

Organización:

**FUNARBE**  
FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES

**UFV**  
Universidade Federal  
de Viçosa



**AKSAAM**

Financiamento:

**FIDA**  
Investindo nas populações rurais

— de las  
Regiones

# Impactos de los CAMBIOS CLIMÁTICOS en la AGRICULTURA FAMILIAR NORTE Y NORDESTE DE BRASIL



# IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA AGRICULTURA FAMILIAR DE LAS REGIONES NORTE Y NORDESTE DE BRASIL

BRASIL - Marzo, 2023.



# AUTORÍA

## **Dênis Antônio Da Cunha**

Doctor en Economía Aplicada y Licenciado en Ciencias Económicas. Profesor Asociado en el Departamento de Economía Rural en la Universidad Federal de Viçosa (DER - UFV).



## **Lais Rosa de Oliveira**

Máster en Meteorología Aplicada e Ingeniero Topógrafo y Cartógrafo. Actualmente es estudiante de doctorado en Meteorología Aplicada en la Universidad Federal de Viçosa (UFV).



Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa

C972i 2023	Cunha, Dênis Antônio da, 1983- Impactos de los cambios climáticos em la agricultura familiar de las regiones Norte y nordeste de Brasil [recurso eletrônico] / Dênis Antônio da Cunha, Lais Rosa de Oliveira ; coordinación Marcelo José Braga ; traducción Clarisse Oliveira -- Viçosa, MG : UFV, IPPDS, 2023. 1 livro eletrônico (73 p.) : il. color.  Texto em espanhol Disponível em: <a href="https://aksaam.ufv.br/publicacoes">https://aksaam.ufv.br/publicacoes</a> Bibliografía: p. 67-73. ISBN 978-85-60601-26-4  1. Mudanças climáticas – Brasil, Norte. 2. Mudanças climáticas – Brasil, Nordeste. 3. Agricultura familiar. I. Oliveira, Lais Rosa de, 1993-. II. Braga, Marcelo José, 1969-. III. Oliveira, Clarisse. IV. Fundação Arthur Bernardes. V. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável. Projeto Adaptando Conhecimento para a Agricultura Sustentável e o Acesso a Mercados. VI. Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola. VII. Título.  CDD 22. ed. 551.525309811
---------------	--

Bibliotecário responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB6/3317

## IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA AGRICULTURA FAMILIAR DE LAS REGIONES NORTE Y NORDESTE DE BRASIL

**Realización:** Proyecto AKSAAM - Adaptando Conocimiento para la Agricultura Sostenible y el Acceso a Mercados - IPPDS/UFV

**Financiamiento:** Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA)

**Coordinación:** Marcelo José Braga

**Autoría:** Dênis Antônio Da Cunha y Lais Rosa de Oliveira

**Revisión Lingüística:** Cinthia Maritz dos Santos Ferraz Machado

**Diseño, diagramación y portada:** Adriana Freitas y Letícia Ribeiro Ianhez

**Traducción:** Clarisse Oliveira

# RESUMEN

## INTRODUCCIÓN 9

## ESCENARIOS DE CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LAS REGIONES NORTE Y NORDESTE

 17

## CAPÍTULO 2 IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA AGRICULTURA FAMILIAR DE LAS REGIONES NORTE Y NORDESTE

 30

## CAPÍTULO 3 AUMENTO DE LA RESILIENCIA Y MITIGACIÓN DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA AGRICULTURA FAMILIAR

 52

## CONSIDERACIONES FINALES 61

# INTRODUCCIÓN

Los cambios climáticos representan uno de los grandes desafíos que gobernantes, formuladores de política y la sociedad civil en general enfrentan en el siglo XXI. De acuerdo con el Sexto Informe de Evaluación – AR6 del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC-AR6, 2021, p. 9), los cambios recientes en el sistema climático, en particular, el calentamiento de la atmósfera, causados “inequívocamente” por actividades antrópicas, “no tienen precedentes a lo largo de muchos siglos hace miles de años”. Las conclusiones del IPCC-AR6 (2021, p. 5; 10) señalan que **“cada una de las últimas cuatro décadas [1980 a 2020] ha sido sucesivamente más calurosa que cualquier década que la haya precedido desde 1850”** y que acontecimientos climáticos extremos, como olas de calor, tormentas, sequías y ciclones tropicales, “se han hecho más frecuentes e intensos en la mayoría de las regiones terrestres desde la década de 1950”.

Todas las regiones del planeta están (y seguirán) afectadas por los cambios del clima. Sin embargo, los riesgos e impactos son muy distintos, tanto en términos locales como sectoriales. Las regiones semiáridas y las que están ubicadas en latitudes medias y bajas tiende a estar más expuestas a efectos de los cambios climáticos, tales como extremos de calor y períodos con déficit anormal de humedad del suelo (combinación de precipitación muy baja o escasa y exceso de evapotranspiración). Ese último impacto, llamado de **“sequía agrícola y ecológica”**, se volverá más común en diversas regiones globales, incluso en América del Sur, perjudicando la producción de alimentos y las funciones ecosistémicas de modo general (IPCC-AR6, 2021). En Brasil, se espera que las regiones Norte y Nordeste sean aún más expuestas a los efectos de los cambios climáticos.

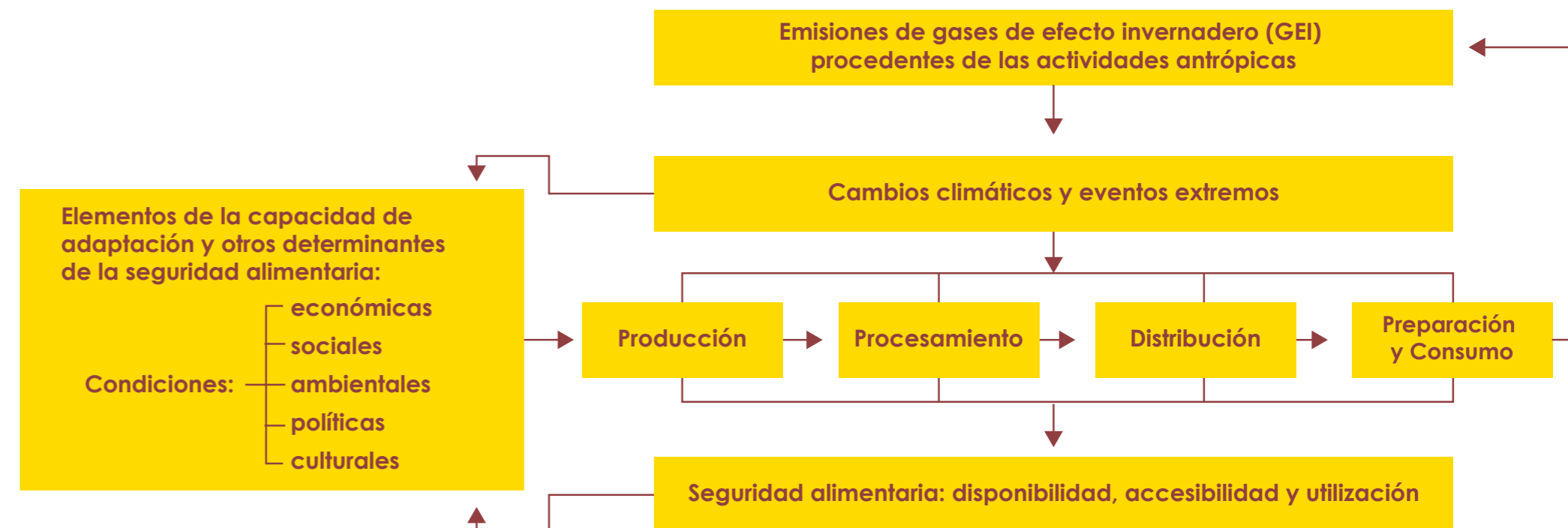


El **sector agropecuario es uno de los que sufre los mayores impactos negativos** resultantes de los cambios del clima. La principal conclusión de las investigaciones es que las sequías, la mayor variabilidad de la precipitación, la elevación de las temperaturas y los extremos de calor, así como las grandes concentraciones atmosféricas de gas carbónico, **ya están causando pérdidas de cosechas y reducción de la productividad** agrícola, las cuales tienden a intensificarse en escenarios futuros de cambios climáticos (Jägermeyr et al., 2021; Müller et al., 2021). Tales daños dificultan la superación de otros grandes desafíos globales, en particular la pobreza y la desigualdad de ingresos, la inseguridad alimentaria y el hambre.

De ese modo, se puede afirmar que hay una relación entre esos temas, como muestra la Figura 1 (Charles, Kalikoski y Macnaughton, 2019; Schnitter y Berry, 2019). Las pérdidas agrícolas reducen la actividad económica de las regiones más dependientes del sector primario, aumentando el desempleo; la menor producción de alimentos eleva sus precios y de los demás productos de la cadena productiva, **perjudicando el consumo**, la calidad nutricional de la dieta y la salud de la población. Según Mbow et al. (2019, p. 439), a lo largo del siglo XXI, puede haber

**“hasta 183 millones de personas más en riesgo de hambre en comparación a un escenario sin cambios climáticos”**  
(MBOW et al., 2019, p. 439).

Figura 1. Relación entre cambio climático, agricultura y (in)seguridad alimentaria



Fuente: Adaptada de Schnitter y Berry(2019).

La relación referida tiene aún otra dimensión asociada a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del Sector de Agricultura, Floresta y Otros Usos de la Tierra (AFOLU). Según datos del informe “Climate Change and Land”, publicado por el IPCC (2019), en el periodo de 2007 a 2016, las actividades del sector AFOLU generan cerca de un 23% de emisiones antropogénicas líquidas globales de GEI. Además, si la reducción de la productividad agrícola esperada fuera compensada por la expansión de las áreas plantadas e, en consecuencia, aumento de la deforestación, las emisiones de GEI aumentarían aún más. De acuerdo con Leite-Filho et al. (2021, p. 5), “la deforestación no solo resulta en emisiones de CO2 y pérdida irreversible de la biodiversidad (...), sino que también impone enormes pérdidas (...) de productividad al agronegocio”. Es decir, los impactos negativos sobre la agricultura, economía y seguridad alimentaria pueden intensificarse y retroalimentarse.

Algunas particularidades, como el nivel de exposición al cambio del clima (local-dependiente), la importancia del sector agrícola para la generación de la renta nacional y factores socioeconómicos, políticos, culturales e institucionales de las poblaciones pueden agravar la relación “cambio climático – agricultura – pobreza – inseguridad alimentaria/hambre”. Según Roy et al. (2018, p. 447), los cambios en el clima “afectan desproporcionadamente a las poblaciones desfavorecidas y vulnerables por medio de la inseguridad alimentaria, precios más altos de los alimentos, pérdidas de ingresos, pérdida de oportunidades subsistencia, impactos adversos en la salud y desplazamientos poblacionales”. Charles, Kalikoski y Macnaughton (2019, p. 6) explican que los impactos son más intensos en áreas rurales en las que los pequeños agricultores pobres tienen su subsistencia basada en las actividades agrícolas. Por tener menos acceso a activos (tierra y capital, por ejemplo), ellos enfrentan las “mayores dificultades en anticipar, enfrentar, adaptar y transformar sus medios de subsistencia o modo de vida”.

Los pequeños productores y los agricultores familiares forman “grupos con alta dependencia de recursos naturales para subsistencia, renta, alimentación y bienestar”. Esos grupos de agricultores tienen baja capacidad de adaptación y, en consecuencia, pocas opciones de gestión de riesgos, ya que las decisiones de producción y consumo están estrechamente relacionadas (Charles, Kalikoski y Macnaughton, 2019, p. 7). Esas particularidades tienden a intensificar las situaciones de pobreza e inseguridad alimentaria resultantes de los impactos de los cambios del clima en esos grupos.

## Pequeños productores versus agricultores familiares



La literatura sobre cambio climático consultada para la realización de este trabajo no presenta una definición homogénea de los términos “pequeño productor rural” (smallholder) y “agricultor familiar” (family farmer). Algunos autores utilizan los términos como sinónimos, mientras que otros distinguen los dos grupos (por ejemplo, son considerados pequeños agricultores solo aquellos que utilizan, como máximo, dos hectáreas de tierra para realizar sus actividades). También hay quienes consideran a los pequeños agricultores como un subgrupo de los agricultores familiares, por la gran heterogeneidad de esos últimos (Lowder, Skoet y Raney, 2016). La mayoría de las definiciones concuerdan en que los agricultores familiares son aquellos que dependen del trabajo familiar para la gestión y operación de las actividades agrícolas y de la propiedad en general, de la cual proviene su principal fuente de ingresos y sustento (Graeub et al., 2016). En Brasil, la “Unidad Familiar de Producción Agraria” es definida como aquella que posee área de hasta cuatro módulos fiscales y que obtiene la mayor parte de la renta de las actividades desarrolladas en el propio establecimiento, utilizando, sobre todo, mano de obra familiar para la producción y la gestión (Ley N.º 11.326/2006, cambiada por el Decreto N.º 9.064/2017). Basándose en la definición legal, Gori Maia y Schons (2020, p. 185) explican que la agricultura familiar incluye “las familias rurales que desarrollan actividades agropecuarias y extractivistas (productos forestales y pesca, por ejemplo) para subsistencia y, o, para obtención de renta; (...) ese grupo comprende (...) pequeños propietarios de tierra asentados por el gobierno, (...) indígenas, palanqueros (...), mestizos (...), caucheros (...) y familias ribereñas”. Se trata, por lo tanto, de un grupo muy heterogéneo. Los datos del Censo Agropecuario 2017 (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística – IBGE, 2019) permiten afirmar, por ejemplo, que la mayoría de los pequeños agricultores brasileños – con hasta dos hectáreas de área – son familiares (77,8%), aunque no todos los establecimientos de la agricultura familiar sean, necesariamente, pequeños (las propiedades de ese grupo poseen, en media, 20,8 hectáreas). Como sale del alcance de este estudio identificar los elementos que diferencian a los grupos “pequeño productor rural” y “agricultor familiar”, se destaca que el enfoque aquí está en los agricultores “inherentemente vulnerables a los cambios climáticos”, o sea, aquellos que son más sensibles pues: (i) su supervivencia está directamente relacionada a la práctica agrícola; (ii) su propiedad está ubicada en áreas más expuestas a los riesgos climáticos; y (iii) poseen menor capacidad adaptativa debido a peores condiciones socioeconómicas e institucionales.

\*De acuerdo con el Decreto N.º 9.064/2017, módulo fiscal se refiere a una “unidad de medida agraria para clasificación territorial del inmueble, expresada en hectáreas, la cual podrá variar conforme el municipio, calculada por el Instituto Nacional de Colonización y Reforma Agraria - Incra”.



Aunque se han enumerado muchas características que explican la mayor vulnerabilidad a los cambios climáticos de la agricultura familiar, es necesario resaltar que ese grupo también posee importantes factores de resiliencia, tales como:

- Utilización eficiente de mano de obra familiar para la producción de alimentos y de materias primas para uso en la propiedad (Morton, 2007);
- Conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas y de las comunidades palanqueras y de fondo y de cierre de pasto, ribereñas, caucheros, entre otras. Tales saberes, típicos de sus actividades cotidianas y perfeccionados a lo largo de los siglos, garantizan acceso a otros medios de subsistencia y facilitan el enfrentamiento de riegos y crisis (Morton, 2007);
- Adopción de sistemas de producción agrícola más diversificados y con mayor conservación de los recursos naturales, factores que contribuyen para la reducción de los riegos alimentarios y de la variabilidad de la renta familiar (Pereira y De Castro, 2022).
- Utilización de semillas "criollas", que han sido seleccionadas naturalmente a lo largo de las generaciones y que conservan sus características deseables, como, por ejemplo, mayor tolerancia a los estreses climáticos o productividad más alta; y también algunas especies de animales, como gallinas y cabras, que son más resistentes y adaptadas a las condiciones del Semiárido (Da Cunha, 2022).
- Contribución a la reducción de la deforestación y regeneración de la vegetación nativa, protegiendo la biodiversidad, a la cual su cualidad de vida está directa e indirectamente asociada. Específicamente, en Amazonia, entre los años de 2012 y 2017, las tierras indígenas y los territorios ribereños fueron los que más contribuyeron para la regeneración de la vegetación nativa (Alves-Pinto et al., 2022).

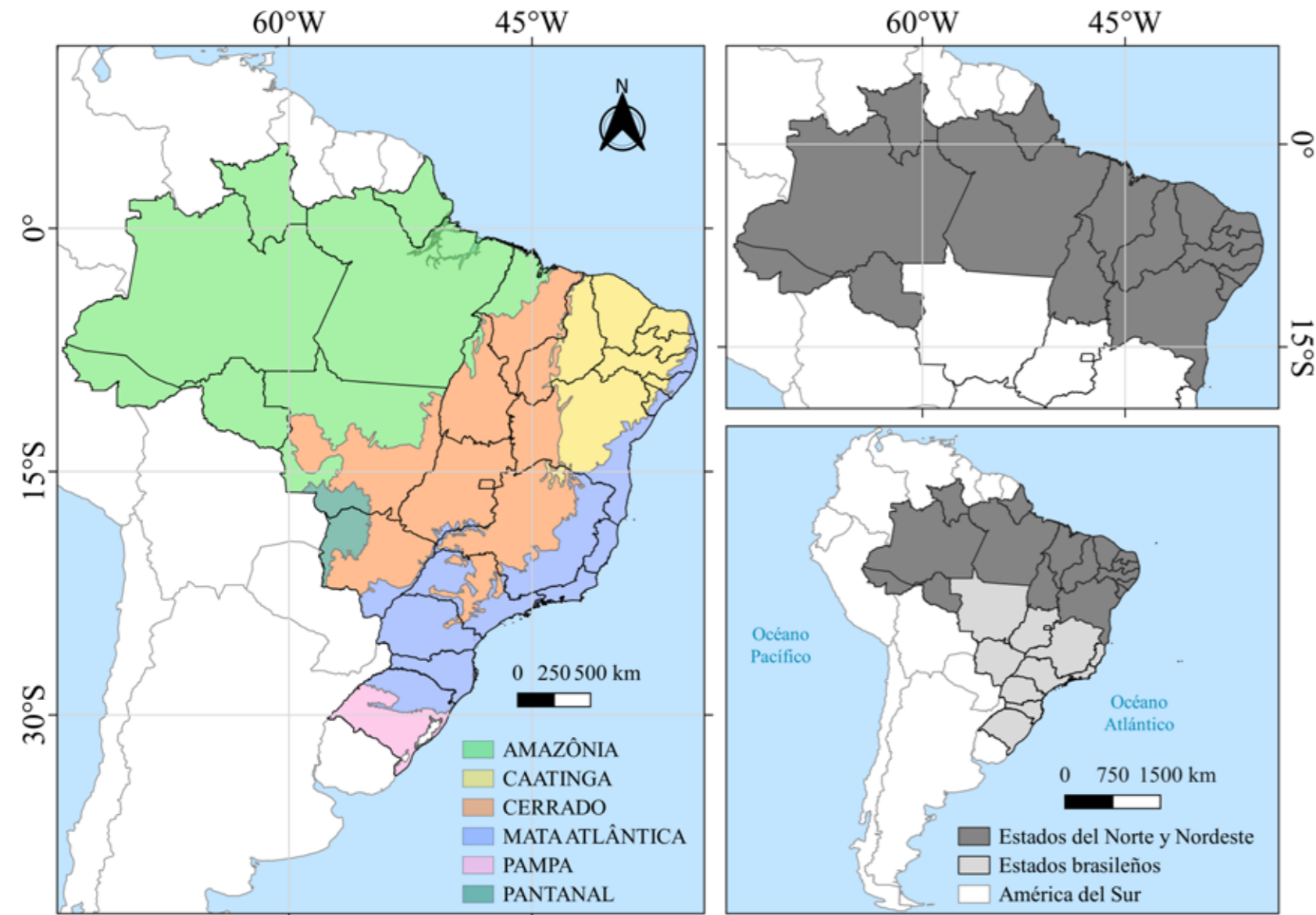
Ante lo expuesto, el presente estudio tiene dos objetivos principales: (i) sintetizar las principales conclusiones de la literatura sobre cambios climáticos en las regiones Norte y Nordeste de Brasil y sus impactos en la agricultura familiar; y (ii) presentar recomendaciones de enfrentamiento, es decir, convivencia y adaptación, así como caminos para el desarrollo sostenible de la actividad agrícola familiar. Se considerarán los más recientes escenarios de cambio climático global presentados en el IPCC-AR6 (2021), buscando comprender riesgos proyectados para esas dos regiones brasileñas. Los análisis aquí presentados amplían y complementan el estudio "Cambio del clima y los impactos en la agricultura familiar en el Norte y Nordeste de Brasil" de Machado Filho et al. (2016), cuyas conclusiones fueron basadas en el informe anterior del IPCC – AR5 (2013).

