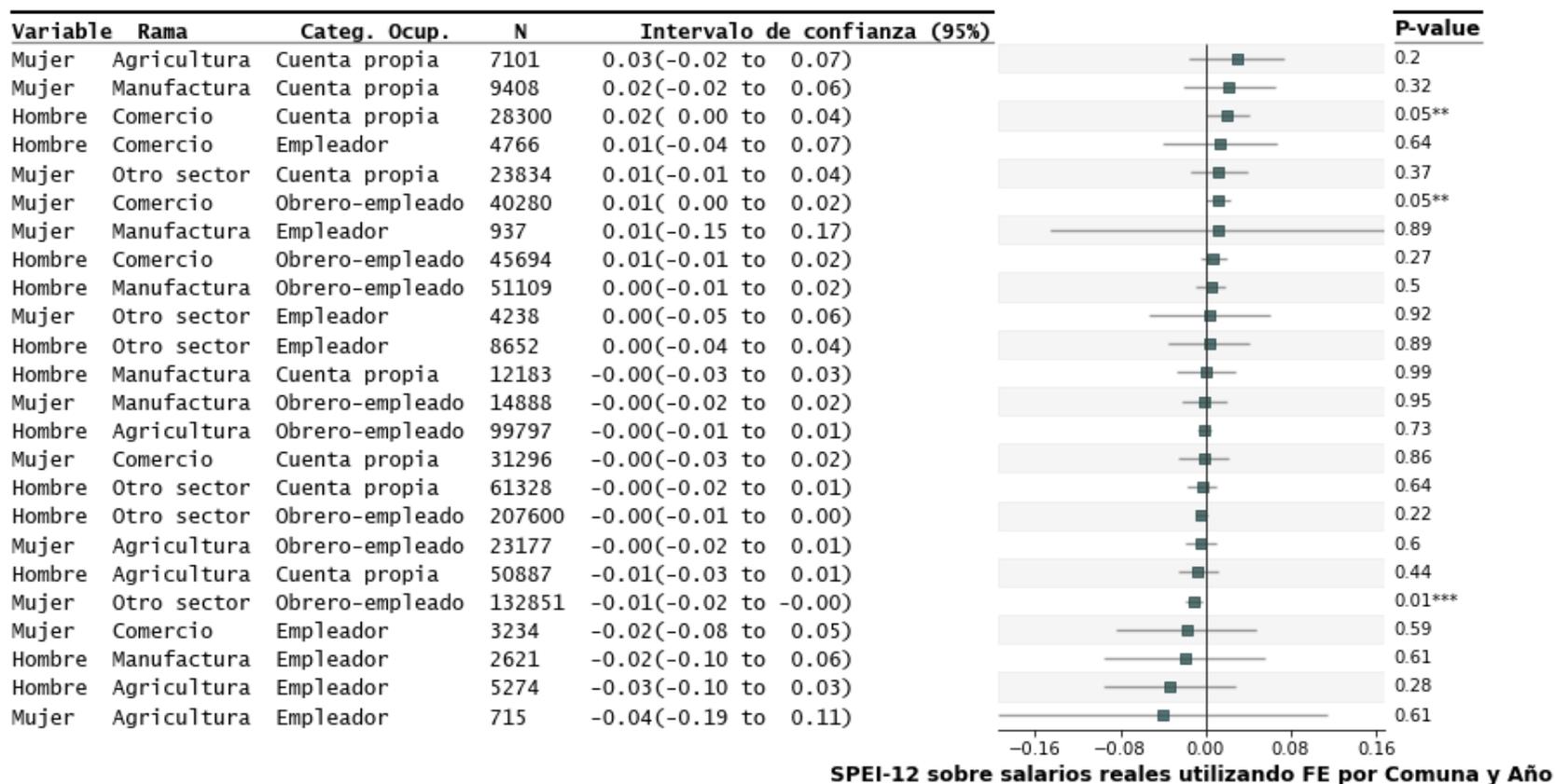
Solo en un grupo (Empleados en Comercio) se nota un efecto significativo, tal como se verificó en el modelo anterior.

Figura 7: Resumen de estimaciones del efecto de sequía sobre salarios reales, desagregando por rama de actividad y categoría ocupacional



Notas: Se representan coeficientes (Coef.) de estimaciones de efecto de sequía sobre salarios reales, restringiendo la muestra por rama de actividad principal y categoría ocupacional, el tamaño de las muestras (N), los intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) y los p-value.

Figura 8: Resumen de estimaciones del efecto de sequía sobre salarios reales, desagregando por rama de actividad, categoría ocupacional y sexo



Notas: Se representan coeficientes de estimaciones de efecto de sequía sobre salarios reales, restringiendo la muestra por rama de actividad principal, categoría ocupacional y sexo; el tamaño de las muestras (N), los intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) y los p-value.

ii. Efectos en desempleo

Utilizando un enfoque similar al anterior, se estima la probabilidad de caer en desempleo utilizando un modelo de probabilidad lineal y efectos fijos por comuna y año, excluyendo de la muestra a las personas inactivas.

Los resultados de la Tabla 5 se encuentran a nivel general, además de separar las muestras por sexo, utilizando ambos indicadores. A grandes rasgos, el incremento en la negatividad de tanto el SPI-12 como el SPEI-12 se asocia a una mayor probabilidad de caer en desempleo, donde un incremento en la desviación estándar del (-) SPI-12 aumenta un 0,36% la probabilidad de estar desempleado y 0,19% en el caso del (-) SPEI-12, con ambos efectos significativos al 1%.

Al dividir la muestra por sexo, los resultados son sensibles al indicador de sequía utilizado. El SPI-12 se mostraría como buen predictor de desempleo en hombres, mientras que el SPEI-12 se desempeña mejor explicando el desempleo en mujeres.

Cuando se analiza por zonas en la Tabla 6, tanto el (-) SPI-12 como SPEI-12 inciden significativamente incrementando la probabilidad de estar desempleado en zonas urbanas (0,01-0,02%), sin tener incidencia alguna en desempleo rural.