La Figura 2 muestra las regiones consideradas en este estudio y destaca los biomas que están localizados en cada una de ellas. El Norte es caracterizado por la presencia de la Floresta Amazónica, con vegetación exuberante y diversificada, y una de las áreas más ricas en biodiversidad del planeta. En el Nordeste, la Caatinga es el principal bioma presente, con vegetación adaptada a las condiciones de aridez y escasez de agua; también hay la presencia de áreas de transición para el Cerrato y la Mata Atlántica, así como los ecosistemas costeros y de manglares.

El estudio posee otras cuatro secciones además de esta introducción, en las cuales serán presentados: el patrón histórico y escenarios futuros de las variables precipitación y temperatura en las regiones Norte y Nordeste; los principales impactos de los cambios climáticos en la agricultura familiar basado en la literatura especializada; discusiones sobre alternativas de aumento de la resiliencia y mitigación de los cambios climáticos en la agricultura familiar; y consideraciones finales.



Figura 2. Regiones Norte y Nordeste y biomas presentes en el territorio brasileño



Fuente: elaboración propia basada en datos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística – IBGE.

# ESCENARIOS DE CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LAS REGIONES NORTE Y NORDESTE

El cambio del clima es un fenómeno global claramente influenciado por las actividades humanas. Aunque países de todo el mundo ya están siendo afectados, las manifestaciones son regionalmente distintas (IPCC-AR6, 2021). Por eso, obtener informaciones climáticas a escala local es muy importante para el diseño adecuado de políticas de adaptación y mitigación, sobre todo en Brasil, dadas las dimensiones continentales. De acuerdo con el IPCC-AR6 (2021, p. 1366), “los análisis regionales de las distribuciones de precipitación, temperatura (...) y de la frecuencia e intensidad de eventos extremos, son más precisos que las proyecciones globales”. Por lo tanto, en esta sección serán presentados los datos sobre los patrones históricos y escenarios futuros de variables climáticas para el Norte y el Nordeste, a fin de comprender mejor los riesgos regionales. Las informaciones se espacian, lo que permite a los formuladores de políticas locales acceder de forma más detallada a las tendencias climáticas y, así, poder pensar en estrategias para minimizar los efectos adversos previstos (Da Silva et al., 2019).

Las figuras 3 a 8 muestran el comportamiento pasado (1986 a 2014) y simulaciones futuras en tres periodos (2016 a 2045, 2046 a 2075 y 2076 a 2100) de las variables temperatura mínima y máxima y precipitación acumulada media, para las cuatro estaciones del año, en las regiones Norte y Nordeste de Brasil. Los datos presentados en las figuras, organizados especialmente para este estudio por el Grupo de Investigaciones en Climatología Aplicada (CLIMAP) de la Universidade Federal de Viçosa (UFV)<sup>1</sup>, hacen parte del mismo conjunto de informaciones en las que se basaron las conclusiones del Grupo de Trabajo I (The Physical Science Basis) del IPCC-AR6 (2021).

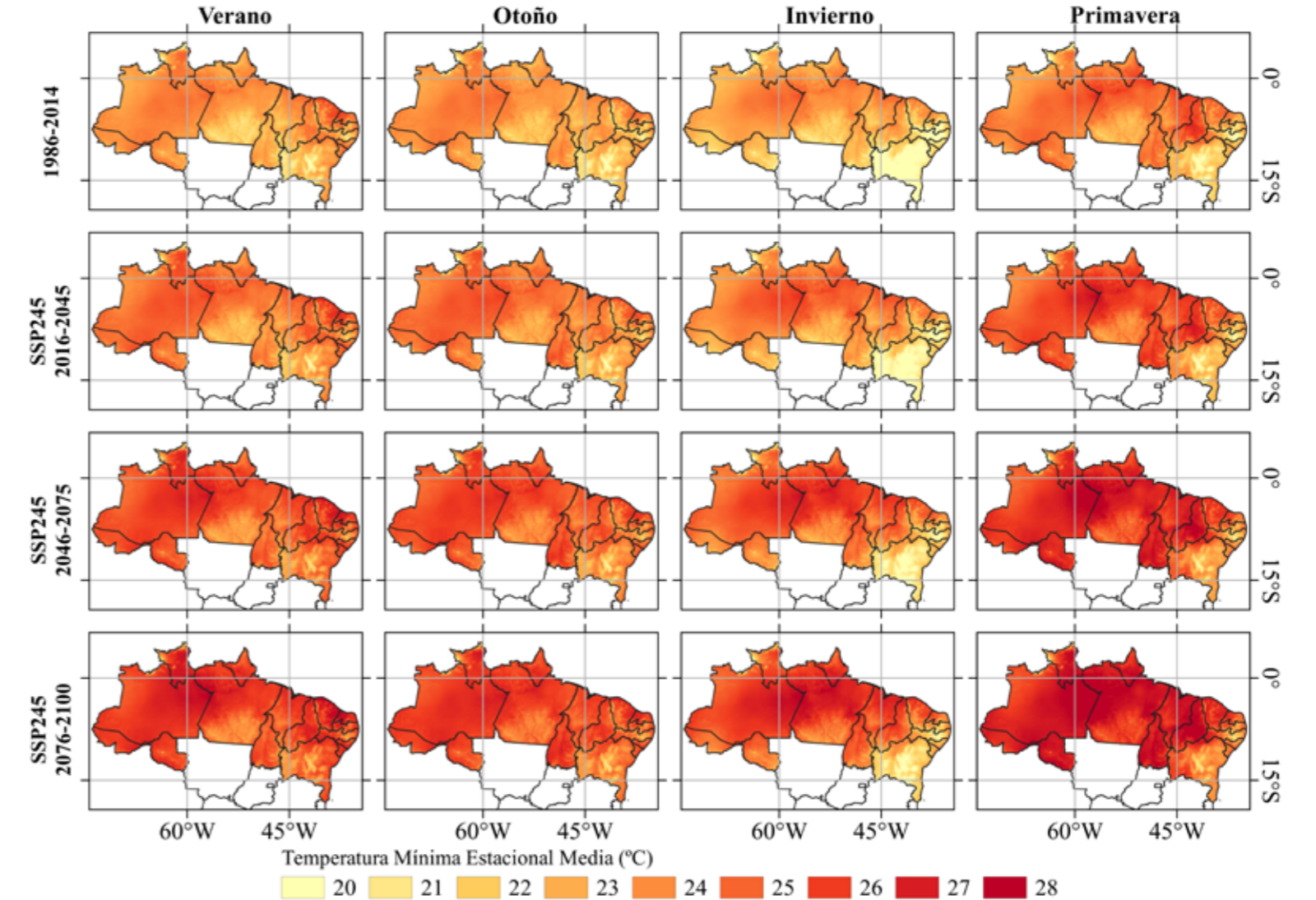
<sup>1</sup> Se puede obtener informaciones sobre el CLIMAP/UFV en <https://climap.ufv.br/>.

Las simulaciones futuras resultan de estimativas de los Modelos de Circulación General (MCG) puestos a disposición por el *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 – CMIP6*. El CMIP6 posee un gran conjunto de MCG contruidos por diferentes grupos de investigación, que realizan simulaciones de variables climáticas para todas las regiones del planeta. Para este estudio, fueron seleccionados cuatro MCG (ACCESS-ESM1-5; CMCC-CM2-SR5; MIROC6; y MRI-ESM2-0) que tuvieron el mejor desempeño al simular las condiciones históricas de temperatura y precipitación de las regiones brasileñas según los resultados de Firpo et al. (2022). Los datos de los modelos fueron obtenidos en una resolución espacial de 0.25°x0.25°, lo que equivale a *pixels* de aproximadamente 28 km<sup>2</sup>. Los datos presentados en las Figuras 3 a 8 representan el promedio de los cuatro modelos utilizados; esa elección se hizo buscando la mejor comprensión de la trayectoria observada de las variables climáticas en el pasado, así como su evolución futura proyectada (Papalexiou et al., 2020; Avila-Diaz et al., 2023), evitando *outliers* y minimizando la variabilidad interna de cada MCG.

Se eligieron dos escenarios de cambio climático: *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP2-4.5 y SSP5-8.5). De acuerdo con Da Cunha (2022, p. 26), los escenarios climáticos son resultantes de “diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contruidas con base en suposiciones sobre crecimiento poblacional, estilos de vida, uso de combustibles fósiles (...), cambios en el uso de la tierra, desarrollo tecnológico y socioeconómico etc.”. Ballarin et al. (2023) explican que el SSP2-4.5 presupone un nivel intermedio de emisiones de GEI (“el medio del camino”), al paso que el SSP5-8.5 considera una trayectoria pesimista (“desarrollo impulsado por combustibles fósiles”). La mayor parte de las investigaciones revisadas en la tercera sección de este estudio también utiliza los escenarios intermedio y pesimista, pero basado en las estimativas del IPCC--AR5 (2013).

<sup>2</sup> NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6, 2021).

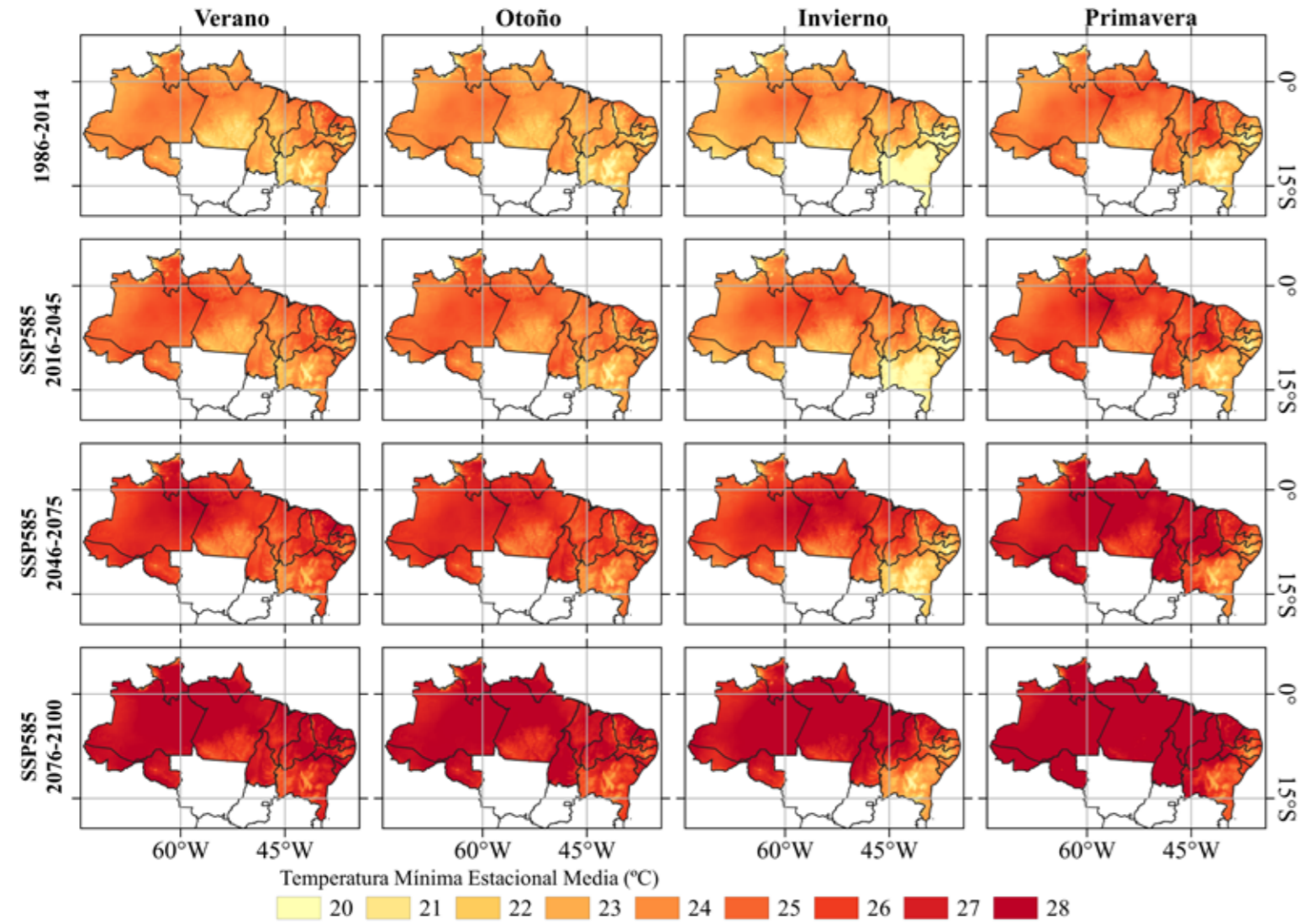
Figura 3. Temperatura mínima estacional media (°C), tendencia histórica y escenario futuro “intermediario” (SSP2-4.5)



Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6(2021).

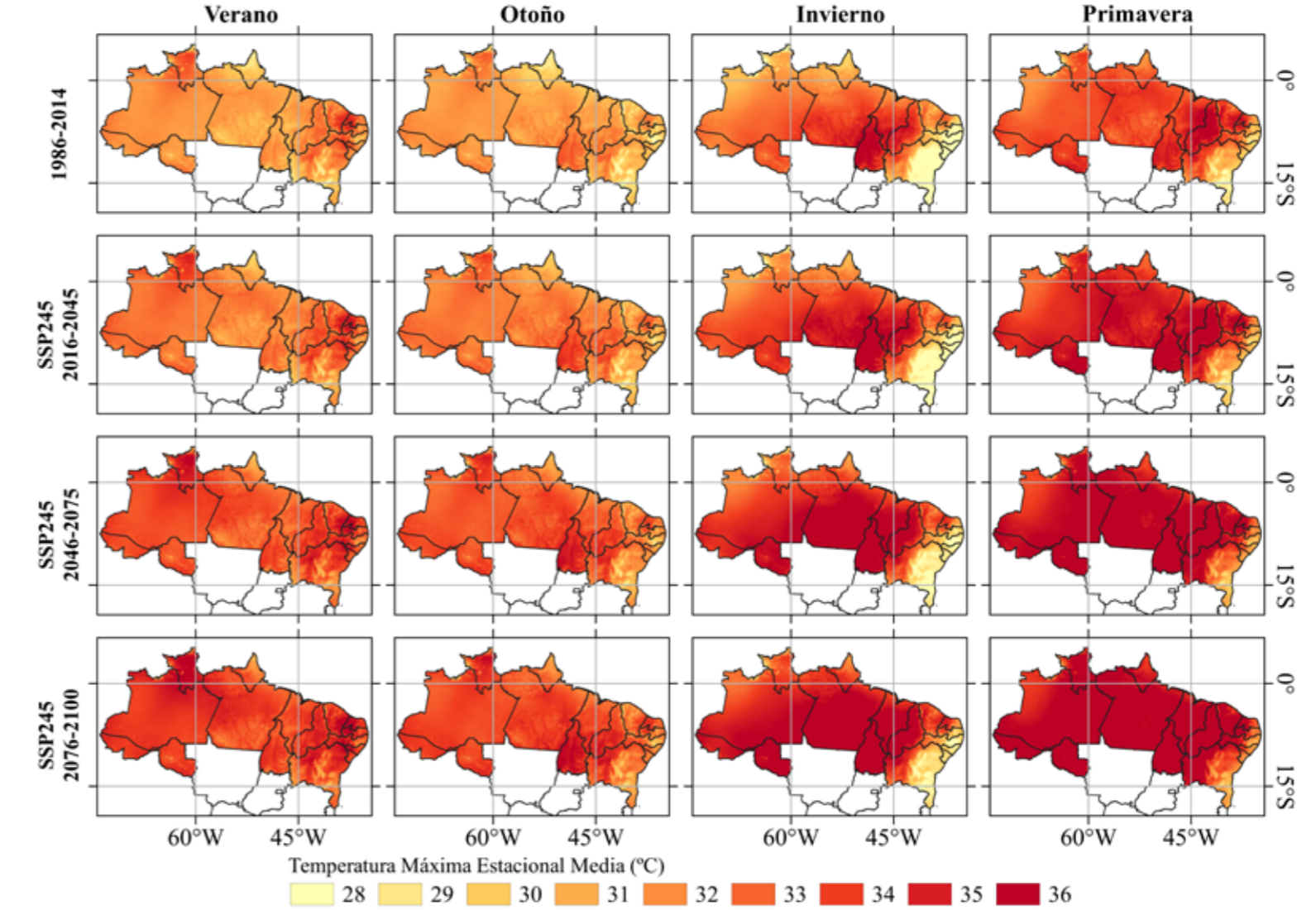


Figura 4. Temperatura mínima estacional media (°C), tendencia histórica y escenario futuro "pesimista"(SSP5-8.5)



Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6(2021).

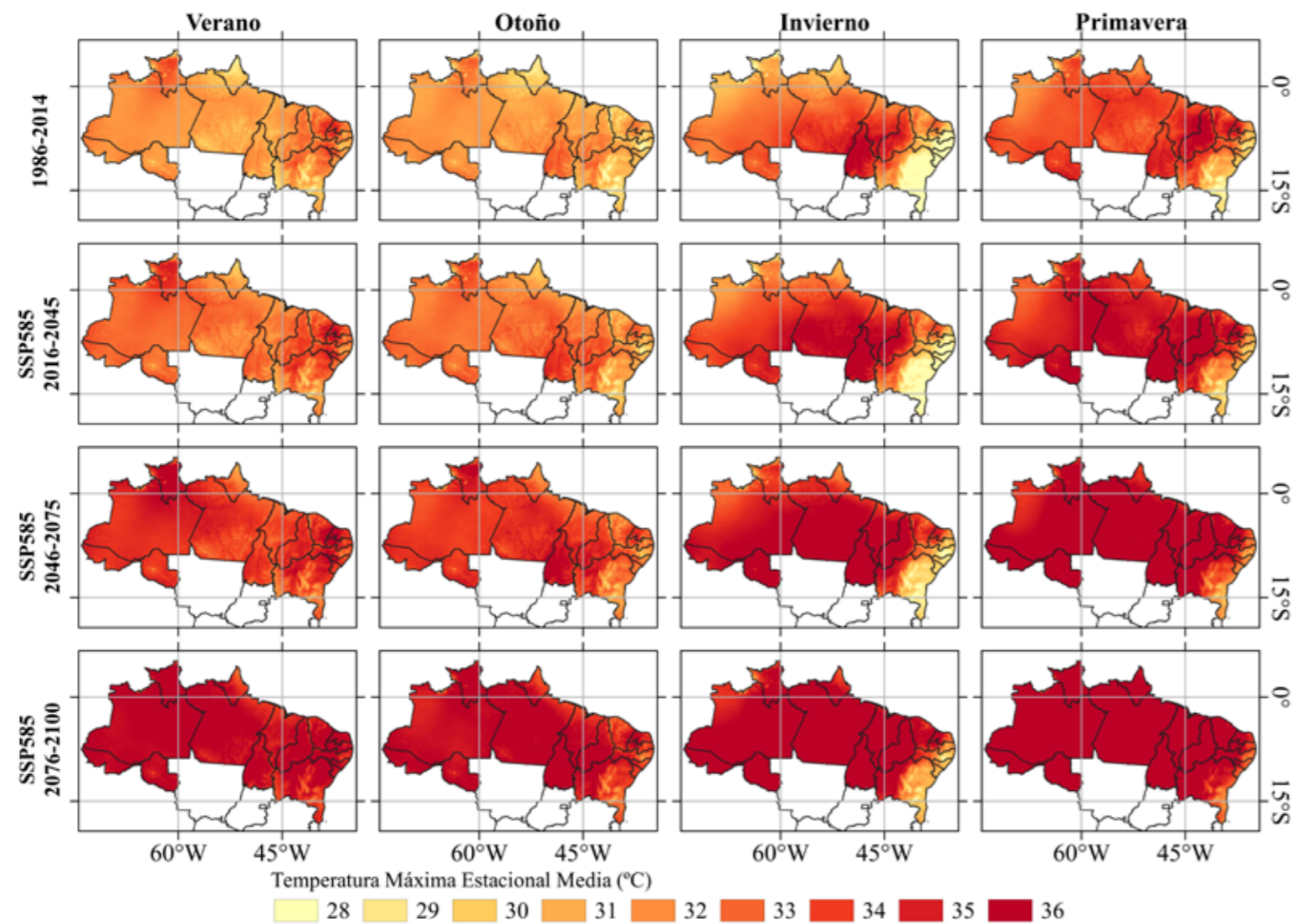
Figura 5. Temperatura máxima estacional media (°C), tendencia histórica y escenario futuro "intermediario"(SSP2-4.5)



Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

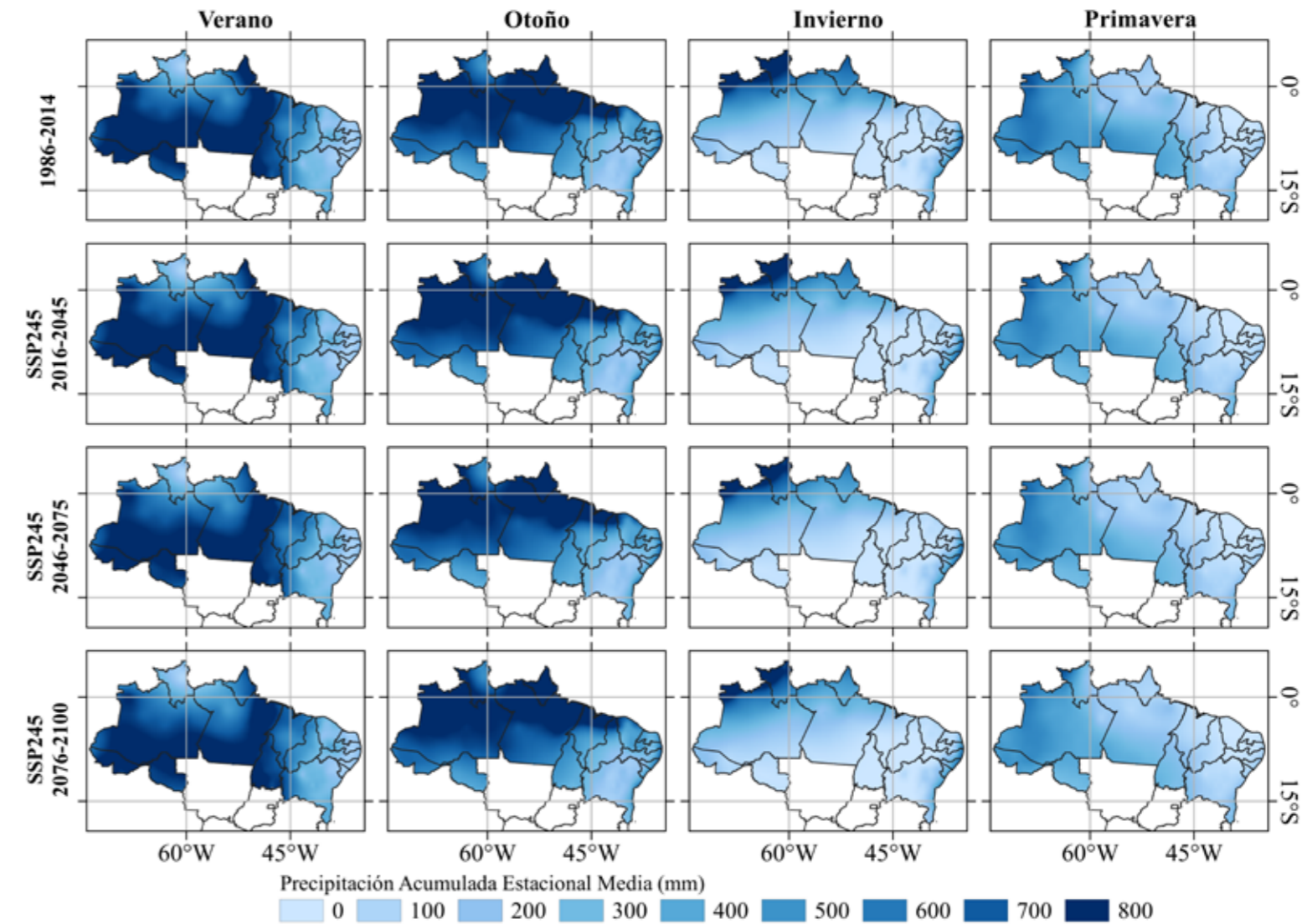


Figura 6. Temperatura máxima estacional media (°C), tendencia histórica y escenario futuro "pesimista" (SSP5-8.5)



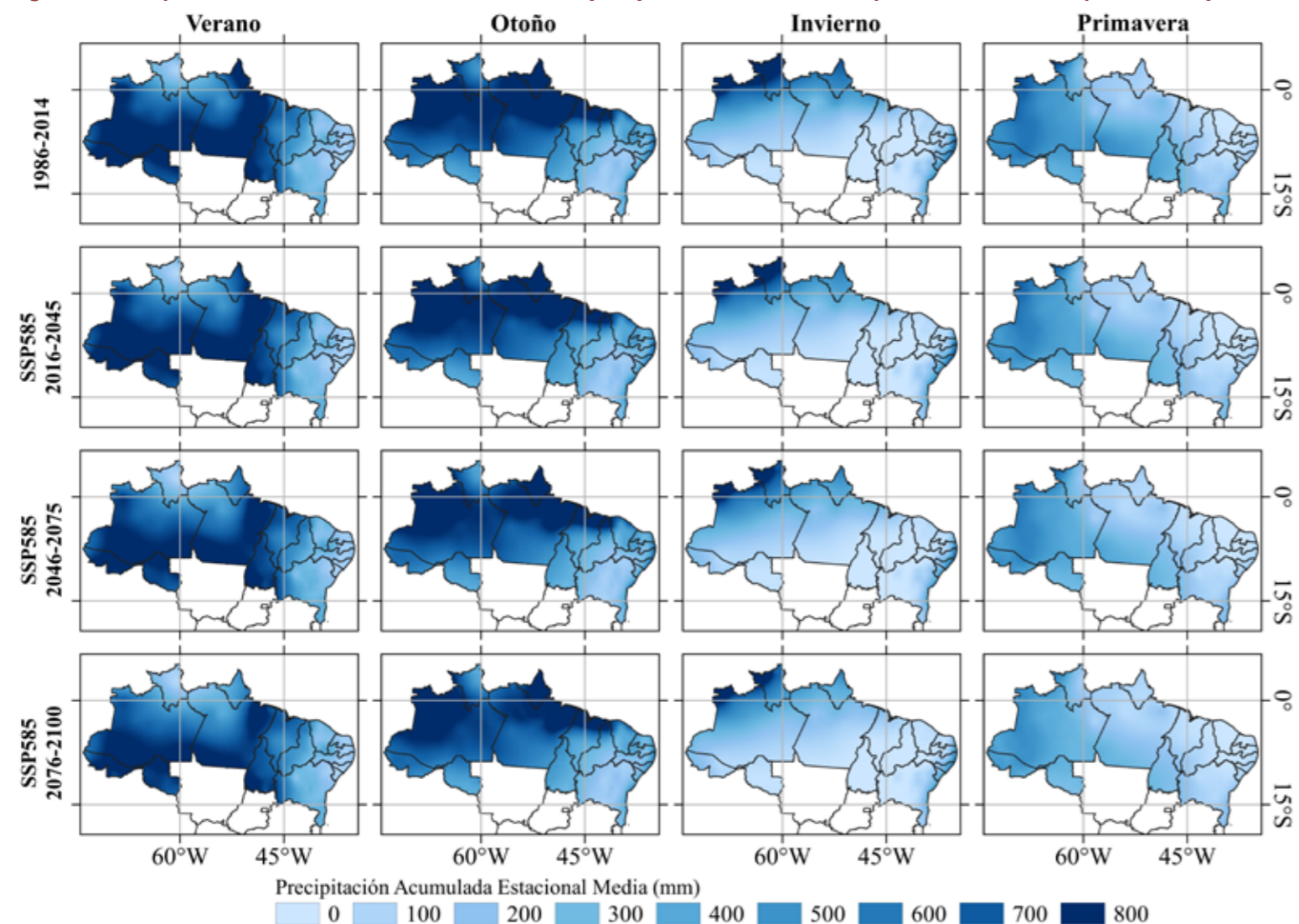
Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Figure 7. Precipitación acumulada estacional media (mm), tendencia histórica y escenario futuro "intermediario" (SSP2-4.5)



Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Figura 8. Precipitación acumulada estacional media (mm), tendencia histórica y escenario futuro “pesimista” (SSP5-8.5)



Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

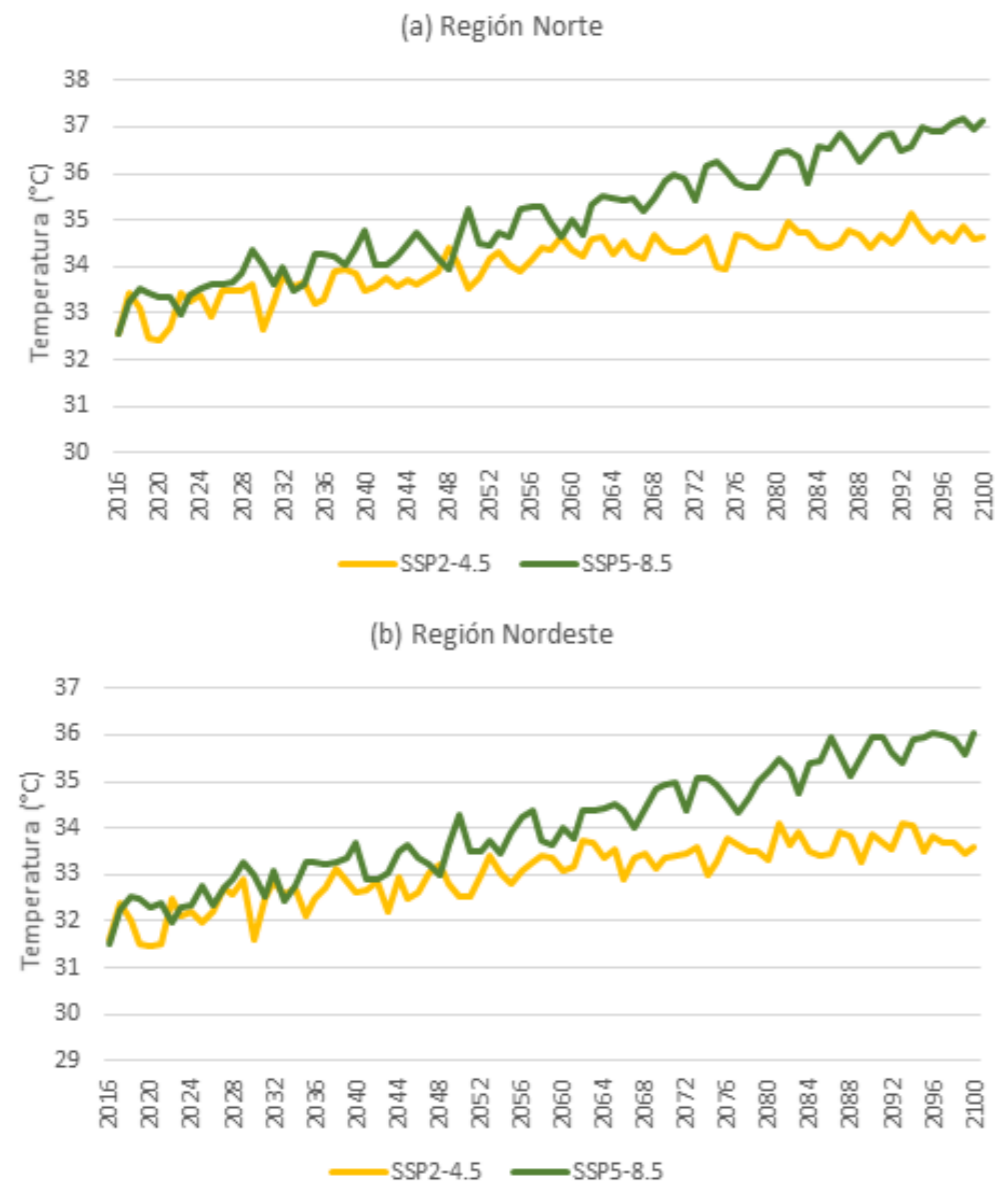
Aunque son regiones con características climáticas distintas, los escenarios futuros del IPCC-AR6(2021) indican que el Norte y el Nordeste sufrirán algunos impactos similares como resultado de los cambios climáticos. En general, el análisis de las Figuras 3 a 8 indica que ambas regiones tendrán un aumento en los extremos de temperaturas (mínima y máxima) y reducción en el volumen de precipitación. También se espera que los efectos sean más intensos a partir de la segunda mitad del siglo XXI y en el escenario “pesimista” (SSP5-8.5). Cabe destacar que esos efectos poseen gran variabilidad espacial. En el caso del Nordeste, por ejemplo, las áreas costeras son menos impactadas; para la región Semiárida, se esperan los mayores extremos de calor y, principalmente, volúmenes de lluvia bien menores. Cortez et al. (2022) también demuestran gran variabilidad espacial de los patrones de lluvias extremas en las regiones aquí estudiadas. Según los autores, se espera un aumento de las lluvias extremas (50 a 80mm.día-1) en la costa del Nordeste y en las regiones central y noroeste de la Amazonía, y una reducción en el Semiárido.

La Figura 9 presenta el comportamiento de la temperatura máxima (media anual) en los dos escenarios de cambio climático considerados en este estudio (mapas de las Figuras 3 a 6). En ambas regiones la tendencia de calentamiento es muy expresiva<sup>3</sup>. En relación al presente, en la región Norte los modelos predicen aumentos en la temperatura máxima que pueden variar de 0,95°C a 2,66°C hasta 2050 (escenarios “intermediario” - SSP2-4.5 y “pesimista” - SSP5-8.5, respectivamente) y de 2,04°C a 4,67°C hasta 2100; en la región Nordeste esos valores pueden variar de 0,92°C a 2,74°C hasta 2050 y de 1,98°C a 4,51°C hasta 2100.

<sup>3</sup>La tendencia es similar para la temperatura mínima, cuyos resultados no se han mostrado aquí.



Figura 9. Temperatura máxima anual media (°C), escenarios futuros



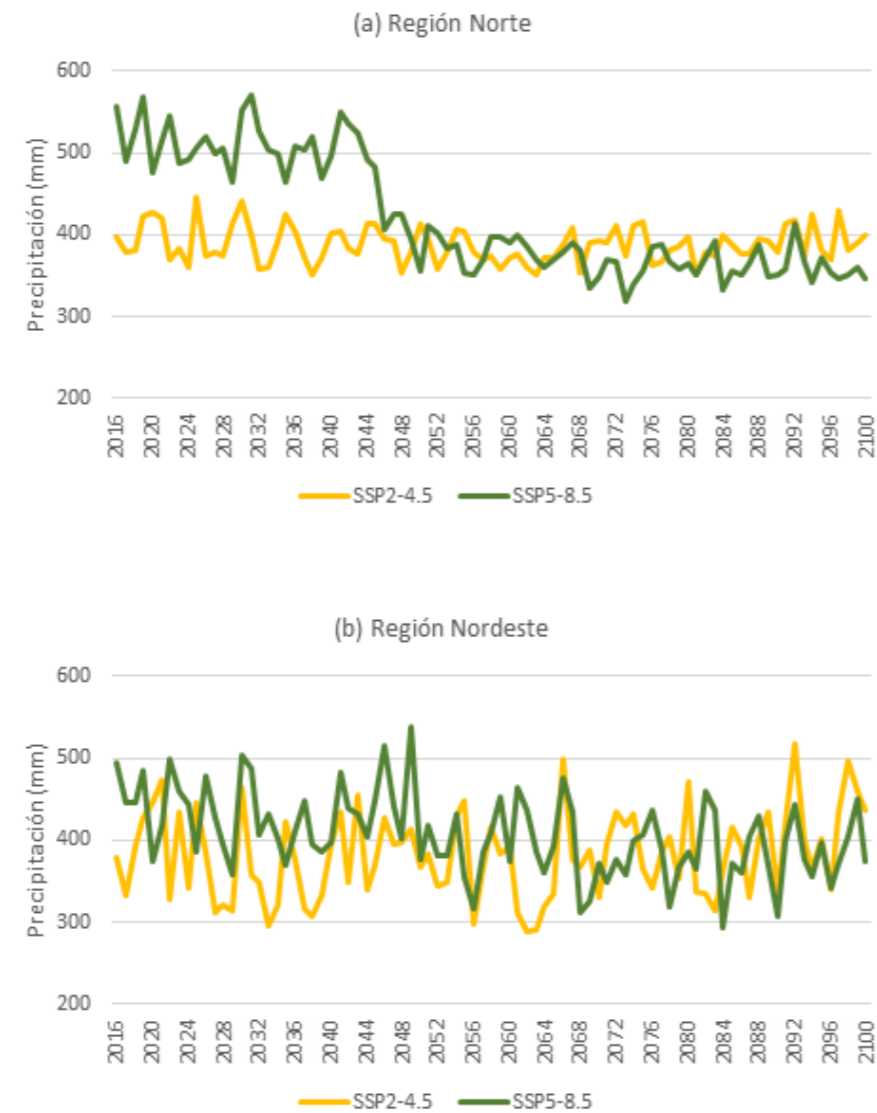
Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

La Figura 10 muestra la evolución anual de las estimativas futuras de precipitación acumulada presentadas en los mapas de las Figuras 7 y 8. La tendencia de reducción de la precipitación es más clara en la región Norte, con aumento expresivo de la variabilidad (la desviación patrón va de 22,02 en el escenario “intermediario” - SSP2-4.5 a 72,30 en el “pesimista” - SSP5-8.5). En el Nordeste los dos escenarios también muestran gran variabilidad de las lluvias, pero sin grandes diferencias entre los escenarios (desviación patrón de 53,01 y 50,12, respectivamente). Es importante resaltar que, a diferencia de la temperatura, hay mayor incertidumbre en relación a las proyecciones de precipitación, es decir, menor acuerdo entre los modelos y escenarios (IPCC-AR6, 2021).