Uno podría suponer que los índices de sequía debieran impactar en desempleo en un mayor grado en regiones que se hayan vuelto más secas, o bien, que presenten mayores grados de vulnerabilidad al cambio climático, ya que sectores económicos más azotados podrían disminuir su demanda de trabajo al percibir menores beneficios. La Figura 9 descompone la muestra por región para verificar lo anterior. Los coeficientes estimados no son estadísticamente significativos, a excepción de las regiones de Aysén y Biobío (esta última significativa al 10%), lo cual podría explicarse por la condición agropecuaria y ganadera de estas regiones. Sin perjuicio de ello, al desagregar por zona (Figura 10), se puede ver que el desempleo aumenta más bien en zonas urbanas que rurales.

Tabla 5: Efecto de sequía sobre desempleo, a nivel general y por sexo.

VARIABLES	(1) Desempleo	(2) Desempleo	(3) Desempleo Hombres	(4) Desempleo Hombres	(5) Desempleo Mujeres	(6) Desempleo Mujeres
(-) SPI-12	0.00363*** (0.00102)		0.00310*** (0.00111)		0.00383* (0.00196)	
Años escolaridad	-0.00368*** (0.000125)	-0.00368*** (0.000123)	-0.00323*** (0.000133)	-0.00324*** (0.000132)	-0.00521*** (0.000246)	-0.00519*** (0.000241)
Experiencia	-0.00945*** (0.000154)	-0.00942*** (0.000152)	-0.00817*** (0.000142)	-0.00814*** (0.000141)	-0.0115*** (0.000320)	-0.0115*** (0.000313)
Experiencia2	0.000127*** (2.56e-06)	0.000127*** (2.53e-06)	0.000111*** (2.40e-06)	0.000111*** (2.38e-06)	0.000155*** (5.42e-06)	0.000154*** (5.32e-06)
Zona	-0.0280*** (0.00104)	-0.0280*** (0.00103)	-0.0269*** (0.00115)	-0.0270*** (0.00115)	-0.0194*** (0.00212)	-0.0192*** (0.00212)
(-) SPEI-12		0.00186** (0.000756)		0.000408 (0.000718)		0.00422*** (0.00150)
Constante	0.238*** (0.00473)	0.235*** (0.00450)	0.205*** (0.00518)	0.203*** (0.00504)	0.291*** (0.00893)	0.286*** (0.00834)
Observaciones	1,093,548	1,122,265	692,685	710,378	400,863	411,887
R-cuadrado	0.042	0.042	0.038	0.038	0.051	0.051
Indicador	SPI-12	SPEI-12	SPI-12	SPEI-12	SPI-12	SPEI-12
Efectos fijos						
Comuna	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Año	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Errores estándar entre paréntesis

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Notas: En este modelo se restringió la muestra a la población económicamente activa. Cada columna representa el efecto de la sequía sobre el desempleo a nivel general y por sexo, diferenciando por indicador de sequía utilizado.

Tabla 6: Efecto de sequía sobre desempleo, distinguiendo por zonas urbana y rural

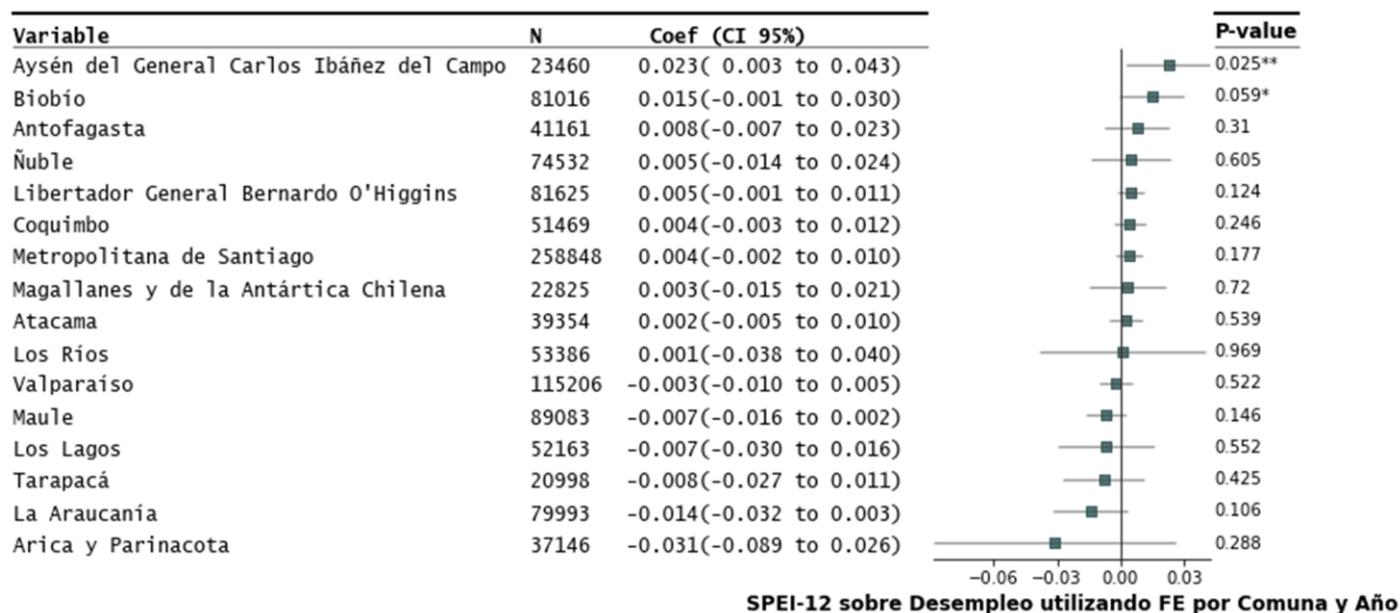
VARIABLES	(1) Desempleado Urbano	(2) Desempleado Urbano	(3) Desempleado Rural	(4) Desempleado Rural
(-) SPI-12	0.00186*** (0.000706)		-0.000713 (0.000782)	
Años escolaridad	-0.000547*** (7.67e-05)	-0.000543*** (7.54e-05)	0.000946*** (9.56e-05)	0.000945*** (9.55e-05)
Experiencia	-0.000633*** (5.39e-05)	-0.000619*** (5.29e-05)	-0.000774*** (5.38e-05)	-0.000774*** (5.38e-05)
Experiencia2	-1.05e-05*** (7.47e-07)	-1.06e-05*** (7.35e-07)	-9.32e-07 (7.49e-07)	-9.30e-07 (7.49e-07)
(-) SPEI-12		0.00117** (0.000535)		-0.000359 (0.000537)
Constante	0.0585*** (0.00259)	0.0569*** (0.00243)	0.0195*** (0.00445)	0.0200*** (0.00441)
Observaciones	1,422,904	1,471,596	605,702	607,291
R-cuadrado	0.014	0.014	0.017	0.017
Indicador	SPI-12	SPEI-12	SPI-12	SPEI-12
Efectos fijos				
Comuna	SI	SI	SI	SI
Año				

Errores estándar entre paréntesis

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

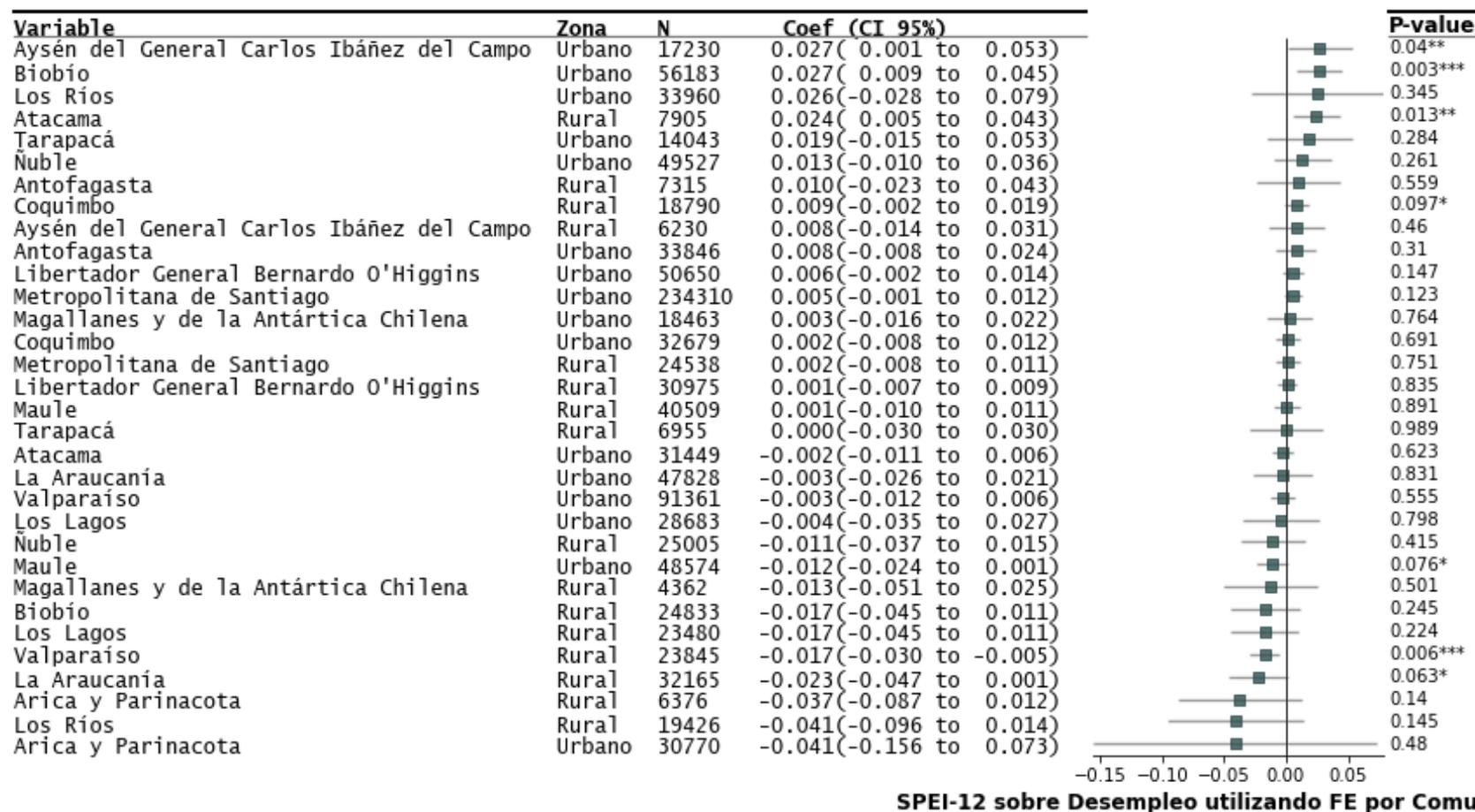
Notas: En este modelo se restringió la muestra a la población económicamente activa. Cada columna representa el efecto de la sequía sobre el desempleo a nivel urbano y rural, diferenciando por indicador de sequía utilizado.

Figura 9: Resumen de estimaciones del efecto de sequía sobre desempleo, desagregando por región



Notas: Se representan coeficientes de estimaciones de efecto de sequía sobre la probabilidad de estar desempleado, restringiendo la muestra por región; el tamaño de las muestras (N), los intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) y los p-value.

Figura 10: Resumen de estimaciones del efecto de sequía sobre la probabilidad de estar desempleado, desagregando por región y zona.



Notas: Se representan coeficientes de estimaciones de efecto de sequía sobre la probabilidad de estar desempleado, restringiendo la muestra por región y zona; el tamaño de las muestras (N), los intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) y los p-value.

iii. Efectos en pobreza

Se estimó, para cada indicador de sequía, el efecto que tiene sobre la pobreza a nivel general, así como también distinguiendo por sexo (Tabla 7). Los coeficientes tienden a magnitudes bastantes similares a pesar de provenir de muestras distintas. Mientras que el SPI-12 se encuentra asociado a una menor probabilidad de entrar en condición de pobreza, el SPEI-12 estaría asociado a incrementos de 0,3% de probabilidad por cada desviación estándar de incremento en la sequía medida a través de este parámetro.