Los resultados aquí reportados son similares a los obtenidos por Ballarin et al. (2023), que analizaron los datos de 19MCG disponibles en el CMIP6. Entre las conclusiones de esos autores para los biomas Amazonía y Caatinga, los principales de las regiones aquí estudiadas, se destacan: (i) aumento en las temperaturas máximas y mínimas mayor que las proyecciones de elevación de la temperatura media; el aumento porcentual de la temperatura máxima proyectada es un poco más grande en la Amazonía que en los otros biomas; y (ii) reducción de la precipitación media en todas las estaciones del año, pero con el mantenimiento de los ciclos estacionales característicos de cada bioma. Para el bioma Mata Atlántica Ballarin et al. (2023) demostraron que hay expectativa de gran aumento en la precipitación media en los meses de abril a julio y una reducción entre agosto y septiembre; hay también proyecciones de aumento de la temperatura, en especial la mínima (hasta un 35% más, en relación al presente, en el escenario “pesimista” SSP5-8.5).



**Figura 10. Precipitación acumulada anual media (mm), escenarios futuros**



Fuente: Elaboración de los autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Los principales efectos de los cambios climáticos para las regiones Norte y Nordeste reportados en la literatura se resumen en el Cuadro 1. La mayor parte de los eventos enumerados ya han sido reportados en ambas regiones y tienden a intensificarse a lo largo del siglo XXI, en especial en el escenario “pesimista” - SSP5-8.5.

**Cuadro 1. Principales efectos de los cambios climáticos esperados en las regiones Norte y Nordeste reportados en la literatura**

Efectos de los cambios climáticos	Eventos relacionados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevación de la temperatura, especialmente en los extremos (temperaturas máxima y mínima)</li> <li>• Aumento del número de días muy calurosos (por encima de 35 °C), especialmente en verano</li> <li>• Más olas de calor.</li> <li>• Aumento de la radiación solar (Norte).</li> <li>• Reducción de la precipitación media.</li> <li>• Mayor variabilidad interanual de la precipitación.</li> <li>• Mayor número y frecuencia de días secos consecutivos.</li> <li>• Reducción del número de días húmedos consecutivos.</li> <li>• Aumento de la duración de la estación seca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sequías más severas.</li> <li>• Más evapotranspiración.</li> <li>• Altos riesgos de incendios forestales (Norte).</li> <li>• Mayor riesgo de desborde e inundaciones (Norte).</li> <li>• Intensificación del proceso de desertificación en el Nordeste (en especial en su porción semiárida) y del riesgo de sabanización de la floresta Amazónica.</li> </ul>

Fuente: Da Silva et al. (2018); Marengo et al. (2020); Avila-Diaz et al. (2020); Alves de Oliveira et al. (2021); IPCC-AR6 (2021).

Los impactos de los cambios del clima presentados en el Cuadro 1 pueden causar diversos choques negativos a la población, entre los cuales se destacan la reducción de la seguridad hídrica y alimentaria, así como diversos problemas de salud. Como consecuencia general, el desarrollo socioeconómico y humano se ve comprometido, empeorando las condiciones de vida regionales. En la siguiente sección se discutirán algunas de esas consecuencias desde las expectativas de pérdidas hasta la producción de la agricultura familiar.

# IMPACTOS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA AGRICULTURA FAMILIAR DE LAS REGIONES NORTE Y NORDESTE

## 2

Los impactos de los cambios climáticos en la agricultura, en particular la reducción o estancamiento de la productividad y la disminución de la visibilidad de algunas variedades de cultivos, han sido bien documentados en la literatura (Mbow et al., 2019; IPCC-AR6, 2022). Sin embargo, la mayoría de los estudios no lleva en cuenta las actividades de los pequeños productores rurales o de la agricultura familiar (Mbow et al., 2019). En 2016, cuando publicaron el informe “Cambio del clima y los impactos en la agricultura familiar en el Norte y Nordeste de Brasil” Machado Filho et al. (2016, p. 64) resaltaron que el grupo de trabajo sobre vulnerabilidad del IPCC-AR5(2014), “la revisión más completa sobre el asunto”, citaba pocas investigaciones sobre ese importante grupo de agricultores.

La realidad poco ha cambiado desde entonces; como reconoce el más reciente informe del IPCC-AR6 (2022, p. 1762), “los impactos de los cambios climáticos en los grupos más vulnerables siguen siendo poco estudiados” y las investigaciones siguen centrándose en las principales *commodities* comercializadas a nivel mundial (soja, maíz, arroz y trigo). En relación a la región Norte, todavía hay dificultades adicionales, pues la mayor parte de las investigaciones sobre cambio climático está interesada en los efectos – ecológicos y económicos – de la deforestación, con poca atención a la agricultura familiar.

Existe amplia y creciente literatura sobre los impactos de los cambios climáticos en la agricultura brasileña. Aunque existan grandes diferencias en el modelado y, en consecuencia, incertidumbres sobre las magnitudes de los efectos, esas investigaciones están de acuerdo que la agricultura brasileña será negativamente afectada. Los cultivos más analizados en Brasil también son las principales *commodities* de la agenda de exportaciones del país, especialmente soja y maíz, y prácticamente no hay diferenciación de tipos de agricultores. Aunque el enfoque de esas investigaciones no sea la agricultura familiar, son importantes para demostrar que

**“los cambios climáticos aumentarán las disparidades regionales entre los estados y municipios brasileños, porque las áreas más afectadas son aquellas que ya presentan los niveles más bajos de productividad agrícola”  
(ASSUNÇÃO y CHEIN, 2016, p. 598).**

El estudio de Nazareth, Cunha y Gurgel (2020), por ejemplo, demuestra cómo las regiones brasileñas pueden verse afectadas de modo distinto, acentuando las disparidades socioeconómicas ya existentes. A partir de los choques de productividad agrícola resultantes de los cambios climáticos, los autores simularon la trayectoria del Producto Interno Bruto (PIB) regional hasta 2050 (Figura 11). Los resultados confirman que el Norte y el Nordeste sufrirán grandes impactos, mientras el Sur podrá incluso beneficiarse.

**Figura 11. Variación porcentual del PIB de las regiones brasileñas como resultado de caída de la productividad agrícola en escenarios de cambios climáticos, 2025-2050**



Fuente: elaborado por los autores basado en los resultados de Nazareth, Cunha y Gurgel (2020).

Santos, Oliveira y Ferreira-Filho (2022, p. 19) presentan conclusiones similares, es decir, confirman que “las pérdidas serán mayores en aquellas regiones cuyas economías son más dependientes de la agricultura en la composición del valor de su producción”, Los autores también concluyeron que trabajadores pobres, y los grupos de bajos ingresos más dependientes de la agricultura en general, tendrán pérdidas de consumo y, en consecuencia, de bienestar más expresivas, principalmente en el Nordeste y Centro Oeste. Tratando específicamente de la Amazonia Legal, Tanure et al. (2020) demostraron que los estados de Mato Grosso, Tocantins, Pará y Maranhão podrán tener las mayores caídas en el PIB resultantes de las pérdidas agrícolas causadas por los cambios del clima hasta 2050.

Tomando como punto de partida el concepto de vulnerabilidad como la “propensión o predisposición de un sistema a ser afectado negativamente” por los cambios climáticos, Santos et al. (2023, p. 3) concluyeron que los agricultores de las regiones Norte y Nordeste son los más vulnerables del país. Los autores identificaron hay existe correlación positiva entre el porcentual municipal de agricultores familiares y el grado de vulnerabilidad. El IPCC-AR6 (2022, p. 2422) explica que eso ocurre eso ocurre porque “los riesgos climáticos están fuertemente relacionados con desigualdades multidimensionales (...), que resultan de aspectos económicos, políticos y socioculturales”. Se trata de una visión de “vulnerabilidad contextual” (Iwama et al., 2016), es decir, los efectos de la exposición a los riesgos climáticos de los agricultores familiares del Norte y del Nordeste se profundizan debido a su baja capacidad de adaptación.

Los estudios de Tanure, Domingues y Magalhães (2023, 2024) presentan un panorama muy detallado de los impactos de los cambios climáticos en la agricultura familiar brasileña, así como en las regiones Norte y Nordeste. A diferencia de la mayor parte de las investigaciones que tratan de Brasil, cuyo enfoque se centra solo en las principales commodities para exportación, sin distinción del tipo de productor, los autores consideran un gran conjunto de actividades agrícolas, que representan la diversidad de la producción nacional, y las han desagregado en agricultura familiar y patronal. El modelo desarrollado por los autores



contiene la (i) producción agrícola (desagregada en arroz, trigo y cereales, maíz, algodón, caña de azúcar, soja, yuca, hoja de tabaco, tomate, patata, cebolla, maní, piña, plátano, frijol, anacardo, uva, naranja, café y otros cultivos permanentes y temporarios; (ii) ganadería, (iii) silvicultura y (iv) extracción. Los cambios del clima fueron representados por dos escenarios del IPCC-AR5 (2013) – RCP 4.5 (“intermediario”) y RCP 8.5 (“pesimista”) – con simulaciones de choques de productividad e impactos macroeconómicos para el período de 2021 a 2050.

Entre las principales conclusiones de Tanure, Domingues y Magalhães (2023, 2024) para el conjunto de Brasil, se destacan:



Considerando específicamente las regiones Norte y Nordeste, Tanure, Domingues y Magalhães (2024) concluyen que:

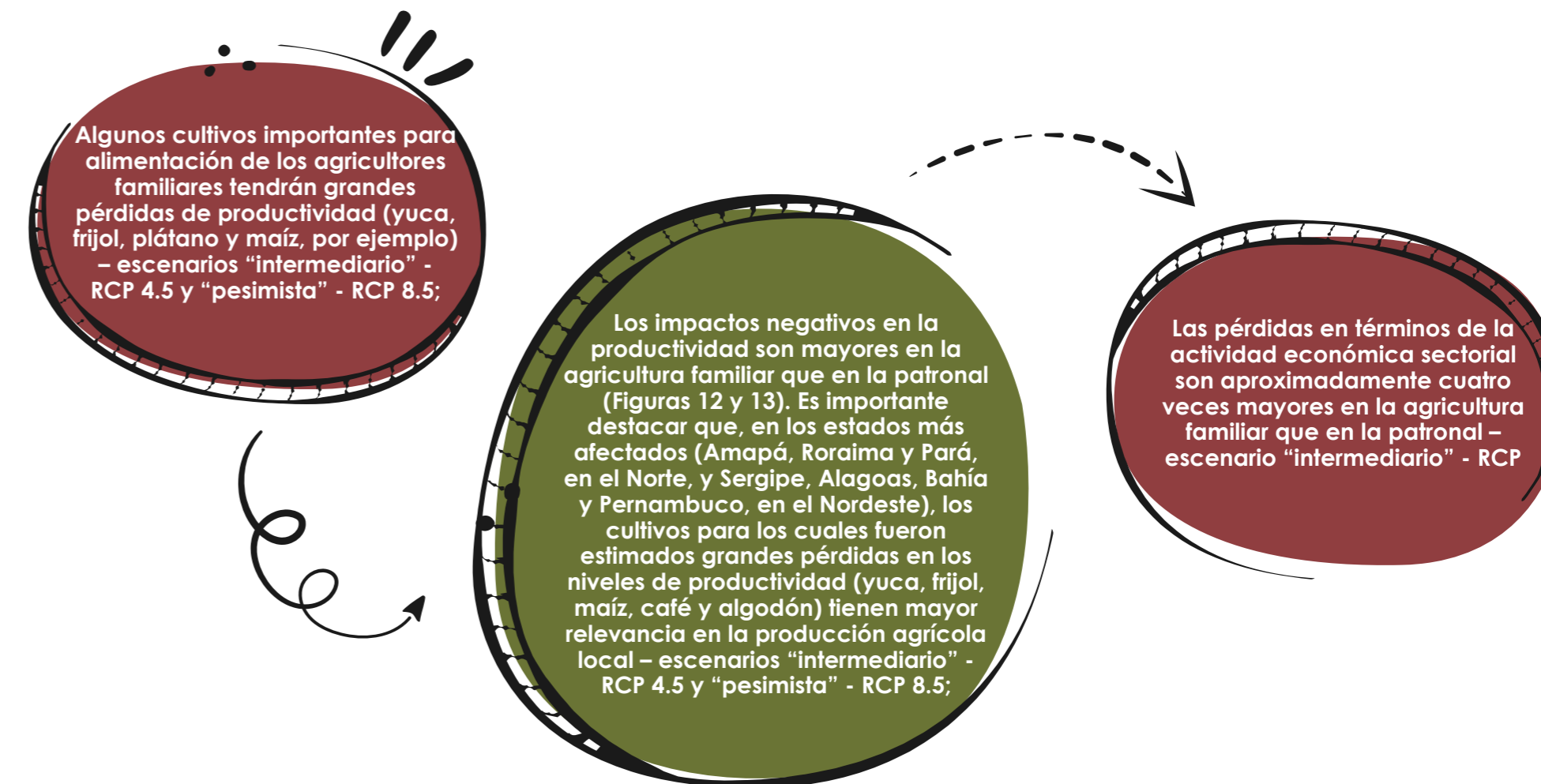
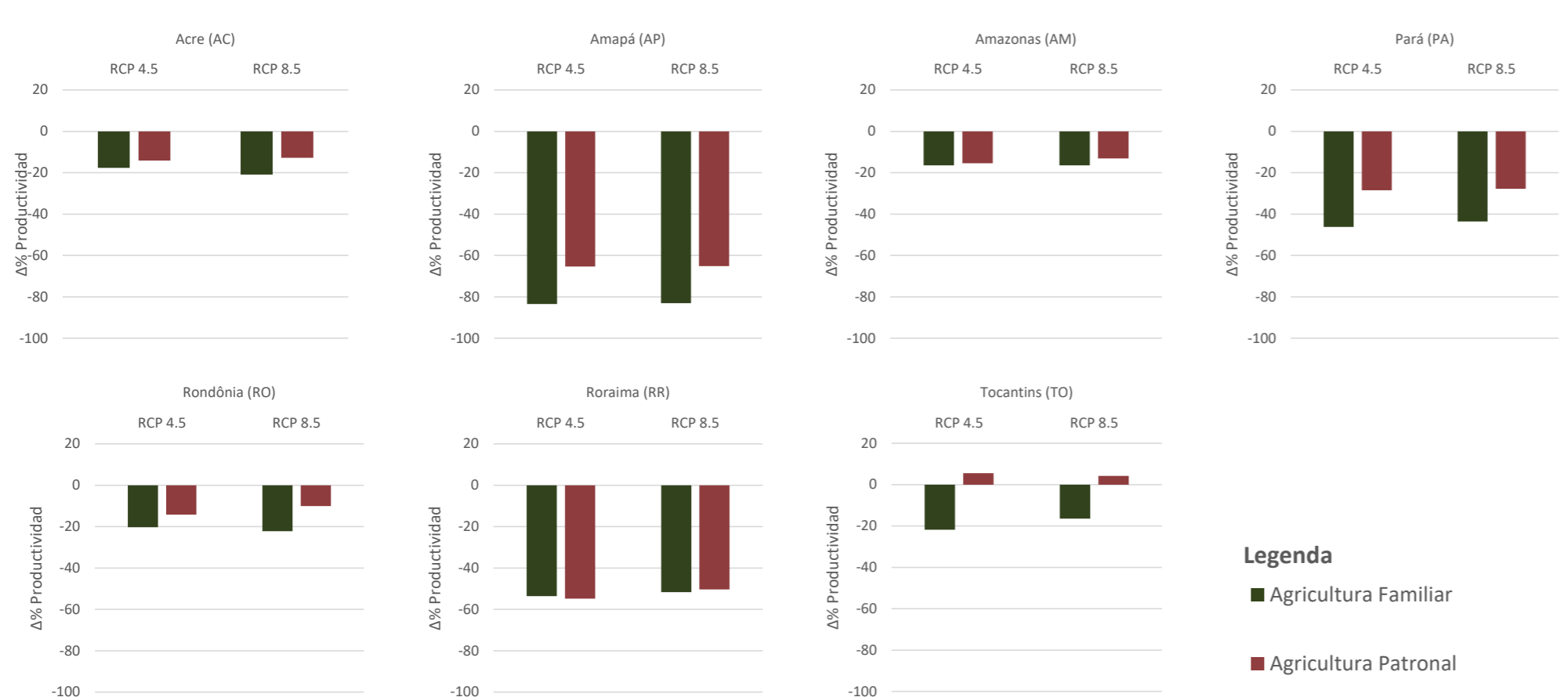
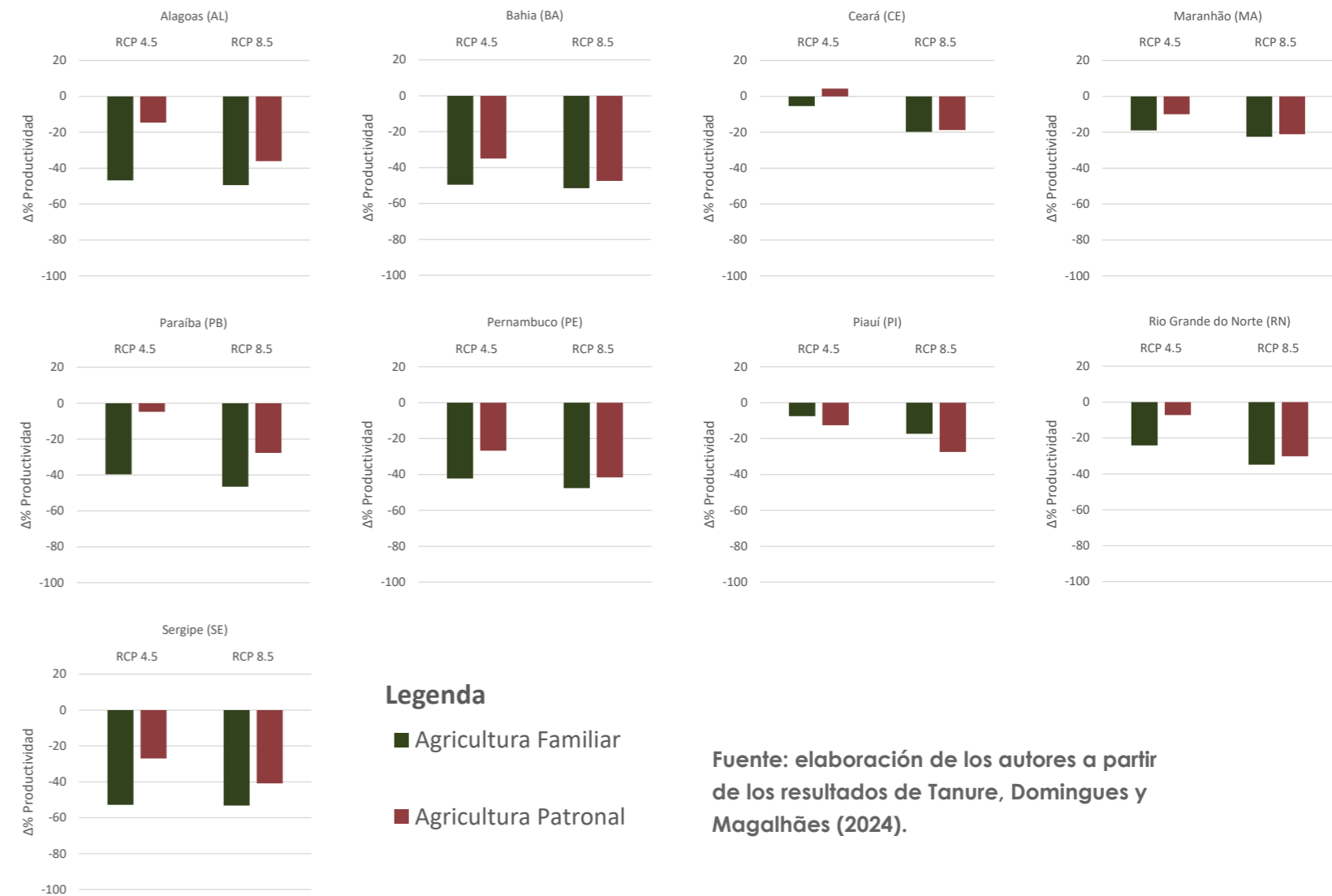


Figura 12. Impactos de los cambios climáticos en la productividad de la agricultura familiar y patronal en los estados de la región Norte



Fuente: elaboración de los autores a partir de los resultados de Tanure, Domingues y Magalhães (2024).