Por su parte, las magnitudes de los efectos hallados son bastante semejantes tanto en hombres, mujeres y a nivel general. Según se ve en la Tabla 8 y contrario a lo visto al modelo de desempleo anterior, se halla un mayor efecto de la sequía sobre la pobreza en zonas rurales que urbanas

Al igual que en el modelo de desempleo, se chequea la heterogeneidad de los efectos a través de submuestras por región y zona en residan los encuestados. Los resultados desagregados se encuentran en las Figura 11 y Figura 12.

Las regiones que serían más afectadas en pobreza son en general las ubicadas en las zonas centro sur y sur del país. En este caso, aflora la Región Metropolitana como una excepción, al exhibirse esta asociación en zonas urbanas, lo cual es contraintuitivo, ya que las actividades económicas de las zonas urbanas de la RM son en general menos vulnerables al cambio climático que en otras zonas.

Tabla 7: Estimación de probabilidad de caer en pobreza utilizando un modelo de probabilidad lineal, a nivel general y por sexo.

VARIABLES	(1) Pobreza	(2) Pobreza	(3) Pobreza Hombres	(4) Pobreza Hombres	(5) Pobreza Mujeres	(6) Pobreza Mujeres
(-) SPI-12	-0.00819*** (0.00103)		-0.00876*** (0.00148)		-0.00779*** (0.00144)	
Años escolaridad	-0.0249*** (0.000119)	-0.0248*** (0.000118)	-0.0243*** (0.000172)	-0.0241*** (0.000170)	-0.0258*** (0.000165)	-0.0256*** (0.000163)
Experiencia	-0.00205*** (7.19e-05)	-0.00202*** (7.08e-05)	-0.00135*** (0.000106)	-0.00133*** (0.000104)	-0.00292*** (9.92e-05)	-0.00287*** (9.77e-05)
Experiencia2	-3.54e-05*** (1.19e-06)	-3.54e-05*** (1.18e-06)	-3.62e-05*** (1.83e-06)	-3.61e-05*** (1.81e-06)	-3.15e-05*** (1.59e-06)	-3.16e-05*** (1.57e-06)
Zona	0.0768*** (0.00115)	0.0774*** (0.00115)	0.0721*** (0.00164)	0.0727*** (0.00164)	0.0817*** (0.00162)	0.0823*** (0.00162)
(-) SPEI-12		0.00347*** (0.000601)		0.00347*** (0.000856)		0.00341*** (0.000844)
Constante	0.744*** (0.00481)	0.746*** (0.00465)	0.725*** (0.00689)	0.728*** (0.00666)	0.765*** (0.00671)	0.766*** (0.00649)
Observaciones	2,028,606	2,078,887	972,740	996,795	1,055,866	1,082,092
R-cuadrado	0.231	0.231	0.233	0.233	0.232	0.232
Indicador	SPI-12	SPEI-12	SPI-12	SPEI-12	SPI-12	SPEI-12
Efectos fijos						
Comuna	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Año	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Errores estándar entre paréntesis

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Notas: Para la definición de pobreza, se contabilizaron como tal a los encuestados que calificaron estar en pobreza o pobreza extrema según nueva metodología CASEN. Cada columna representa el efecto de la sequía sobre pobreza a nivel general y por sexo, diferenciando por indicador de sequía utilizado.

Tabla 8: Efecto de sequía sobre pobreza, distinguiendo por zona urbana y rural

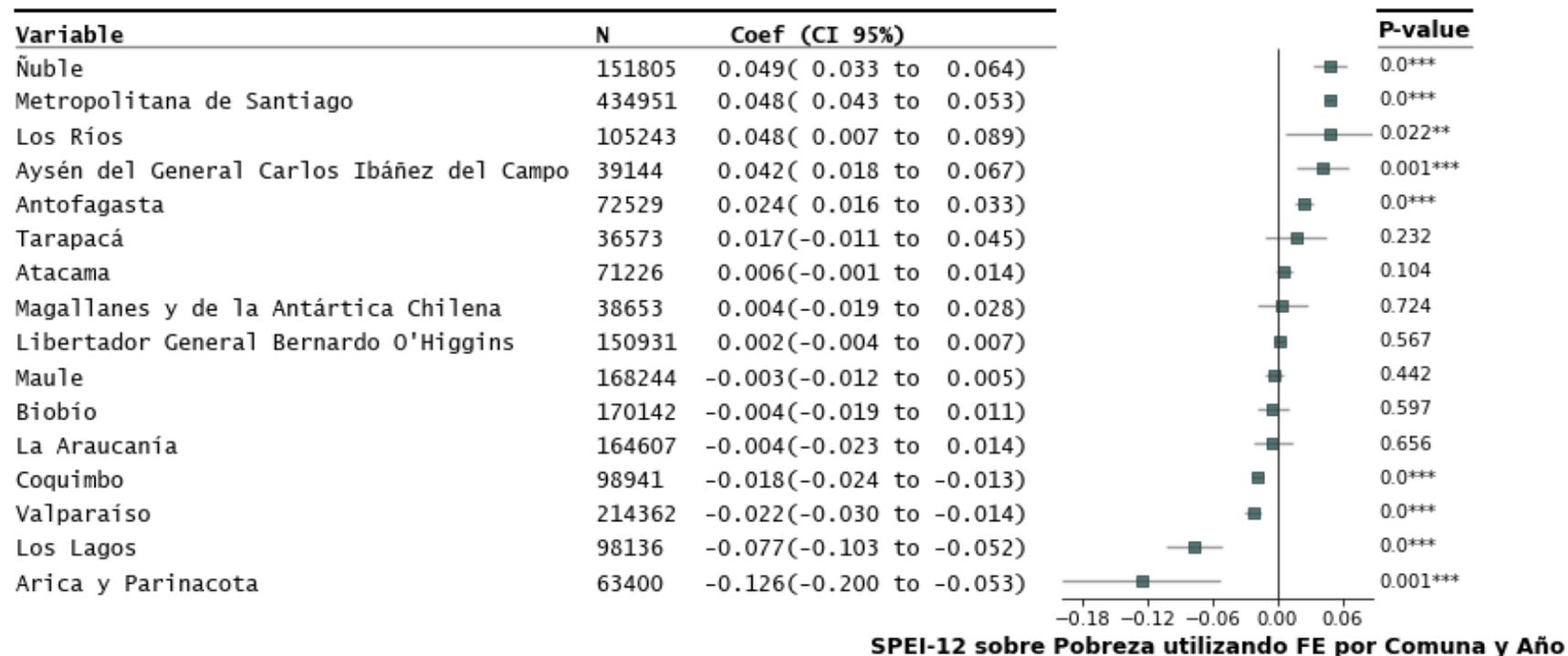
VARIABLES	(1) Pobreza Urbano	(2) Pobreza Urbano	(3) Pobreza Rural	(4) Pobreza Rural
(-) SPI-12	-0.00732*** (0.00120)		0.00339* (0.00191)	
Años escolaridad	-0.0247*** (0.000132)	-0.0245*** (0.000130)	-0.0235*** (0.000250)	-0.0235*** (0.000249)
Experiencia	-0.00168*** (8.05e-05)	-0.00165*** (7.91e-05)	-0.00412*** (0.000135)	-0.00413*** (0.000135)
Experiencia2	-3.88e-05*** (1.35e-06)	-3.87e-05*** (1.33e-06)	-1.33e-05*** (2.11e-06)	-1.32e-05*** (2.11e-06)
(-) SPEI-12		0.00326*** (0.000685)		0.00609*** (0.00117)
Constante	0.806*** (0.00484)	0.807*** (0.00466)	0.985*** (0.00997)	0.984*** (0.00985)
Observaciones	1,422,904	1,471,596	605,702	607,291
R-cuadrado	0.192	0.192	0.293	0.293
Indicador	SPI-12	SPEI-12	SPI-12	SPEI-12
Efectos fijos				
Comuna	SI	SI	SI	SI
Año	SI	SI	SI	SI