Figura 13. Impactos de los cambios climáticos sobre la productividad de la agricultura familiar y patronal en los estados de la región Nordeste



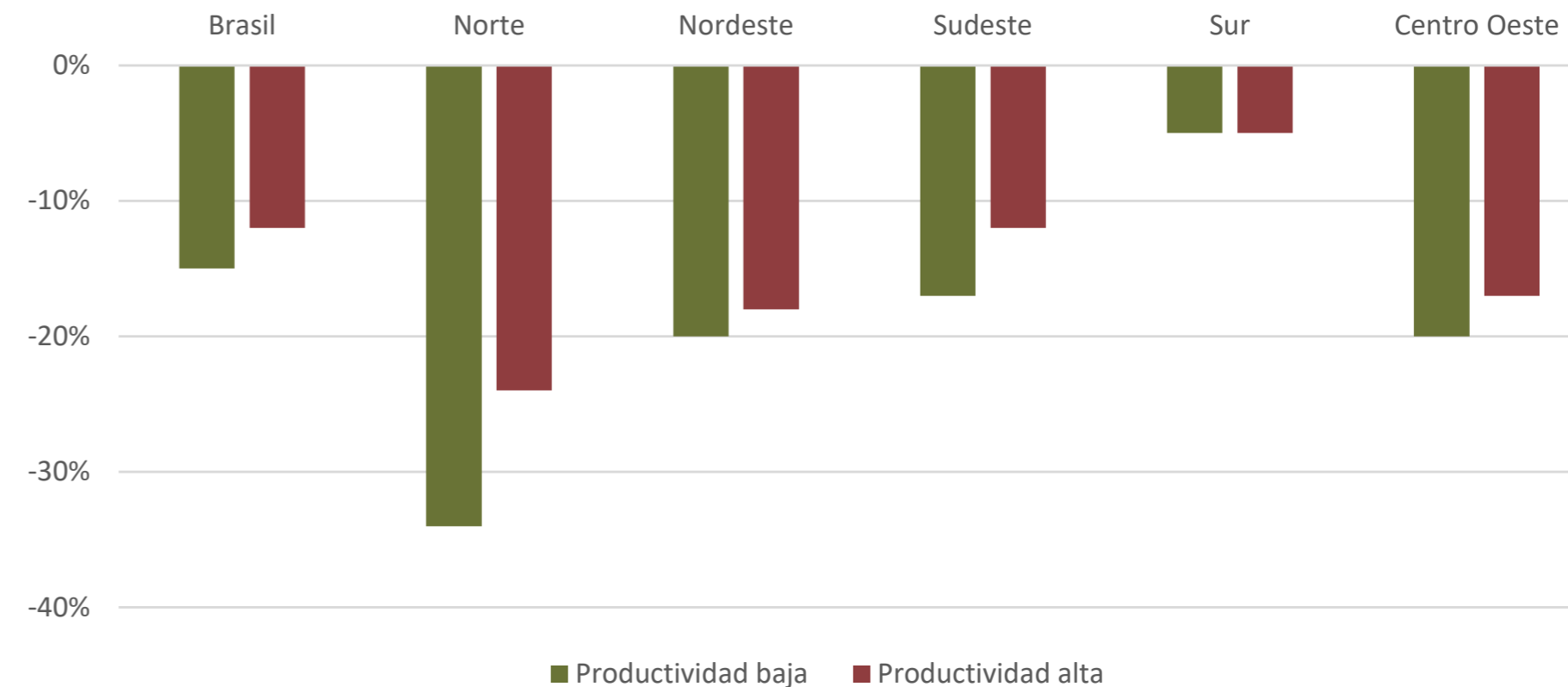
Fuente: elaboración de los autores a partir de los resultados de Tanure, Domingues y Magalhães (2024).

DePaula (2018) estudió el efecto de los cambios en el patrón histórico de temperatura y precipitación (1960-1990 y 1996-2006) sobre la agricultura comercial brasileña (incluyendo los establecimientos de la agricultura familiar)<sup>4</sup>, con análisis desagregados para diferentes categorías de valores de la tierra y niveles de productividad (sin separación por cultivos). Los resultados indican que un aumento de 1°C en la temperatura media genera pérdidas de hasta un 20% a la agricultura nacional; ese efecto es bastante diverso entre las regiones, siendo que el Norte y el Nordeste son más perjudicados que la media nacional. Una de las conclusiones más importantes del autor indica que cuanto menores son los niveles de productividad agrícola, más intensos son los efectos negativos de los cambios climáticos (Figura 14). Ese resultado es similar al identificado por Tanure, Domingues y Magalhães (2023, 2024). Según DePaula (2018, p. 33),

**“el efecto de un aumento de 1°C de en la temperatura media (...) oscila del -5 % para los agricultores más productivos ubicados en la región más fría del Sur al -34 % para los agricultores menos productivos ubicados en la región más calurosa del Norte”.**  
**(DEPAULA, 2018, p. 33).**

<sup>4</sup> Según el autor, se incluyeron en su análisis todos los establecimientos agrícolas con ingreso bruto superior a R\$36.000 (valor que se refiere al Censo Agropecuario de 2006). No es posible conocer el número exacto (o la proporción) de establecimientos de la agricultura familiar incluidos en la muestra). Sin embargo, datos del IBGE (2006) indican que 615 municipios tenían establecimientos de la agricultura familiar con ingreso bruto medio igual o superior al límite establecido por el autor (el 11% de esos municipios están ubicados en las regiones Norte y Nordeste).

**Figura 14. Impactos del aumento de la temperatura media sobre la agricultura brasileña y grandes regiones**



**Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de DePaula (2018).**

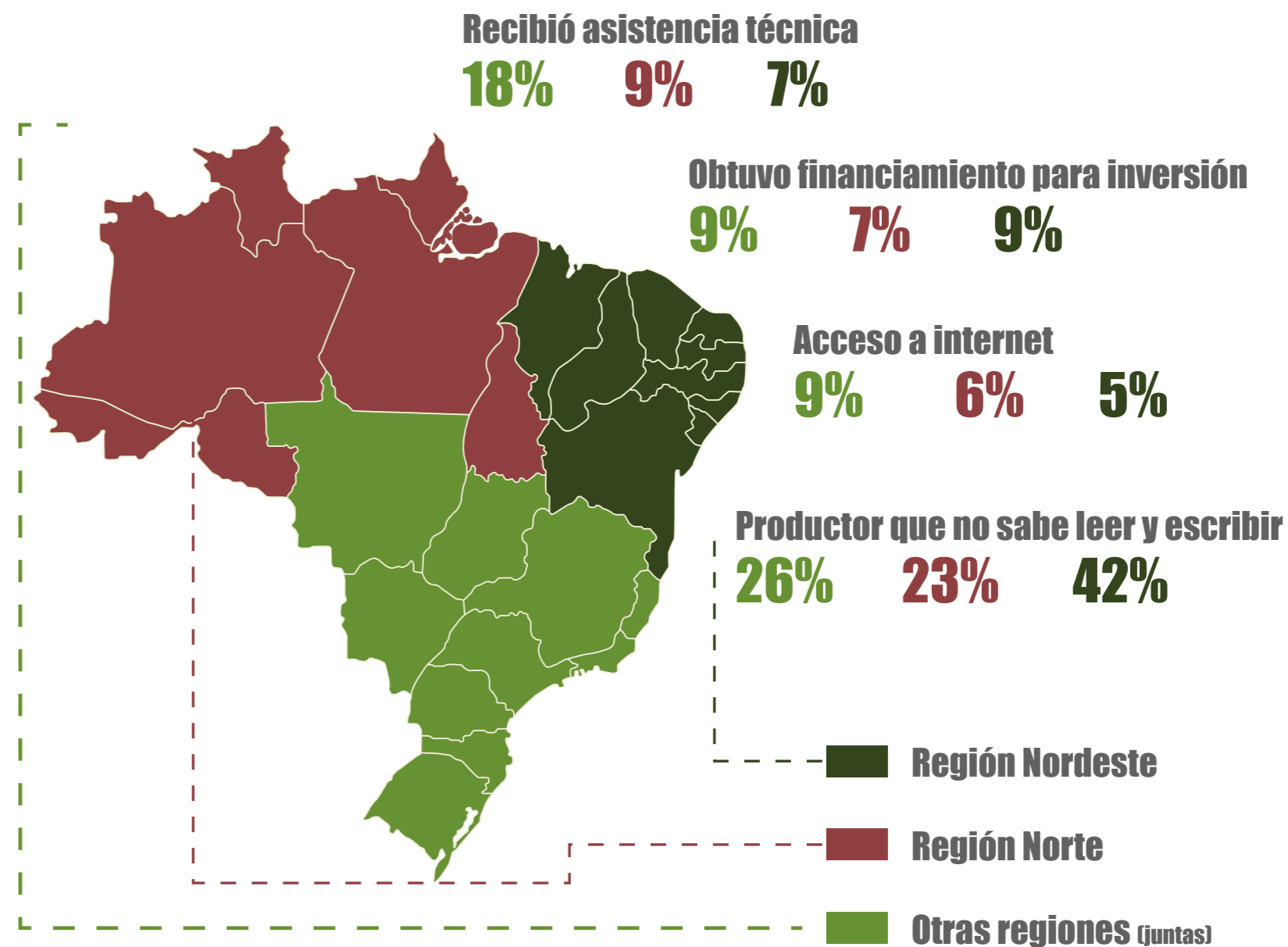


La consecuencia directa de los resultados de DePaula (2018) es la profundización de la desigualdad entre los productos menos y más productivos, especialmente en el Norte y en el Nordeste. En Brasil como un todo, y sobre todo en esas regiones, la productividad de la agricultura familiar es más baja en relación a la agricultura patronal en diversos cultivos. Ese hecho genera un “gap tecnológico” entre los dos tipos de productores (Pereira y De Castro, 2022) y, en consecuencia, intensifica las dificultades del sector familiar y convierte a las regiones en un “hotspot” de vulnerabilidad a los cambios climáticos (Gori Maia et al., 2018).

La menor productividad de la agricultura familiar está relacionada, entre otros factores, a la dificultad que el sector enfrenta para invertir y utilizar más intensamente las **innovaciones tecnológicas agrícolas** (Pereira y De Castro, 2022). Según Buainain, Cavalcante y Consoline (2021, p. 9; 10), “en las últimas décadas el principal determinante de la dinámica productiva y de la reproducción de desigualdades fue la capacidad de absorción tecnológica, es decir, de innovación en general”. Esos autores también resaltan que “las dificultades y obstáculos enfrentados por los agricultores familiares están ubicados en el ámbito de las condiciones de innovación” (grifo nuestro).

Entre las principales barreras para la adopción de innovaciones tecnológicas se destacan el bajo acceso de la agricultura familiar: (i) a los servicios de asistencia técnica y extensión rural; (ii) al crédito agrícola para inversión en nuevas tecnologías; y (iii) a la información climática. Algunas variables representativas de esas tres categorías son presentadas en la Tabla 1, que permite comparar los valores medios de Brasil con las regiones Norte y Nordeste.

Figura 15 - Variables representativas de barreras a la adopción de innovaciones tecnológicas por la agricultura familiar



Fuente: Elaboración propia a partir de datos do Censo Agropecuario 2017 (IBGE, 2019).

## Segundo el IPCC (2022, p.1737), “los servicios de informaciones climáticas tienen un papel importante en la adaptación a los cambios climáticos, pero existe un hueco reconocido entre la ciencia climática y los agricultores”.

Las informaciones de la Figura 15 muestran que todavía hay muchas barreras para el acceso a las informaciones climáticas que podrían reducir la vulnerabilidad de los agricultores familiares del Norte y del Nordeste. Jones (2022) explica que en Brasil hay un gran volumen de informaciones sobre los cambios climáticos que, si se conocen de antemano por los ciudadanos, podrían evitar o reducir daños. Pero para ello es necesario que las dificultades de acceso a ese conocimiento sean superadas por medio del trabajo con las comunidades afectadas, en especial las más remotas, ofreciendo informaciones climáticas relevantes para las decisiones de los pequeños propietarios y agricultores familiares (IPCC, 2022).

Aún en relación a la información, Zabaniotou et al. (2020) destacan que “la percepción de los cambios por parte de las comunidades locales es importante para el análisis de riesgo y para la posterior toma de decisión social”, lo que podría minimizar las pérdidas. Así, además de hacer que el conocimiento académico sobre cambios climáticos llegue a las comunidades, es necesario comprender los conocimientos tradicionales y cómo los agricultores perciben los riesgos. El conocimiento local representa una fuente muy rica de informaciones, que puede hacer que la base de evidencias científicas sea aún más completa.

### Impactos de los cambios climáticos en actividades agropecuarias importantes para la agricultura familiar/seguridad alimentaria

En general, la literatura indica que algunas actividades importantes para la seguridad alimentaria de agricultores familiares del Norte y Nordeste (yuca, maíz, frijol y la ganadería extensiva) serán bastante afectadas por los cambios del clima. Algunos de los principales estudios y resultados se destacan a continuación.

- Tanure et al. (2020) identificaron que todas las mesorregiones que forman los estados de la Amazonia Legal tendrán reducción en la producción de yuca hasta 2050 (Maranhão, Tocantins, Pará y Mato Grosso serán los más afectados). Los autores también estimaron la posibilidad de grandes pérdidas futuras en la producción de maíz, siendo que las mayores reducciones serán en Pará, Maranhão y Tocantins.
- Los resultados de Vale et al. (2020) indican que en el estado del Rio Grande do Norte, cuanto más grandes son los déficits de precipitación, más perjudicada es la productividad de maíz, frijol y yuca.
- Martins, Tomasella y Dias (2019) estimaron grandes reducciones en la productividad de maíz producido en el sistema de secano de la región Nordeste. Las pérdidas pueden variar del 30% antes de 2070 en el escenario menos pesimista al 60% entre 2071 a 2099 en el escenario más pesimista. Las autoras aun identificaron que la irrigación podría mitigar las pérdidas resultantes del estrés hídrico, pero aun así los extremos de temperatura tendrían considerables impactos negativos en la productividad.
- Martins, Hochrainer-Stigler y Pflug (2017) analizaron los riesgos de la reducción de productividad de maíz y frijol para diferentes tipos de suelo y probabilidades de estrés hídrico (medido por el número anual de días con precipitación inferiores a 1mm en el período de 2005 a 2012) en municipios de la región Nordeste y de la porción semiárida de Minas Gerais. Los resultados muestran que las pérdidas de productividad pueden variar entre el 75% y el 92% para el maíz y entre el 69% y el 88% para el frijol.
- Según los autores, la productividad resultante después de las pérdidas esperadas, para ambos cultivos, “serían insuficientes para alimentar a las familias que dependen de esa producción para su subsistencia” (Martins, Hochrainer-Stigler y Pflug, 2017, p. 11). Los estados con mayores riesgos de pérdidas serían Ceará, Piauí, Pernambuco y Paraíba. Los efectos negativos tienden a intensificarse según las proyecciones futuras de días secos previstas por el IPCC-AR5(2013).
- Assad et al. (2016) estimaron que los aumentos de temperatura y de la deficiencia hídrica y la intensificación de los veranos pronosticados por los escenarios del IPCC-AR5 (2013) podrían conducir a grandes reducciones en áreas de bajo riesgo de cultivo de maíz y frijol en toda la región Nordeste.
- Gori Maia et al. (2018) concluyeron que los aumentos de temperatura y los episodios de sequía en el periodo de 1974 a 2014 redujeron la productividad de la ganadería (leche y carne de bovinos, ovinos y caprinos) de agricultores familiares del Semiárido brasileño. La reducción histórica de la precipitación ha tenido más efectos negativos en la ganadería de leche familiar, y el impacto se hace mayor cuanto más pobre es el agricultor. De acuerdo con los autores, la ganadería familiar de la región es más vulnerable, pues tiene menos condiciones financieras de protegerse invirtiendo, por ejemplo, en la “sustitución del pastoreo natural por otras forrajeras (ensilaje) de acuerdo con la necesidad en condiciones climáticas más extremas” (Gori Maia et al., 2018, p. 747).

\* Assad e colaboradores (2016) também fizeram estimativas para as demais regiões brasileiras e para outras culturas além de milho e feijão (soja, trigo e arroz).

Las investigaciones revisadas hasta ahora son bastante esclarecedoras sobre los impactos de los cambios climáticos en la agricultura familiar de las regiones Norte y Nordeste. Sin embargo, se cree que es importante revisar los estudios que han analizado esa problemática con otros recortes espaciales. A continuación, se considerarán estudios específicos para el Bioma Amazónico y para la región del Semiárido brasileño. Como las poblaciones no son uniformemente vulnerables a los cambios climáticos (Thomas, et al. 2019), análisis desagregados y local-específicos pueden ofrecer más elementos para pensar en estrategias de enfrentamiento y aumento de resiliencia de la agricultura familiar regional.

## Bioma Amazónico

Los eventos extremos, como temperaturas muy altas, inundaciones, sequías y grandes reflujos, se han vuelto más frecuentes e intensos en la Amazonia en las últimas décadas, causando diversos daños a la fauna, flora, población e infraestructura local (Brondizio y Moran, 2008; Osuna, Börner y Cunha, 2014; Marengo y Espinoza, 2016, Almudi y Sinclair, 2022). Según Vasconcelos et al. (2022, p. 1), “los cambios climáticos exponen a los trabajadores a condiciones ambientales extremas, que en respuesta están cambiando sus modos de vida, como el trabajo en la agricultura y la pesca, y sus actividades sociales, como el ocio”. El aumento de los riesgos de incendio, las pérdidas de cultivos y la menor productividad, la reducción de la ventana de tiempo disponible para la siembra y la consiguiente necesidad de cosechar antes de la fecha límite de maduración, las dificultades de pesca y la mortalidad de peces son algunos de los principales problemas enfrentados por la agricultura familiar reportados en la literatura (Ávila et al. 2021; Vasconcelos et al., 2022).

Según explican Almudi y Sinclair (2022), en las comunidades que viven en la región del bioma amazónico, “los medios de subsistencia involucran varias combinaciones de la agricultura familiar de pequeña escala y ganadería, pesca y extracción de madera y productos forestales no madereros”. De ese modo, la principal fuente de sustento es determinante para la vulnerabilidad de las familias, es decir, los agricultores y ganaderos se ven más afectados por las inundaciones, mientras que los pescadores sufren más las sequías. El lugar de

vivienda también determina el impacto negativo; por ejemplo, “comunidades ribereñas (...) son altamente vulnerables (...), pues los ciclos hidroclimáticos estacionales rigen su cotidiano, integran su modo de vida con el medioambiente y determinan la organización de los calendarios sociales y agrícolas” (Vasconcelos et al., 2022, p. 1); a su vez, “las familias ubicadas en áreas bajas de llanuras son las más expuestas a inundaciones extremas” (Almudi y Sinclair, 2022, p. 8).

Lapola et al. (2020) identificaron que el bioma amazónico posee la mayor extensión territorial en áreas protegidas (unidades de conservación, mosaicos y corredores ecológico) con alto índice de vulnerabilidad a los cambios climáticos. Como gran parte de esas áreas son manejadas por comunidades indígenas, se puede afirmar que su calidad de vida, seguridad alimentaria y conocimientos tradicionales están altamente amenazados por los cambios del clima. De acuerdo con el IPCC-AR6 (2022), para enfrentar riesgos como los identificados por Lopala et al. (2020), los pueblos originarios y otras comunidades tradicionales ser apoyados por políticas climáticas que garanticen mayor capacidad de adaptación, respetando las especificidades de sus formas de vivir y producir.

En asociaciones con los cambios climáticos, otros problemas enfrentados por las comunidades amazónicas son la deforestación y la degradación forestal (Berenguer et al., 2021)<sup>5</sup>. Además de diversos impactos ecológicos, hay múltiples efectos socioeconómicos cuya gravedad se siente más intensamente por los agricultores familiares y comunidades tradicionales de la región. Los principales son destacados por Lapola et al. (2023): menor disponibilidad de especies de la flora y de animales para caza, así como de peces, que contribuyen para la alimentación o producción de medicamentos naturales; reducción de la oferta de recursos forestales; y aumento de la exposición a vectores de enfermedades.

<sup>5</sup> Cambios climáticos, deforestación y degradación forestal son fenómenos intrínsecamente asociados, que poseen relaciones de causa y efecto que se retroalimentan. Escapa al alcance de este estudio avanzar en la discusión, pero el lector interesado encuentra amplia literatura sobre el tema. Se sugiere, en principio, las investigaciones de Berenguer et al. (2021) y Lapola et al. (2023).



La inseguridad alimentaria, desnutrición y otros problemas de salud son algunos de los principales efectos directos del empeoramiento de las condiciones socioeconómicas relacionadas a los cambios climáticos, deforestación, degradación forestal y eventos extremos en el bioma amazónico. Se puede hablar también de casos de conflicto y violencia, desorganización del trabajo colectivo y aislamiento de comunidades, esos últimos con impactos directos en el acceso a la escuela por los niños y al mercado por los agricultores. También hay impactos en términos de las “dimensiones relacionales” y subjetivas de la vida de las personas, que hacen contribuciones importantes para el bienestar humano” (Lapola et al., 2023, p. 7). Todas esas adversidades en el medio rural tienen potencial de agravar las condiciones socioeconómicas de las ciudades debido a los procesos migratorios intra e intermunicipal (Lapola et al., 2018; Lapola et al., 2023).

Según Pinho et al. (2020, p. 255), los cambios climáticos tienden a generar “flujos migratorios (...) en Amazonia hasta 2030, con altos costos sociales, una vez que los migrantes terminan por ocupar espacios marginales y empleos precarios en grandes ciudades, como Manaus y Boa Vista”. Gori Maia y Schons (2020) identificaron que los cambios ambientales, caracterizados por los autores como aumento de la deforestación, variaciones en los patrones históricos de temperatura y precipitación, así como los eventos climáticos extremos, tienen el potencial de conducir al desplazamiento de los agricultores familiares tanto a las áreas urbanas como a las otras áreas rurales. Almudi y Sinclair (2022) resaltaron que, aunque esos desplazamientos ocurran en busca de mejores condiciones de vida o de producción agrícola, en general tienden a agravar aún más la vulnerabilidad de las familias migrantes.



## Semiárido

El Semiárido brasileño tiene características biofísicas, demográficas y socioeconómicas muy peculiares: enfrenta a episodios recurrentes de sequía, irregularidad de la precipitación, altas temperaturas y extremos de calor; es la región semiárida con la mayor densidad poblacional del planeta y la que enfrenta las condiciones más críticas de inseguridad alimentaria del país; la mayor parte de la población rural es muy pobre y depende de la agricultura familiar y, o, de autoconsumo, practicada, casi en su totalidad, sin irrigación y con pocos recursos tecnológicos (Martins, Hochrainer-Stigler y Pflug, 2017; Martins, Tomasella y Dias, 2019; Marengo et al., 2022).

Así como en la región amazónica, los recursos naturales están directamente relacionados con la calidad de vida en el medio rural del Semiárido brasileño. La (in)disponibilidad de agua es preponderante, ya sea para el consumo humano, en las actividades domésticas cotidianas básicas, o para la producción agrícola. Históricamente, la población rural ha estado adaptándose a la escasez hídrica por medio de “tecnologías tradicionales de recolección de agua de lluvia”, tales como “capturar y almacenar escorrentía superficial en presa a cielo abierto” o “pozos rasos excavados en el lecho seco de ríos y arroyos” (Lindoso et al., 2018, p. 2). La agricultura familiar, cuya producción es predominantemente de secano, sufre con diversas dificultades en el acceso al agua, sea por las largas distancias hacia el recurso, restricción a la entrada en propiedades de terceros o falta de condiciones financieras para invertir en sistemas de recolección de aguas subterráneas (Lindoso et al., 2018; Martins, Tomasella y Dias, 2019; Marengo et al., 2022).

Las investigaciones de Lindoso et al. (2014; 2018), Herwehe y Scott (2018), Dobkowitz et al. (2020), Dantas, Silva y Santos (2020) permiten concluir que la dificultad y la mala distribución de acceso al agua son determinantes en la explicación de la vulnerabilidad a los cambios climáticos de los agricultores familiares del Semiárido. Los recurrentes episodios de sequía contribuyen a la baja disponibilidad de agua en la región. Entre 2011 y 2017 el Nordeste pasó por la sequía “más intensa en términos de duración, gravedad y recurrencia por lo menos en los últimos 30 años” (Cunha et al. 2019b, p. 7). En ese periodo, se intensificó la inseguridad

hídrica y, en consecuencia, la inseguridad alimentaria, en el Semiárido. Según Cunha et al. (2019a), aproximadamente seis millones de pequeños agricultores perdieron sus cosechas.

Otro problema que aumenta la vulnerabilidad de la agricultura familiar del Semiárido es la desertificación. Es un fenómeno complejo, cuyas causas involucran interacciones de variables biofísicas, socioeconómicas y demográficas y que puede acelerarse por los cambios climáticos proyectados (Vieira et al., 2021). Angelotti y Giongo (2019, p. 446) explican que “el aumento de temperatura y la tendencia a la sequía (...) intensifican la aridez en la región semiárida, lo que tiene impacto directo en el proceso de desertificación”. Dependiendo del escenario climático considerado, las áreas con alta susceptibilidad a la desertificación pueden aumentar entre el 12,3 % (RCP 4.5) y el 19,6 % hasta 2045 (RCP 8.5). La combinación de las expectativas de altos riesgos de sequía, aumento de la desertificación y más extremos de calor (calentamiento por encima de 4°C, como muestra la Figura 8) pueden comprometer las actividades agropecuarias, especialmente de los agricultores familiares, y desorganizar los mercados locales y regionales de alimentos (Marengo et al., 2020; Pinho et al., 2020).

Como los escenarios de cambio climático del IPCC-AR6 (2021) estiman reducción de la precipitación media y aumento de su variabilidad estacional y espacial, así como mayor frecuencia e intensidad de las sequías, los riesgos para la agricultura familiar aumentan. Tales cambios climáticos pueden conducir a pérdidas de la cosecha y grandes reducciones de la productividad de las principales culturas producidas por la agricultura familiar, tales como maíz, frijol y yuca (Martins, Hochrainer-Stigler y Pflug, 2017; Martins, Tomasella y Dias (2019); Vale et al., 2020; Marengo et al., 2022; Tanure, Domingues y Magalhães, 2024). La pequeña pecuaria extensiva será igualmente afectada, ya que los rebaños de bovinos, caprinos y ovinos demandan grandes cantidades diarias de agua para su supervivencia (Lindoso et al., 2018).

Las pérdidas de cosecha implican en una menor disponibilidad de alimentos para las familias, cuya subsistencia está directamente relacionada a la producción agropecuaria. La renta es igualmente reducida, llevando a otros problemas, como dificultades para comprar semillas e insumos agrícolas y aumento de

deudas (Martins, Hochrainer-Stigler y Pflug, 2017). En consecuencia, se compromete la seguridad alimentaria y la salud de los agricultores. De modo general, “en las regiones con mayor concentración de agricultura de subsistencia (...), pérdidas de productividad pueden conducir a un aumento de la pobreza, conflictos por tierra y migración masiva a centros urbanos ya bastante poblados” (Marengo et al., 2022, p. 2).

Abordando específicamente la posibilidad de aumento de los flujos migratorios, el IPCC-AR6 (2022) certifica que la migración rural-urbana en regiones pobres del Semiárido (y también de la región Norte del país) está relacionada al hambre e inseguridad alimentaria resultantes de los cambios climáticos. Delazeri, Da Cunha y Oliveira (2022) y Delazeri et al. (2022) explican que, en el Semiárido, la migración es considerada una “última alternativa”, es decir, la población solo deja las áreas rurales hacia las ciudades después de probar otras posibilidades de lidiar con la exposición a los cambios del clima y eventos extremos. También según esos autores, “las respuestas migratorias a los cambios climáticos dependen de la capacidad financiera para implementar la emigración” (Delazeri, Da Cunha y Oliveira, 2022, p. 2169). De esa manera, los agricultores muy pobres y que se ven muy afectados por el cambio climático ni siquiera pueden pagar los costos de la migración. En otras palabras, en el Semiárido “los efectos adversos de los cambios climáticos pueden resultar en el mantenimiento de la población en las áreas rurales en situaciones de pobreza persistente” (Delazeri et al., 2022, p. 82).



# Grupos más vulnerables

Aunque tiene el trabajo de la familia como característica común, la agricultura familiar brasileña es muy diversa y, por eso, diferentes niveles de vulnerabilidad a los cambios climáticos son observados. Pueblos tradicionales, como indígenas, comunidades palenqueras y ribereñas y, en particular, las mujeres responsables por las propiedades, suelen presentar un mayor grado de vulnerabilidad. En general, eso se explica por la menor capacidad de adaptación y la falta de políticas públicas dirigidas a esos grupos. Muchas veces, la falta de investigaciones específicas también contribuyen para los riesgos más elevados, ya que cuanto menos se sabe, menores son las posibilidades de desarrollarse opciones adecuadas de enfrentamiento a los cambios climáticos. Las comunidades tradicionales (indígenas, palenqueras y ribereñas y otras que se reconocen como tal) “ocupan y usan territorios y recursos naturales como condición para su reproducción cultural, social, religiosa, ancestral y económica”. Su supervivencia está directamente relacionada a los recursos naturales. Por esta razón, diversos riesgos internos y externos, en asociaciones con los cambios del clima, amenazan a esos grupos. En el caso de comunidades palanqueras, Cherol, Ferreira, Sales-Costa (2021) identificaron altos índices de inseguridad alimentaria, en especial en las regiones más pobres del Norte y Nordeste. Esos casos pueden agravarse con las pérdidas agrícolas resultantes de los cambios del clima. Vasconcelos et al. (2022, p. 1) argumentan que los cambios climáticos causan alteraciones en los ciclos hidroclimáticos que “determinan la organización de los calendarios sociales y agrícolas”, desarticulando el cotidiano de las comunidades ribereñas. Pueblos indígenas, en especial de la Amazonia brasileña, sufren

dificultades y riesgos similares, los cuales se identifican con la deforestación y degradación de la floresta, incendios y actividades económicas legales e ilegales, como extracción de madera, minería, agricultura y ganadería (Rorato et al., 2022). Las mujeres, provenientes o no de los pueblos tradicionales, además de la mayoría ser de la población pobre, “enfrentan barreras sociales, culturales, económicas y políticas que limitan su capacidad de respuesta” a los cambios climáticos (Zabaniotou et al., 2020, p. 8). De acuerdo con la ONU-Mulheres (2022), la agricultura es la actividad económica más importante para mujeres y niñas en la región de bajo ingreso, principalmente en el área rural. A pesar de ser las principales responsables por la seguridad alimentaria y hídrica del hogar, las mujeres tienen mucho menos acceso a los recursos naturales y financieros. De esta forma, la desigualdad de género en el ámbito de la crisis climática es uno de los mayores desafíos del presente (ONU-Mulheres, 2022).





# AUMENTO DE LA RESILIENCIA Y MITIGACIÓN DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA AGRICULTURA FAMILIAR

## 3

En las secciones anteriores se presentaron los escenarios futuros de cambio climático y sus principales impactos en los medios de subsistencia y la cualidad de vida de agricultores familiares de las regiones Norte y Nordeste de Brasil. En resumen, se puede afirmar que la mayor vulnerabilidad de ese grupo proviene de su baja capacidad de adaptación, que se asocia a condiciones de pobreza y falta de acceso a (o la inexistencia de) políticas públicas específicas. Por ello, en esta sección se presentarán algunas estrategias que pueden contribuir a aumentar la resiliencia de los agricultores, haciéndolos menos sensibles a los riesgos esperados. Al mismo tiempo, es posible desarrollar estrategias que promuevan sinergias entre el aumento de la capacidad de adaptación de los agricultores y la mitigación de las emisiones de GEI en sus actividades productivas<sup>6</sup>.

En conjunto, las acciones descritas en esta sección pueden contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, en particular el ODS 2, que busca “poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y promover la nutrición y promover la agricultura sostenible” (ONU-Brasil, 2023). Y esto genera sinergias con el ODS 13, cuyo objetivo es “adoptar medidas urgentes para combatir los cambios climáticos y sus impactos”. Entre los objetivos del ODS 2 se destacan:

<sup>6</sup> Es importante destacar que la presentación se basará en acciones adecuadas a las condiciones edafoclimáticas regionales y a las prácticas culturales de los agricultores.



*Hasta 2030, duplicar la productividad agrícola y la ingresos de los pequeños productores de alimentos, en particular de las mujeres, pueblos indígenas, agricultores familiares, pastores y pescadores, incluso por medio de acceso seguro e igual a la tierra, otros recursos productivos e insumos, conocimiento, servicios financieros, mercados y oportunidades de agregación de valor y de empleo no agrícola; hasta 2030, garantizar sistemas sostenibles de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes, que aumenten la productividad y la producción, que ayuden a mantener los ecosistemas, que fortalezcan la capacidad de adaptación a los cambios climáticos, a las condiciones meteorológicas extremas, sequías, inundaciones y otros desastres, y que mejoren progresivamente la calidad de la tierra y del suelo (ONU-Brasil, 2013).*

Inicialmente, es importante abordar el conocimiento y la percepción de los cambios climáticos por parte de los agricultores. Aunque la producción científica sobre el tema casi nunca llegue hasta las comunidades más aisladas y afectadas, se debe reconocer que los agricultores poseen sus propias maneras de percibir los cambios regionales del clima y sus riesgos y, por consiguiente, buscar alternativas de adaptación. Estudios realizados en comunidades amazónicas y del Semiárido nordestino (Funatsu et al., 2019; Magalhães et al., 2021; Ávila et al., 2021; Almudi y Sinclair, 2022; Magalhães et al., 2022; Vasconcelos et al., 2022) concluyen que:



Al igual que el acceso a los servicios de ATER, la **asociación a cooperativas** constituye una alternativa para aumentar la resiliencia de los agricultores familiares. Con base en revisión de literatura e investigación empírica, Silva y Nunes (2023, p.20) concluyeron que las cooperativas propician "mejora de las condiciones de producción (...) de la agricultura de base familiar, sobre todo, cuando se consideran los desafíos de ese segmento en relación a la organización de la producción, de agregación de valor a los productos y para comercialización".

Segundo Santos, Silva y Santana (2022, p. 243), "los datos del Censo Agropecuario evidencian que hay correlación directa entre asociacionismo, principalmente el cooperativo, y el acceso a las tecnologías, organización productiva, crédito y acceso a la comercialización". A su vez, Mariosa et al. (2022) sugieren que el desarrollo de cooperativas y asociaciones de economía solidaria para la agricultura familiar puede generar beneficios ambientales (conservación de los recursos naturales) y socioeconómicos (más integración al mercado, valoración de la producción, aumento del ingreso familiar y mejora en las condiciones de vida y bienestar).

El acceso a las informaciones y a los servicios de ATER y la participación en cooperativas y asociaciones puede contribuir a la difusión de tecnologías de producción que funcionan como estrategias de adaptación (aumentan la resiliencia) y también contribuyen a la mitigación de las emisiones de GEI – "agricultura de bajo carbono" o "agricultura inteligente al clima". Esas técnicas involucran la diversificación de cultivos, control de erosión y restauración de paisajes degradados, menor uso de insumos químicos, tratamiento de desechos, reforestación etc. Una de las tecnologías que se utilizan con éxito en la agricultura familiar de las regiones Norte y Nordeste son los sistemas agroforestales - SAFs (Miccolis et al., 2019a; Miccolis et al., 2019b; Nascimento, Alves y Souza, 2019; Signor et al., 2022).

Los SAFs representan un "mecanismo de inclusión social para pequeños productores de bajos ingresos a través de la valoración de productos 'naturales', asociada a la conservación de la biodiversidad y de servicios ambientales" (Cuadra et al., 2018, p. 39). Al aliar diversificación productiva, aumento de la oferta de servicios ecosistémicos y mejora de las condiciones de vida de la población, los SAFs amplían los beneficios ambientales, sociales y económicos para los agentes involucrados en el proceso, contribuyendo al desarrollo regional sostenible. Un beneficio adicional de los SAFs es la posibilidad de menor emisión de GEI, como se demuestra en el Box 4.