Errores estándar entre paréntesis

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

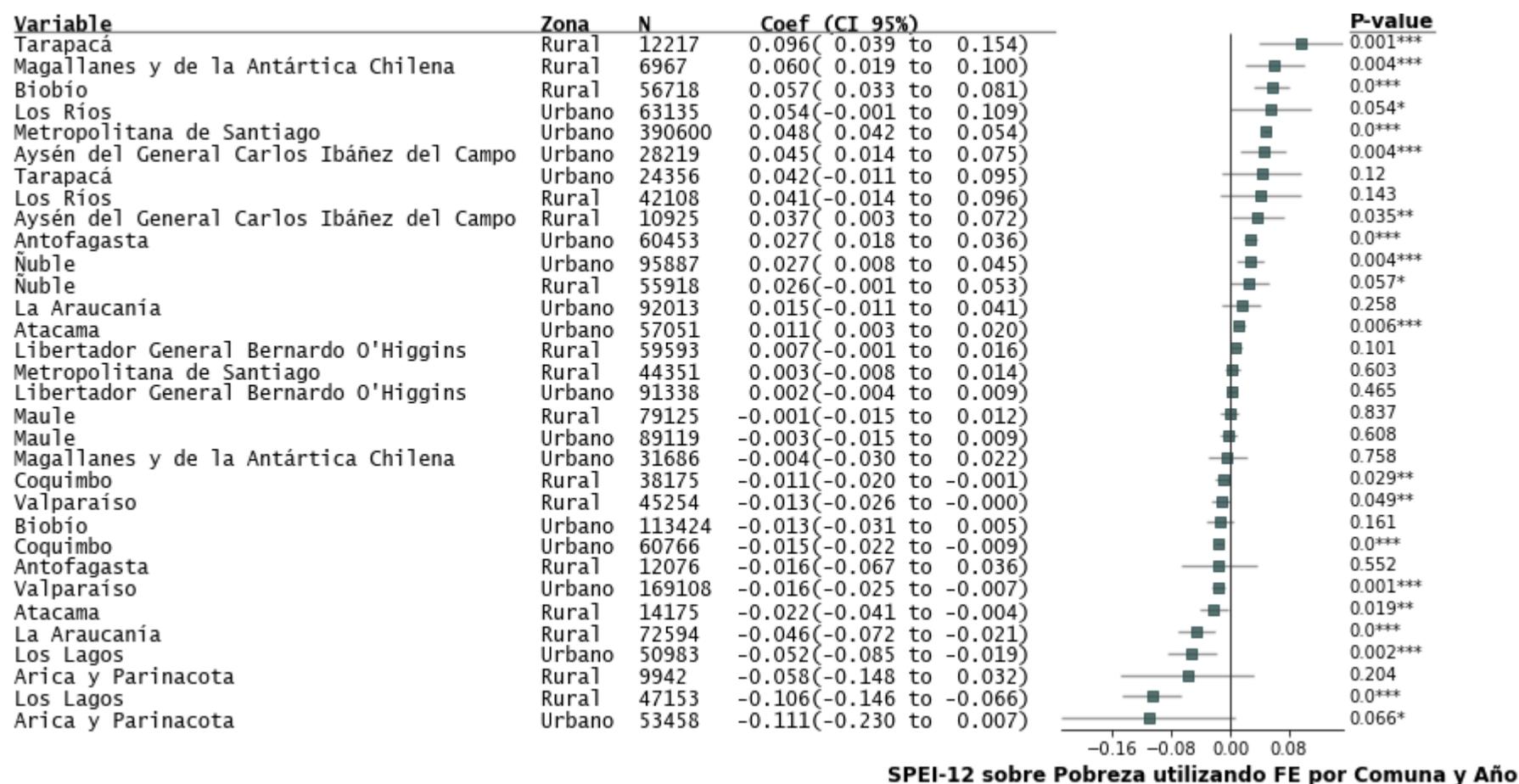
Notas: Para la definición de pobreza, se contabilizaron como tal a los encuestados que calificaron estar en pobreza o pobreza extrema según nueva metodología CASEN. Cada columna representa el efecto de la sequía sobre pobreza desagregando por zona urbana o rural, diferenciando por indicador de sequía utilizado.