## Agricultura familiar “inteligente al clima”

Según Angelotti y Giongo (2019, p. 446), "la agricultura familiar tiene un papel importantísimo en el desarrollo sostenible de las regiones Norte y Nordeste, disponiendo alimento a escala local, además de ser responsable de la conservación de los recursos naturales y de la agrobiodiversidad". En este sentido, los agricultores familiares pueden contribuir en la lucha contra los cambios climáticos por medio de la utilización de prácticas agropecuarias "inteligentes al clima", es decir, que aumentan la resiliencia y reducen la pobreza, mientras emiten menos gases de efecto invernadero (GEI). Un ejemplo de esa contribución fue presentado en el estudio "Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de rebaños de caprinos y ovinos en el bioma Caatinga, Semiárido brasileño, en escenarios de actuación del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola - FIDA", de Henrique, Bonfim y Tonucci (aún no publicado). Los autores demostraron que sistemas de Integración

Agrícola-Ganadera-Forestal (IAGF) asociados a mejoras nutricionales del rebaño pueden reducir las emisiones de GEI de la ganadería en el bioma Caatinga. Los experimentos fueron realizados en propiedades de agricultores familiares en los municipios de Coxixola y Sumé, en el semiárido de Paraíba. Se evaluaron diferentes formas de organización de la producción, siendo que el escenario de "baja adhesión tecnológica" (control) correspondió a áreas degradadas con menor calidad de alimentación para los caprinos y ovinos, sin ninguna suplementación adicional. Los tratamientos, por su parte, fueron basados en sistema de IAGF ya establecido ("alta adhesión tecnológica") y propiedades con áreas en proceso de transformación, o sea, con plantación de alimentos suplementarios (gramíneas como maíz y sorgo, y leguminosas, como leucina, moringa y gliricidia) y formación de pastos ("media adhesión tecnológica"). En esos dos últimos escenarios, los animales tenían una suplementación extra, con mezcla de alimentos concentrados (salvado de maíz, soja y trigo y sal mineral). Los resultados de dicha investigación demuestran que cuanto mayor sea el nivel de adhesión tecnológica, menores serán las emisiones de GEI del rebaño (el -23,3% y el -7,6% de emisiones de CO<sub>2</sub>eq en los sistemas de nivel tecnológico alto y medio, respectivamente). Resultados similares fueron obtenidos por Signor et al. (2022), por medio del análisis de un sistema silvopastoril desarrollado por Embrapa Semiárido y denominado CBL - Caatinga Buffel Leucena u otra Leguminosa Forrajera. En el sistema se producen cabras de corte, en áreas con hierba buffel (sin utilización de fertilizantes) y "Caatinga pasteada (...) compuesta por vegetación nativa, rica en plantas forrajeras, dividida en cuatro potreros (...), que son utilizados bajo pastoreo rotado"; esas áreas fueron comparadas con un trecho de Caatinga preservada (Signor et al., 2022, p. 2). Según los autores, "las áreas bajo pastoreo (Caatinga pastoreada y pasto de hierba buffel) presentan menores flujos de GEI, cuando comparadas a la Caatinga nativa, siendo un importante indicativo de la sustentabilidad ambiental de las actividades silvopastoriles en este bioma" (Signor et al., 2022, p. 9). Tal conclusión es muy importante, pues el sistema CBL tiene potencial de ser implementado en hasta un 62% del área del Semiárido brasileño.

El desarrollo de SAFs utilizando técnicas agroecológicas promueve la intensificación agrícola sostenible, es decir, posibilita el aumento de la productividad y de la resiliencia a los choques climáticos, mientras mantienen los servicios ecosistémicos. Altieri Funes-Monzote y Petersen (2012, p. 1) explican que "el paradigma de desarrollo agroecológico se basa en la revitalización de las pequeñas propiedades, enfatizando (...) procesos sociales que valoran la participación y el empoderamiento de la comunidad". De acuerdo con Mbow et al. (2019, p. 499), la agroecología "aumenta la diversidad (...) de genes, especies y ecosistemas (...) y promueve los sistemas locales, garantizando acceso junto a alimentos saludables por medio de dietas nutritivas y diversificadas".

La inversión en "agricultura inteligente al clima" por agricultores familiares, como es el caso de los SAFs, enfrenta algunas barreras, entre las cuales se destaca el alto costo de implantación de las técnicas cuando comparados a los sistemas productivos convencionales ya practicados (Miccolis et al., 2019b). Por esa razón, el apoyo gubernamental a través de políticas de crédito y de capacitación es muy importante. Sin embargo, solo ofrecer más crédito no es suficiente, es necesario garantizar que los agricultores accedan a los financiamientos, lo que demanda otras iniciativas, tales como:

**Programas de regularización agraria y ambiental, ya que el acceso al crédito depende de la propiedad de la tierra y conformidad con la legislación ambiental (Santos, Silva y Santana, 2022);**

**Reducción de la burocracia y apoyo para elaboración de proyectos por técnicos agrícolas y extensionistas cualificados (Herwehe y Scott, 2018);**

**Garantizar que los agricultores tengan condiciones de pagar los préstamos, ofreciéndoles intereses bajos y, o, plazos mayores y con carencia en el periodo de implantación y maduración del negocio (Miccolis et al., 2019b);**

**Apoyo para agregar valor y garantizar acceso a mejores condiciones de mercados, de preferencia por medio de cadenas cortas, o sea, negociación directa entre agricultores y consumidores, además de políticas de garantía de precio (Santos, Silva Santana, 2022; Mesquita et al., 2021);**

**Políticas sociales/asistenciales y de seguro agrícola, sobre todo cuando ocurren eventos climáticos extremos, los cuales se han vuelto más frecuentes e intensos en el periodo reciente (Herwehe y Scott, 2018).**



Brasil ya posee (o tuvo) diversas políticas públicas con las características descritas arriba. Por ejemplo, Programa Nacional de Fortalecimiento de la Agricultura Familiar (PRONAF), Programa Nacional de Reforma Agraria, Programa de Fomento a las Actividades Productivas, Política de Garantía de Precios Mínimos para los Productos de la Sociobiodiversidad, Programa Nacional de Alimentación Escolar, Programa de Adquisición de Alimentos, Adquisición del Gobierno Federal, Garantía Cosecha, Programa 1 Millón de Cisternas, Programa de Apoyo a la Conservación del Medioambiente, Bolsa Familia, entre otros. Mientras tanto, gran parte de los agricultores más pobres y vulnerables aún no tienen acceso a esas políticas o no utilizan su potencial.

En ese sentido, todas esas iniciativas pueden desarrollarse mejor con el apoyo de asociaciones de la sociedad civil y agentes locales. Los agentes no estatales cercanos a las comunidades, en los cuales los agricultores confían, tienen más facilidad para apoyar el desarrollo de los proyectos, reduciendo asimetrías informacionales y barreras culturales, además de ofrecer conocimiento técnico y capacitación (Bettles et al., 2021). Además, algunas instituciones internacionales “operan a nivel local e influyen fuertemente en los medios de subsistencia y los mercados de los pequeños agricultores” (Mbow et al., 2019, p. 473). El FIDA es un ejemplo de esas instituciones, ya que desarrolla acciones que

“contribuyen a (...) cuidar el medio ambiente y hacer la agricultura familiar más resistente a los efectos de los cambios climáticos. Los programas y proyectos tienen como elementos rectores la conservación de la biodiversidad, la producción sostenible y basada en principios de asociativismo y cooperativismo, la inclusión de pueblos y comunidades tradicionales, la participación femenina y de la juventud, la soberanía alimentaria, la agregación de valor y comercialización de productos y la facilitación del acceso a políticas públicas (Da Cunha, 2022, p. 44).

## Estrategias para aumentar a resiliencia de la agricultura familiar

Diversas iniciativas pueden contribuir a mejorar las condiciones de vida de los agricultores familiares, reduciendo su vulnerabilidad a los cambios climáticos y fortaleciendo el desarrollo rural. Algunas de estas estrategias se enumeran a continuación.



- **Pago por servicios ambientales** - busca la conservación de los recursos naturales (evitando degradación o deforestación) y, así, mantenimiento de los servicios ecosistémicos por medio del manejo sostenible de la fauna y de la flora.
- **Diversificación productiva** - aumenta la disponibilidad de alimentos para las familias y, al mismo tiempo, minimiza pérdidas resultantes de eventos climáticos extremos u oscilaciones del mercado.
- **Producción orgánica** (incluyendo el control biológico de plagas y enfermedades) - mejora la calidad ambiental de la propiedad y de los productos, además de propiciar mayor valor agregado (debe apoyarse en el desarrollo de sellos de calidad y, o certificaciones accesibles a los agricultores familiares).
- **Patios productivos** - incrementan la alimentación de las familias, generan ingreso para las mujeres, facilitando su empoderamiento, además de propiciar la perpetuación de las especies y la conservación de la biodiversidad.
- **Almacenamiento de agua de lluvia, uso/reuso eficiente de recursos hídricos** - sobre todo en la región semiárida, permite la descentralización/democratización del acceso al agua, garantizando seguridad hídrica para las actividades cotidianas y producción de alimentos utilizando irrigación.
- **Fuentes de energía alternativas** - las estufas ecológicas garantizan la eficiencia energética y la seguridad a bajo coste, además de contribuir a la reducción de las enfermedades respiratorias; los biodigestores representan una buena práctica de gestión medioambiental por medio del aprovechamiento de los residuos orgánicos (idea de "economía circular"), y también ofrecen una fuente de energía alternativa relativamente barata, con impactos positivos directos en los ingresos de los hogares.
- **Conservación de la riqueza genética regional, mejoramiento genético y conservación in situ de plantas** - identifica, preserva y utiliza para fines de generación de renta la agrobiodiversidad.
- **Ferias y casas de semillas criollas** - además de la preservación del patrimonio genético regional, posibilita el intercambio de saberes entre pueblos y comunidades tradicionales (indígenas y palanqueras, por ejemplo).
- **Aprovechamiento medicinal y estético de plantas nativas** - promueve la mejora de las condiciones de salud de la población mientras preserva y transmite los conocimientos tradicionales acumulados; también existe la posibilidad de obtener beneficios económicos a través de asociaciones con la industria farmacéutica y cosmética.
- **Agroindustrias familiares** - permite el procesamiento y beneficio de la producción agropecuaria, lo que agrega valor a los productos, disminuye la estacionalidad y aumenta su durabilidad.
- **Acceso al mercado en condiciones más ventajosas** - generación de cadenas cortas de comercio, aproximando productores y vendedores y garantizando relaciones más justas entre agricultores y demás eslabones de las cadenas productivas.



Es importante destacar que, además de los SAFs, muchas otras estrategias que aumentan la resiliencia de agricultores familiares existen o están siendo desarrolladas en los proyectos regionales coordinados por asociaciones de la sociedad civil, institutos de investigación, universidades y otras instituciones nacionales e internacionales (véase Box 5). No siempre existe el objetivo explícito de adaptación a los cambios climáticos, aunque ese sea un resultado indirecto de las acciones. En común con todas las iniciativas está el uso sostenible de los recursos naturales y de los conocimientos locales en la búsqueda de la “solución de demandas sociales concretas, vividas e identificadas por la población” (Gutiérrez y Oliveira, 2018, p. 8), lo que potencia el desarrollo regional sostenible.

Independientemente de la estrategia adoptada, es muy importante resaltar que la convivencia es la palabra clave en el aumento de la resiliencia de la agricultura familiar en las regiones Norte y Nordeste. *Convivir* con la floresta en la primera y con el Semiárido en la segunda implica desarrollar estrategias de generación de renta y mejora del bienestar en asociación con la preservación de los recursos naturales.

**No se trata de “mantener la floresta intacta” o “combatir la sequía”, sino de adaptar las condiciones locales a las necesidades de sus habitantes, en una perspectiva de sostenibilidad. Por lo tanto, esas iniciativas deben estar basadas en Tecnologías Sociales (TIs), que unen conocimientos científicos y populares, por medio de metodologías participativas.**

De acuerdo con el Instituto de Tecnología Social (ITS - Brasil, p. 17), las TIs corresponden a “prácticas de intervención social que se destacan por el éxito en la mejora de las condiciones de vida de la población, construyendo soluciones participativas, estrechamente vinculadas a las realidades locales donde se aplican”. Entre las principales características de las TIs se destacan “bajo costo de implantación, facilidad de construcción y replicación, participación no discriminatoria y ganancia social para la población” (Da Cunha, 2022, p. 34).

## CONSIDERACIONES FINALES

Los cambios climáticos ya están ocurriendo y tienden a intensificarse a lo largo del siglo XXI. Aunque es un fenómeno global, el grado con que diferentes grupos humanos son afectados varían significativamente. A lo largo de este estudio se demostró que dos factores principales explican esa vulnerabilidad diferenciada: la ubicación geográfica y las condiciones socioeconómicas. Con base en ese hecho, revisamos la literatura para tratar de la agricultura familiar de las regiones Norte y Nordeste.

La legislación brasileña caracteriza la “Unidad Familiar de Producción Agraria” como siendo aquella que posee área de hasta cuatro módulos fiscales, por lo que ese grupo incluye pequeños y grandes agricultores. Sin embargo, independientemente del tamaño, en este estudio se consideró los agricultores que dependen del trabajo de la familia para gestionar y operar sus actividades agrícolas (agrícolas, ganaderas o extractivistas), de las cuales proviene su principal fuente de renta y sustento. Ese grupo incluye las familias rurales que fueron asentadas por el gobierno, indígenas, palenqueros, mestizos, caucheros y familias ribereñas.

Los agricultores familiares son importantes para la producción y mantenimiento de la agricultura familiar sostenible en áreas rurales. En general adoptan sistemas productivos más diversificados y con mayor conservación de los recursos naturales. Al mismo tiempo, ese grupo puede sufrir grandes pérdidas en función de los cambios climáticos, pues son muy dependientes de las condiciones edafoclimáticas para supervivencia (producción, alimentación y generación de renta) y poseen baja capacidad adaptativa.

A partir del análisis del patrón histórico de las condiciones climáticas observadas en los últimos 30 años, este estudio demostró que las regiones Norte y Nordeste han estado enfrentando un aumento en la temperatura media, máxima y mínima, reducción gradual de las lluvias y alteración de su patrón estacional, olas de calor y sequías más frecuentes y prolongadas. Las proyecciones del IPCC-AR6 (2021) indican que esos riesgos tienden a agravarse en el futuro, con pérdidas esperadas aún mayores en el escenario “pesimista” (SSP5-8.5). Aunque esos son impactos comunes a ambas regiones (que se diferencian solo en magnitud), cada una puede tener otros efectos negativos agravados a depender de sus condiciones específicas. Para la región Norte son previstos riesgos elevados de incendios forestales, desbordes e inundaciones, así como la probabilidad de sabanización de la floresta Amazónica. En Nordeste hay mayores riesgos de aumento de la desertificación, lo que reduciría aún más las áreas propicias para la agricultura.

Todos esos impactos ya observados y que tienden a intensificarse tendrán efectos directos en la producción agrícola local. Los cambios climáticos pueden afectar negativamente la producción de alimentos en ambas regiones, causando el comprometimiento de la seguridad alimentaria y aumentando la pobreza rural. En consecuencia, puede haber más presión sobre los recursos naturales, como el agua, los suelos, la flora y la fauna, afectando la distribución y la supervivencia de especies, lo que lleva a la pérdida de la biodiversidad. Las poblaciones locales que dependen de esos recursos para su supervivencia, en consecuencia, sufrirán mayores daños, empeorando la economía regional y la calidad de vida de la población. Todo eso puede conducir a procesos migratorios, con agravamientos de la vulnerabilidad de las familias migrantes.

El Cuadro 2 resume los impactos negativos de los cambios climáticos en las regiones Norte y Nordeste y sus efectos en la agricultura familiar.

### Condiciones ambientales

- **Elevación de la temperatura y reducción de las lluvias (variaciones graduales).**
- **Olas de calor y sequías más frecuentes y prolongadas.**
- **Más riesgos de incendios forestales, desbordes e inundaciones (Norte).**
- **Aumento de la desertificación en el Semiárido.**
- **Mayor riesgo de sabanización de la floresta Amazónica.**

### Impactos en la agricultura familiar

- **Pérdidas de la cosecha y reducción de la productividad.**
- **Reducción de la “ventana temporal” para el plantío.**
- **Inseguridad hídrica y alimentaria.**
- **Aumento de la pobreza rural y urbana.**
- **Mayores flujos migratorios.**
- **Pérdidas de la biodiversidad.**
- **Más enfermedades (infecciosas y no infecciosas).**

Como fue presentado en este estudio, los agricultores familiares poseen menor capacidad de adaptación. Entre los principales factores que explican esa conclusión, el presente estudio demostró que:

- Muchos agricultores familiares en esas regiones tienen bajos ingresos y dependen exclusivamente de la producción agrícola para su subsistencia. Esa situación limita su capacidad de inversión en tecnologías avanzadas y en prácticas de adaptación a los cambios climáticos
- La agricultura familiar tiene poco acceso a las previsiones climáticas e informaciones sobre las prácticas agrícolas más resilientes. Eso dificulta la capacidad de los agricultores para tomar decisiones informadas sobre las mejores estrategias de adaptación;



- Las regiones Norte y Nordeste de Brasil son propensas a condiciones climáticas extremas, como sequías, desbordes y eventos climáticos intensos. Esas condiciones pueden afectar gravemente a las plantaciones y limitar la producción agrícola, perjudicando los ingresos y la subsistencia de los agricultores familiares; y
- Todavía hay acceso limitado a las políticas públicas que podrían contribuir a invertir en prácticas de adaptación a los cambios climáticos. Eso incluye financiamiento para inversión en tecnologías más avanzadas y asistencia técnica/extensión rural para implementar prácticas más sostenibles.

Este estudio también demostró que algunos grupos tienden a ser aún más perjudicados, lo que es el caso de las mejores y los pueblos tradicionales, como indígenas, palanqueros y ribereñas. Esos grupos ya enfrentan desigualdades socioeconómicas y políticas que limitan su acceso a recursos y oportunidades. Los cambios climáticos pueden empeorar aún más esa situación, aumentando la pobreza y la exclusión social. En el caso de las mujeres, hay un factor agravante, que es la discriminación de género. Las mujeres, a menudo, tienen menos acceso a políticas públicas y recursos que los hombres, lo que las deja más vulnerables a los cambios climáticos. Además, durante las crisis climáticas, las mujeres tienden a ser más afectadas debido a su papel en la familia y en la comunidad, como la responsabilidad por la alimentación familiar, cuidado a los niños, ancianos y enfermos

Ante este escenario, el camino hacia el desarrollo sostenible se vuelve mucho más complejo, pues la reducción de la pobreza y la mejora de las condiciones de vida de la población, asociadas a las ganancias económicas y conservación ambiental, se ven amenazados por los cambios climáticos. Por esa razón, ampliar la capacidad de respuesta de los agricultores familiares es un requisito previo esencial para reducir los impactos de los cambios del clima. Entre las principales alternativas demostradas en este estudio, se destacan las siguientes:

- Adopción de técnicas y prácticas agrícolas sostenibles, como la agroecología, que buscan aumentar la resiliencia del suelo y de las plantas a los cambios climáticos y reducir la dependencia de insumos extremos;
- Diversificación de cultivos y sistemas agroforestales, que contribuyen a la conservación de la biodiversidad y aumentan la seguridad alimentaria y los ingresos de los agricultores;
- Técnicas de manejo de suelo que utilizan fertilización orgánica son más accesibles y menos dependientes de insumos químicos; al mismo tiempo, el manejo integrado de plagas y enfermedades basado en la utilización de agentes biológicos, lo que minimiza el uso de pesticidas;
- Acceso a informaciones climáticas actualizadas y tecnologías adaptadas a las condiciones locales, como sistemas de riego eficientes y variedades de plantas resistentes a los estreses ambientales;
- Fortalecer las redes de cooperación e intercambio de conocimientos entre los agricultores familiares y entre ellos y otras instituciones y organizaciones que actúan en el campo de la agricultura sostenible; y
- Promoción de políticas públicas que apoyen y fomenten la producción agroecológica, la comercialización de los productos locales y la organización de los agricultores en cooperativas y asociaciones.