Figura 11: Estimación de probabilidad de caer en pobreza utilizando un modelo de probabilidad lineal, desagregado por región



Notas: Se representan coeficientes de estimaciones de efecto de sequía sobre la probabilidad de estar en situación de pobreza, restringiendo la muestra por región; el tamaño de las muestras (N), los intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) y los p-value.

Figura 12: Estimación de probabilidad de caer en pobreza utilizando un modelo de probabilidad lineal, desagregado por región y zona.



Notas: Se representan coeficientes de estimaciones de efecto de sequía sobre la probabilidad de estar en situación de pobreza, restringiendo la muestra por región y zona; el tamaño de las muestras (N), los intervalos de confianza al 95% (entre paréntesis) y los p-value.

iv. *Controlando por Family Wise Error Rates (FWER)*

Debido que, al descomponer los resultados por submuestras por rama de actividad principal, categoría ocupacional y sexo, en el caso del modelo de salarios reales; y por región, zona y sexo, en desempleo y pobreza; se realizaron múltiples regresiones con sus respectivas pruebas de hipótesis. Esto puede incrementar la probabilidad de tener uno o más “falsos descubrimientos”, o errores tipo I, cuando se realizan test de hipótesis múltiples (también llamados *family wise error rates*, FWER), concepto introducido por primera vez por J. Tukey en 1953 (Benjamini & Braun, 2002).

Para corregir por esto, se utilizó el procedimiento de Holm (1979) -el cual destaca por su simplicidad y facilidad- en los cálculos en los modelos de desempleo y pobreza. No se utilizó en los modelos de salarios reales debido a que dichos contrastes no se encontraban dentro del nivel de confianza.

En los modelos de desempleo descompuestos por región y zona presentados en las Figura 9 y Figura 10. Un porcentaje muy pequeño de las pruebas de hipótesis inicialmente rechazados se rechazan con Holm. En este sentido, solo la región de Aysén tendría un efecto estadísticamente significativo, mientras que, al descomponer también por zona rural o urbana, 3 de 4 contrastes de hipótesis inicialmente rechazados permanecieron rechazados (de un total de 32 pruebas realizadas)

En los modelos de estimación de probabilidad de caer en pobreza presentados (Figura 11 y Figura 12), en tres y diez pruebas -respectivamente- de hipótesis inicialmente rechazadas fueron aceptadas bajo el procedimiento de Holm, representando un 9 y 13% de las pruebas totales realizadas.

Lo anterior sugiere que los resultados hallados en los modelos de desempleo son muy poco robustos, y es muy posible que los efectos encontrados no sean en realidad estadísticamente distintos de cero. Por su parte, los modelos de pobreza mostraron ser más robustos al procedimiento de Holm, y, por ende, son más creíbles a la hora de interpretar resultados.

v. *Discusión*

Vistos los resultados, los modelos indican que la sequía afectaría muy a nivel agregado la probabilidad de estar desempleado y de estar en situación de pobreza, cuando se subdividen las muestras por sexo y por zona urbana o rural, con un nulo efecto sobre salarios reales. Sin embargo, al dividir la muestra por región, zona rural y/o por sexo, la sequía pareciera no ser un buen predictor de desempleo. Sí se observa una relación más directa entre sequía y pobreza, pero en combinaciones región-zona muy específicas.

Partiendo de la base de que el efecto de la sequía sobre pobreza es significativo, los resultados parecen indicar que serían mediante mayor desempleo. Una posibilidad era afectando salarios reales: si es que la falta de precipitaciones opera a través de una disminución de las rentas de trabajadores por cuenta propia o bien, menores beneficios a empleadores, podría suponerse que los salarios que se obtienen de estas actividades disminuyeran como respuesta. La evidencia aquí mostrada aporta poco sustento a esta hipótesis. Aun cuando existiese la necesidad de realizar recortes salariales, es posible que rigideces salariales impidan que dichos recortes se concreten, lo cual explicaría un efecto menor al esperado de la sequía sobre salarios reales.

Sin embargo, si es que los salarios reales no se afectan, los ajustes tendrían que realizarse a través de una disminución en la demanda de trabajo por firmas afectadas por la sequía, ocasionando desempleo. Independiente del indicador utilizado, existe evidencia de una asociación entre mayores grados de sequía con mayor desempleo, obteniendo resultados similares a los obtenidos en Brookes et al. (2021).

Está la posibilidad de que el proceso en el que opera la sequía sea más complejo y dinámico que lo descrito anteriormente. Si las personas que enfrentan un shock de sequía deciden cambiar de actividad principal, o bien, deciden trasladarse a zonas con menores sequía, podría explicar por qué el desempleo o salarios reales no se ven mayormente afectados por la falta de precipitaciones a lo largo del tiempo. Esto no necesariamente es así en el caso de la pobreza: las personas pobres se encuentran mucho más restringidas en cuanto a movilidad, tanto para trasladarse a otra comuna como de cambiarse de actividad principal, a lo que Hunter & Biddle (2011) denominaron *migración selectiva*. De acuerdo con dichos autores, existen fuertes incentivos para las personas en migrar si es que las condiciones de sequía se

intensifican. Por lo tanto, las variaciones en la pobreza observada contra sequía tendrían que ver más con restricciones a la movilidad laboral más que por efectos directos sobre el desempleo o salarios.

Otro canal tendría que ver con el costo de vida en comunas afectadas por sequía: si es que la sequía hace menos atractivas las comunas para residir en ellas, esto conllevaría a disminuciones en el costo de vida -por ejemplo, viviendas más asequibles- lo cual conllevaría a una migración o concentración de personas de menores recursos en estas comunas.

Debido a que este trabajo se basa en un pseudo panel, no es posible observar a una misma persona a través del tiempo y así entender las transiciones por las que pasan los individuos afectados por shocks de sequía, lo cual solo sería factible en un estudio longitudinal. Adicionalmente, en este trabajo los índices de precipitaciones representaron shocks contemporáneos de sequía, sin perjuicio de ello, también podrían existir efectos de largo plazo cuya persistencia podría ser relevante para la estimación (Kahn et al., 2021), constituyendo así un problema de naturaleza dinámica.

Además, aun cuando se posee información de las estadísticas de sequía a nivel comunal, existe una varianza importante de sequías dentro de las mismas comunas, especialmente en aquellas más grandes. Esto puede hacer impreciso el nivel de sequía al que realmente está expuesto un individuo. Lamentablemente, para solucionar este problema, se requiere una ubicación mucho más precisa de cada individuo en cada año (georreferenciada). No existen actualmente bases de datos como las aquí utilizadas con ese nivel de precisión. Todo lo anterior puede ser relevante para futuras investigaciones en la materia.

VI. Conclusiones e implicancias de política pública

Existe abundante evidencia de un vínculo entre sequía y pobreza, además de otros *outcomes* relacionados con menor desarrollo humano. Además, la CEPAL estima que producto de los costos asociados al cambio climático, Chile podría alcanzar una pérdida anual de 1,1% del PIB hasta el año 2100. Utilizando datos climatológicos de índices SPEI-12 y SPI-12, se

calcularon déficit de precipitaciones a nivel comunal. Junto a ello, se formó un pseudo panel con las encuestas CASEN desde 1990 hasta 2020, asignando a cada individuo encuestado un valor de sequía en cada año. Se estimó, a través de efectos fijos, el efecto que genera la sequía por sobre los ingresos reales por sector de actividad principal de encuestados, su categoría ocupacional y su sexo, además de estimar el impacto sobre el desempleo y la pobreza por región, zonas y sexo de los individuos.

No se halló evidencia de un impacto significativo en los salarios reales, sin embargo, sí se nota una relación con desempleo, incidiendo entre 0,19 y 0,36% por desviación estándar por (-) SPEI-12 y (-) SPI-12, respectivamente. De la misma manera, los resultados muestran que el incremento de una desviación estándar del (-) SPEI-12 incrementa un 0,35% la probabilidad de caer en situación de pobreza, incidiendo de mayor manera en zonas rurales que en urbanas.

Aun cuando se observe una incidencia en desempleo, los resultados no son lo suficientemente contundentes como descartar incidencia en salarios reales debido a la existencia de mecanismos más complejos y dinámicos a través de los cuales opera el déficit de precipitaciones, presumiblemente atribuibles a la toma de decisiones de los individuos expuestos a la sequía, y la posibilidad de que personas en situación de pobreza tengan menos medios para escapar de los shocks climáticos.

Por otra parte, es importante notar que no da lo mismo qué indicador de sequía se utiliza, puesto que en ocasiones pueden dar resultados muy distintos. Por ejemplo, en el modelo de desempleo por sexo, tenemos que el (-) SPI-12 es estadísticamente significativo al 1% en hombres, pero significativo al 10% en mujeres, mientras que utilizando (-) SPEI-12, se obtiene significancia al 1% en mujeres, pero al 5% en hombres. Esto puede deberse a que, por construcción, el SPEI-12 puede adoptar valores más extremos que el SPI-12, toda vez que corrige por evapotranspiración. No se observa un género particularmente más afectado que otro.

Dicho todo lo anterior, es importante tomar acciones y políticas que permitan mitigar los efectos de la sequía. De acuerdo con Damania et al. (2017), una mejor infraestructura hídrica tiene el potencial de amortiguar las pérdidas de los shocks de sequía y de evitar que deban ampliar sus cultivos. Sin perjuicio de ello, se debe tener presente que una política de

distribución de agua libre puede introducir mal adaptación en la agricultura si es que los agricultores comienzan a cultivar especies altamente demandantes en agua -a lo que los autores llamaron la *paradoja de la oferta*-, por lo que también debe restringirse la demanda. Por otra parte, debieran considerarse otros instrumentos, como seguros agrícolas, que permitan a los agricultores asegurarse ante pérdidas por ocasión de shocks climáticos (véase Fuchs & Wolff, 2016). Para el déficit de precipitaciones que ha pesado sobre el estado de California, Mount et al. (2015) propusieron cinco medidas que permiten enfrentar la sequía, las cuales pueden ser de utilidad para la realidad local: 1) establecer sistemas de tarifas orientados a la conservación del agua; 2) fortalecer mercados de agua que mejoren su asignación; 3) diversificar fuentes de agua, como el reciclaje de aguas lluvias; 4) manejar adecuadamente las aguas subterráneas; y, 5) prevenir el desperdicio y consumo innecesario agua.

Por último, se debe hacer énfasis en la relevancia del capital humano para la construcción de resiliencia. Invertir más en educación de personas vulnerables a shocks climáticos puede considerarse una estrategia de largo plazo para enfrentar la sequía, debido a que incrementa las habilidades individuales para tomar decisiones apropiadas contra un shock de sequía (Khalili et al., 2020). También sería de utilidad capacitar laboralmente a trabajadores para que puedan desempeñarse en actividades menos vulnerables a la sequía.

Este trabajo representa una primera aproximación econométrica al problema de la sequía en nuestro país y su relación con pobreza, desempleo e ingresos. Aun cuando no se haya hallado un resultado significativo sobre salarios reales, de ninguna manera puede entenderse como evidencia de que la sequía no los afecte. Más bien, la interpretación más acertada es que *aún* no los ha afectado. Existe consenso en que el déficit de precipitaciones solo empeorará en los próximos años y los efectos podrían hacerse visibles en el largo plazo.

Es posible que Chile, como país de ingresos altos, sea una economía más resiliente que la de países más pobres y vulnerables ante shocks de sequía, por lo tanto, los efectos no sean perceptibles aun a la luz de los datos. No obstante, es altamente probable que los shocks de sequía sean más frecuentes y de mayor intensidad, lo cual no solo afectará el desempleo y los ingresos reales, sino otros indicadores de desarrollo humano como salud y educación.

VII. Bibliografía

- Banerjee, L. (2006). *Effect of flood on agricultural wages in Bangladesh: An empirical analysis**.
- Barbier, E. B., & Hochard, J. P. (2018). Poverty, rural population distribution and climate change. *Environment and Development Economics*, 23(3), 234–256. <https://doi.org/10.1017/S1355770X17000353>
- Benjamini, Y., & Braun, H. (2002). John W. Tukey's Contributions to Multiple Comparisons. En *Source: The Annals of Statistics* (Vol. 30, Número 6). <http://www.jstor.orgURL:http://www.jstor.org/stable/1558730>
- Brookes, H., Vis Taraz, G., Halliday, S. D., Brookes Gray, H., & Taraz, V. (2021). *The Impact of Weather Shocks on Employment Outcomes: Evidence from South Africa*.
- CEPAL. (2016). *La Economía del Cambio Climático en Chile*.
- Damania, R., Desbureaux, S., Hyland, M., Islam, A., Moore, S., Rodella, A.-S., Russ, J., & Zaveri, E. (2017). *Uncharted Waters: The New Economics of Water Scarcity and Variability*.
- de Goyeneche, C. (2020). *Drought and Domestic Violence: Evidence from rural Chile*. <http://cead.spd.gov.cl/>
- Deschenes, O., & Greenstone, M. (2006). *The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Profits and Random Fluctuations of Weather*.
- Fuchs, A., & Wolff, H. (2016). *Drought and Retribution Evidence from a Large-Scale Rainfall-Indexed Insurance Program in Mexico*. <http://econ.worldbank.org>.
- García, R. (2021, septiembre 27). Megasequía en Chile: principal causa es una masa de agua cálida frente a Nueva Zelanda. *El Mercurio*.
- Garreaud, R., Boisier, J. P., & Rondanelli, R. (2021, agosto 9). *Análisis CR2 La montaña rusa de las lluvias en Chile central*. Análisis (CR)2. <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-la-montana-rusa-de-las-lluvias-en-chile-central/>
- Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Pablo Boisier, J., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6307–6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>

- Garreaud, R. D., Clem, K., José, A., & Veloso, V. (2021). The South Pacific Pressure Trend Dipole and the Southern Blob. *Journal of Climate*, 7661–7676. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20>
- Garreaud, R., & Jacques, M. (2020, enero 6). *La “mancha cálida” del océano Pacífico y olas de calor en Chile (CR)2*. Análisis (CR)2. <https://www.cr2.cl/la-mancha-calida-del-océano-pacifico-y-olas-de-calor-en-chile/>
- Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Narloch, U., Rozenberg, J., & Vogt-Schilb, A. (2014). *Climate Change and Poverty An Analytical Framework* (N° 7126; Policy Research Working Paper). <http://econ.worldbank.org>.
- Hallegatte, S., Fay, M., & Barbier, E. B. (2018). Poverty and climate change: Introduction. *Environment and Development Economics*, 23(3), 217–233. <https://doi.org/10.1017/S1355770X18000141>
- Hallegatte, S., & Rozenberg, J. (2017). Climate change through a poverty lens. En *Nature Climate Change* (Vol. 7, Número 4, pp. 250–256). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nclimate3253>
- Holm, S. (1979). A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure. *Source: Scandinavian Journal of Statistics*, 6(2), 65–70.
- Hunter, B., & Biddle, N. (s. f.). *Migration, labour demand, housing markets and the drought in regional Australia A report to the Australian Institute of Family Studies*. www.aifs.gov.au
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5°C*.
- Jacoby, H. G., Rabassa, M., & Skoufias, E. (2015). Distributional implications of climate change in rural India: A general equilibrium approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(4), 1135–1156. <https://doi.org/10.1093/ajae/aa084>
- Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N. C., Hashem, M., Ad, P., Raissi, M., Yang, J.-C., Cavalcanti, T., Diebold, F. X., Hajzler, C., Hallegatte, S., Hasna, Z., Hassler, J., Molico, M., Phillips, P., Reischer, M., Smith, R., Tol, R., & Wilkins, C. A. (2021). *Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis*.
- Khalili, N., Arshad, M., Farajzadeh, Z., Kächele, H., & Müller, K. (2020). Effect of drought on smallholder education expenditures in rural Iran: Implications for policy. *Journal of Environmental Management*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110136>
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17–22.

- Mount, J., Hanak, E., Chappelle, C., Gray, B., Lund, J., Moyle, P., & Thompson, B. (2015). *Policy Priorities for Managing Drought*. www.ppic.org
- Neyman, J., & Scott, E. L. (1948). *Consistent Estimates Based on Partially Consistent Observations* (Vol. 16, Número 1). <http://www.jstor.org/stable/1914288>http://www.jstor.org/stable/1914288?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents
- OMC. (2022). *Informe sobre el comercio mundial 2022: Cambio climático y comercio internacional*. www.wto.org
- ONU. (2021, agosto 17). *Cambio climático: América Latina será una de las regiones más afectadas*. <https://news.un.org/es/story/2021/08/1495582>
- ONU. (2022). *Hay un 50% de probabilidades de que el calentamiento global supere los 1,5°C en los próximos cinco años | Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2022/05/1508392>
- Sanchez, M., & Carvacho, L. (2006). Estimación de evapotranspiración potencial, ETP, a partir de imágenes NOAAVHRR en la VI Región Del Libertador Bernardo O'Higgins. *Revista de geografía Norte Grande*, 36, 49–60. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022006000200003#:~:text=La%20ETP%2C%20o%20evapotranspiraci%C3%B3n%20potencial,que%20se%20realiza%20el%20c%C3%A1lculo.
- Somanathan, E., Somanathan, R., Sudarshan, A., & Tewari, M. (2021). The Impact of Temperature on Productivity and Labor Supply: Evidence from Indian Manufacturing. En *Journal of Political Economy* (Vol. 129, Número 6).
- Vicencio, J. (2018, octubre 18). *Por qué nos importa tanto el Anticiclón del Pacífico Sur*. Meteochile Blog. <https://blog.meteochile.gob.cl/2018/10/18/por-que-nos-importa-tanto-el-anticicl%C3%B3n-del-pac%C3%ADfico-sur/>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Zambrano-Biagirini, M., & Baez-Villanueva, O. (2019). Characterizing meteorological droughts in data scarce regions using remote sensing estimates of precipitation. En V. Maggioni & C. Massari (Eds.), *Extreme Hydroclimatic Events and Multivariate Hazards in a Changing Environment: A remote Sensing Approach* (pp. 221–246). Elsevier.