Las alternativas de adaptación enumeradas en este estudio, además de aumentar la resiliencia de la agricultura familiar, también son muy importantes porque promueven externalidades positivas, es decir, contribuyen a la conservación ambiental y a la reducción de las emisiones de GEI. Esas técnicas de “agricultura inteligente al clima” deben ser fomentadas pues respetan las características productivas, las potencialidades e identidad cultural de los distintos grupos que forman la agricultura familiar de las regiones Norte y Nordeste de Brasil.

**Fomentar la agricultura frente a los riesgos actuales y los esperados para el futuro es una cuestión de justicia climática, ya que ese grupo se ve perjudicado de manera desproporcionada, mientras que su contribución a las emisiones de GEI es inferior a la agricultura patronal.**

Por lo tanto, la reducción de la vulnerabilidad necesita ser ampliamente apoyada por los órganos gubernamentales por medio de políticas públicas adecuadas a las características regionales. Es necesaria la articulación entre las esferas federal, estatal y municipal para que esas políticas realmente lleguen a la población que más depende de ellas. Las asociaciones de la sociedad civil y los líderes locales tienen gran importancia en ese proceso, ya que están más cerca de los agricultores y conocen profundamente su realidad.

## REFERENCIAS

- Almudi, T.; Sinclair, A. J. Extreme hydroclimatic events in rural communities of the Brazilian Amazon: local perceptions of change, impacts, and adaptation. *Regional environmental change*, v. 22, n. 1, p. 27, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01857-0>.
- Altieri, M. A.; Funes-Monzote, F. R.; Petersen, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 32, p. 1-13, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>.
- Alves de Oliveira, B. F.; Bottino, M. J.; Nobre, P. et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. *Communications Earth & environment*, v. 2, p. 207, 2021. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00275-8>.
- Alves-Pinto, H. N.; Cordeiro, C. L. O.; Geldmann, J.; Jonas, R. D.; Gaiarsa, M. P.; Balmford, A.; Watson, J. E. M.; Latawiec, A. E.; Strassburg, B. The role of different governance regimes in reducing native vegetation conversion and promoting regrowth in the Brazilian Amazon. *Biological Conservation*, v. 267, p. 109473, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109473>.
- Angelotti, F.; Giongo, V. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. In: Melo, R. F.; Voltolini, T. V. (Eds.). *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. Brasília: Embrapa, 2019. p. 445-467.
- Assad, E. D.; Oliveira, A. F.; Nakai, A. M.; Pavão, E.; Pellegrino, G.; Monteiro, J. E. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira às mudanças climáticas. In: Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.
- Avila, J. V. C.; Clement, C. R.; Junqueira, A. B.; Ticktin, T.; Steward, A. M. Adaptive management strategies of local communities in two Amazonian floodplain ecosystems in the face of extreme climate events. *Journal of Ethnobiology*, v. 41, n. 3, p. 409-426, 2021. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-41.3.409>.
- Avila-Diaz, A.; Torres, R. R.; Zuluaga, C. F. et al. Current and future climate extremes over Latin America and Caribbean: assessing Earth System Models from High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP). *Earth Systems and Environment*, v. 7, p. 99-130, 2023. <https://doi.org/10.1007/s41748-022-00337-7>.
- Ballarin, A. S.; Sone, J. S.; Gesualdo, G. C.; Schwambach, D.; Reis, A.; Almagro, A.; Wendland, E. C. CLIMBra - Climate Change Dataset for Brazil. *Scientific Data*, v. 10, p. 47, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-01956-z>.
- Bettles, J.; Battisti, D. S.; Cook-Patton, S. C.; Kroeger, T.; Spector, J. T.; Wolff, N. H.; Masuda, Y. J. Agroforestry and non-state actors: a review. *Forest Policy and Economics*, v. 130, p. 102538, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102538>.
- Berenguer, E.; Armenteras, D.; Lees, A. C. et al. *Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation*. In: Nobre, C.; Encalada, A.; Anderson, E., et al. (Eds.). *Amazon Assessment Report 2021*. New York: United Nations Sustainable Development Solutions Network. 2021. Capítulo 19. DOI: <https://doi.org/10.55161/AIZJ1133>.

Brasil. Presidência da República. *Decreto no 6.040, de 7 de Fevereiro de 2007. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais*. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm). Acesso em 26 fev. 2023.

Brondizio, E. S.; Moran, E. F. Human dimensions of climate change: the vulnerability of small farmers in the Amazon. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, v. 363, n. 1498, p. 1803-1809, 2008. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0025>.

Buainain, A. M.; Cavalcante, P.; Consoline, L. *Estado atual da agricultura digital no Brasil: inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais*. Documentos de Projetos (LC/TS.2021/61). Santiago: Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2021.

Charles, A.; Kalikoski, D.; Macnaughton, A. *Addressing the climate change and poverty nexus: a coordinated approach in the context of the 2030 agenda and the Paris agreement*. Roma: FAO, 2019.

Cortez, B. N.; Pires, G. F.; Avila-Diaz, A.; Paiva, H. F.; Oliveira, L. R. Nonstationary extreme precipitation in Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, v. 67, n. 9, p. 1372-1383, 2022. <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2075267>.

Cuadra, S. V.; Heinemann, A. B.; Barioni, L. G.; Mozzer, G. B.; Bergier, I. (Eds.). *Ação contra a mudança global do clima: contribuições da Embrapa*. Brasília: Embrapa, 2018.

Cunha, A. P. M. A.; Alvalá, R. C. S.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Saito, S. M.; Munos, V.; Leal, K. R. D.; Ribeiro-Neto, G.; Seluchi, M. E.; Zeri, L. M. M.; et al. Brazilian Experience on the Development of Drought Monitoring and Impact Assessment Systems. *Contributing Paper to GAR 2019*. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/publications/view/66570>. Acesso em 16 fev. 2023.

Cunha, A. P. M. A.; Zeri, M.; Deusará Leal, K.; Costa, L.; Cuartas, L. A.; Marengo, J. A.; Tomasella, J.; Vieira, R. M.; Barbosa, A. A.; Cunningham, C.; Cal Garcia, J. V.; Broedel, E.; Alvalá, R.; Ribeiro-Neto, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, v. 10, p. 642, 2019. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

Da Cunha, D. A. *Mudanças climáticas e convivência com o Semiárido brasileiro*. Viçosa: IPPDS, UFV, 2022.

Da Silva, P. E., Silva e Santos, C. M. S.; Spyrides, M. H. C.; Andrade, L. M. B. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 39, n. 2, p. 579-595, 2019. <https://doi.org/10.1002/joc.5829>.

Dantas, J. C.; Da Silva, R. M.; Santos, C. A. G. Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 92, n. 5, p. 317, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8219-0>.

Delazeri, L. M. M.; Da Cunha, D. A.; Oliveira, L. R. Climate change and rural-urban migration in the Brazilian Northeast region. *GeoJournal*, v. 87, p. 2159-2179, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10349-3>.

Delazeri, L. M. M.; Da Cunha, D. A.; Vicerra, P. M. M.; Oliveira, L. R. Rural outmigration in Northeast Brazil: Evidence from shared socioeconomic pathways and climate change scenarios. *Journal of Rural Studies*, v. 91, p. 73-85, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.03.004>.

Dobkowitz, S.; Walz, A.; Baroni, G.; Pérez-Marin, A. M. Cross-Scale Vulnerability Assessment for Smallholder Farming: A Case Study from the Northeast of Brazil. *Sustainability*, v. 12, p. 3787, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12093787>.

Firpo, M. Â. F.; Guimarães, B. S.; Dantas, L. G.; Silva, M. G. B.; Alves, L. M.; Chadwick, R.; Llopert, M. P.; Oliveira, G. S. Assessment of CMIP6 models' performance in simulating present-day climate in Brazil. *Frontiers in Climate*, v. 4, p. 948499, 2022. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.948499>.

Funatsu, Beatriz M.; Vincent Dubreuil, Amandine Racapé, Nathan S. Debortoli, Stéphanie Nasuti, François-Michel Le Tourneau, Perceptions of climate and climate change by Amazonian communities, *Global Environmental Change*, Volume 57, 2019, p. 101923. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.05.007>.

Gori Maia, A.; Cesano, D.; Miyamoto, B. C. B.; Eusebio, G. S.; Silva, P. A. O. Climate change and farm-level adaptation: the Brazilian Sertão. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, v. 10, n. 5, p. 1-23, 2018. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-04-2017-0088>.

Gori Maia, A.; Schons, S. The effect of environmental change on out-migration in the Brazilian Amazon rainforest. *Population and Environment*, v. 42, p. 183-218, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11111-020-00358-2>.

Graeub, B. E.; Chappell, M. J.; Wittman, H.; Ledermann, S.; Kerr, R. B.; Gemmill-Herren, B. The State of Family Farms in the World. *World Development*, v. 87, p. 1-15, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.012>.

Henrique, F. L.; Bonfim, M. A. D.; Tonucci, R. G. *Estimativa da emissão de gases de efeito estufa provenientes de rebanhos de caprinos e ovinos no bioma Caatinga, semiárido Brasileiro em cenários de atuação do FIDA*. Investigación aun no publicada.

Herwehe, L.; Scott, C. A. Drought adaptation and development: small-scale irrigated agriculture in northeast Brazil. *Climate and Development*, v. 10, n. 4, p. 337-346, 2018. <https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1301862>.

Instituto de Tecnologia Social – ITS BRASIL. *Caderno de Debate – Tecnologia Social no Brasil*. São Paulo: ITS, 2004.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. In: Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G. K.; et al. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Summary for Policymakers*. In: In: Shukla, P. R.; Skea, J.; Calvo Buendia, E. et al. (Eds.). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019, p. 437-550. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.007>.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. *Summary for policymakers. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. In: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; et al. (Eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. In Press: Cambridge University Press, 2021.



Iwama, A. Y.; Batistella, M.; Ferreira, L. C.; Alves, D. S.; Ferreira, L. C. Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas. *Ambiente & Sociedade*, v. XIX, n. 2, p. 95-118, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC137409V1922016>.

Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A.C. *et al.* Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nat Food* 2, 873–885 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>.

Jones, C. D. The climate science for service partnership Brazil. *Climate Resilience and Sustainability*, v. 1, n. 1, p. e30, 2022. <https://doi.org/10.1002/cli2.30>.

Lapola, D. M.; Pinho, P.; Barlow, J., et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, v. 379, n. 6630, p. eabp8622. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp8622>.

Lapola, D.M., Silva, J.M.C.d., Braga, D.R., Carpigiani, L., Ogawa, F., Torres, R.R., Barbosa, L.C., Ometto, J.P., Joly, C.A., 2020. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. *Conserv. Biol.* 34, 427–437. <https://doi.org/10.1111/cobi.13405>.

Leite-Filho, A.T., Soares-Filho, B.S., Davis, J.L. *et al.* Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nat Commun* 12, 2591 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>.

Lindoso, D. P.; Eiró, F.; Bursztyn, M.; Rodrigues-Filho, S.; Nasuti, S. Harvesting Water for Living with Drought: Insights from the Brazilian Human Coexistence with Semi-Aridity Approach towards Achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainability*, v. 10, p. 622, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10030622>.

Lindoso, D.P., Rocha, J.D., Debortoli, N. *et al.* Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. *Climatic Change* 127, 93–105 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1116-1>.

Lowder, S. K.; Skoet, J.; Raney, T. The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. *World Development*, v. 87, p. 16-29, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>.

Magalhães, H. F.; Feitosa, I. S.; Araújo, E. L.; Albuquerque, U. P. Farmers' Perceptions of the Effects of Extreme Environmental Changes on Their Health: A Study in the Semiarid Region of Northeastern Brazil. *Frontiers in Environmental Science*, v. 9, p. 735595, 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.735595>.

Magalhães, H. F.; Feitosa, I. S.; Araújo, E. L.; Albuquerque, U. P. Perceptions of Risks Related to Climate Change in Agroecosystems in a Semi-arid Region of Brazil. *Human Ecology*, v. 49, p. 403-413, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10745-021-00247-8>.

Marengo, J. A.; Cunha, A.; Nobre, C. A.; et al. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4°C. *Natural Hazards*, v. 103, p. 2589-2611, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>.

Marengo, J. A.; Galdos, M. V.; Challinor, A.; Cunha, A. P.; Marin, F. R.; Vianna, M. D. S.; Alvala, R. C. S.; Alves, L. M.; Moraes, O. L.; Bender, F. Drought in Northeast Brazil: a review of agricultural and policy adaptation options for food security. *Climate Resilience and Sustainability*, v. 1, p. e17, 2022. <https://doi.org/10.1002/cli2.17>.

Mariosa, P. H.; Pereira, H. d. S.; Mariosa, D. F.; Falsarella, O. M.; Conti, D. d. M.; De Benedicto, S. C. Family Farming and Social and Solidarity Economy Enterprises in the Amazon: Opportunities for Sustainable Development. *Sustainability*, v. 14, n. 17, p. 10855, 2022. <https://doi.org/10.3390/su141710855>.

Martins, M. A.; Hochrainer-Stigler, S.; Pflug, G. Vulnerability of Agricultural Production in the Brazilian Semi-Arid: An Empirical Approach Including Risk. *IDRiM Journal*, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2017.

Martins, M. A.; Tomasella, J.; Dias, C. G. Maize yield under a changing climate in the Brazilian Northeast: Impacts and adaptation. *Agricultural Water Management*, v. 216, p. 339-350, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.011>.

Mbow, C.; Rosenzweig, C.; Barioni, L. G. *et al.* *Food Security*. In: Shukla, P. R.; Skea, J.; Calvo Buendia, E. *et al.* (Eds.). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press, 2019, p. 437-550. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.007>.

Mesquita, P.; Folhes, R. T.; Cavalcante, L.; Rodrigues, L. V. de N.; Santos, B. A.; Rodrigues-Filho, S. Impacts of the Fomento Program on Family Farmers in the Brazilian Semi-Arid and its relevance to climate change: a case study in the region of Sub medio São Francisco. *Sustainability in Debate*, v. 11, n. 1, p. 211-225, 2020. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n1.2020.30505>.

Miccolis, A.; Peneireiro, F.; Vieira, D.; Marques, H.; Hoffmann, M. Restoration Through Agroforestry: Options For Reconciling Livelihoods With Conservation In The Cerrado And Caatinga Biomes In Brazil. *Experimental Agriculture*, v. 55, n. S1, p. 208-225, 2019a. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000138>.

Miccolis, A.; Robiglio, V.; Cornelius, J. P.; Blare, T.; Castellani, D. *Oil palm agroforestry: fostering socially inclusive and sustainable production in Brazil*. In: Jezeer, R.; Pasiecznik, N. (Eds.). Exploring inclusive palm oil production. Wageningen: Tropenbos International, 2019b.

Morton, J. F.. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, p. 19680-19685, 2007. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701855104>.

Müller, C. *et al.* Exploring uncertainties in global crop yield projections in a large ensemble of crop models and CMIP5 and CMIP6 climate scenarios. *Environmental Research Letters*. v. 16, n. 3, p. 034040, 2016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd8fc>.

Nasa Center for Climate Simulation - NASA. *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6)*, 2021. Recuperado en: <https://doi.org/10.7917/OFSG3345>. Consultado el 16 feb. 2023.

Nascimento, D. R.; Alves, L. N.; Souza, M. L. Implantação de sistemas agroflorestais para a recuperação de áreas de preservação permanente em propriedades familiares rurais da região da Transamazônica, Pará. *Revista Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento*, v. 13, n. 2, p. 103-120, 2019. <http://dx.doi.org/10.18542/raf.v13i2.8711>.

Nobre, C. A.; Sampaio, G.; Borma, L. S.; Castilla-Rubio, J. C.; Silva, J. S.; Cardoso, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>.

Organização das Nações Unidas - ONU-Brasil. *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. Recuperado em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Consultado em 23 fev. 2023.

Organização das Nações Unidas - ONU-Mulheres. *How gender inequality and climate change are interconnected*. 2022. Recuperado em: <https://www.unwomen.org/en/news-stories/explainer/2022/02/explainer-how-gender-inequality-and-climate-change-are-interconnected>. Consultado em 23 fev. 2023.

Osuna, V.; Börner, J.; Cunha, M. Scoping Adaptation Needs for Smallholders in the Brazilian Amazon: A Municipal Level Case Study. *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems*, v. 1, n. 1, p. 12-25, 2014. <https://doi.org/10.2478/cass-2014-0002>.

Papalexiou, S. M.; Rajulapati, C. R.; Clark, M. P.; Lehner, F. Robustness of CMIP6 historical global mean temperature simulations: Trends, long-term persistence, autocorrelation, and distributional shape. *Earth's Future*, v. 8, p. e2020EF001667, 2020. <https://doi.org/10.1029/2020EF001667>.

Pereira, C. N.; De Castro, C. N. Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural. *Texto para Discussão, No. 2765*. 2022. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). <https://doi.org/10.38116/td2765>.

Pinho, P. F.; Anjos, L. J. S.; Rodrigues-Filho, S.; Santos, D. V.; Toledo, P. M. Projections of Brazilian biomes resilience and socio-environmental risks to climate change. *Sustainability in Debate*, v. 11, n. 3, p. 225-259, 2020. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33918>.

Rorato, A. C.; Escada, M. I. S.; Camara, G.; Picoli, M. C. A.; Verstegen, J. A. Environmental vulnerability assessment of Brazilian Amazon Indigenous Lands. *Environmental Science & Policy*, v. 129, p. 19-36, 2022.

Roy, J.; Tschakert, P.; Waisman, H.; *et al.* *Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities*. In: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Portner, H. O.; *et al.* (Eds.). Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: World Meteorological Organization, 2018, p. 445-538.

Santos, C. V.; Oliveira, A. F.; Ferreira Filho, J. B. S. Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 60, n. 1, p. e220611, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>.

Santos, E. A.; Fortini, R. M.; Cardoso, L. C. B.; Zanuncio, J. C. Climate change in Brazilian agriculture: vulnerability and adaptation assessment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2023 (*in press*). <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04730-7>.

Santos, G. R.; Silva, R. P.; Santana, A. S. *Agricultura na Amazônia: desflorestamento, escala e desafios à produção sustentável*. In: Santos, G. R.; Silva, R. P. (Orgs.). *Agricultura e diversidades: trajetórias, desafios regionais e políticas públicas no Brasil*. Rio de Janeiro: IPEA, 2022.

Schnitter, R.; Berry, P. The Climate Change, Food Security and Human Health Nexus in Canada: A Framework to Protect Population Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 14, p. 2531, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142531>.

Signor, D. Medeiros, T. A. F.; Moraes, S. A.; Corrêa, L. C.; Tomazi, M.; Moura, M. S. B.; Deon, M. Soil greenhouse gases emissions in a goat production system in the Brazilian semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 52, p. e72371, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272371>.

Silva, R. M. A.; Nunes, E. M. Agricultura familiar e cooperativismo no Brasil: uma caracterização a partir do Censo Agropecuário de 2017. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 61, n. 2, p. e252661, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2021.252661>.

Tanure, T. M. P.; Miyajima, D. N.; Magalhães, A. S.; Domingues, E. P.; Carvalho, T. S. The Impacts of Climate Change on Agricultural Production, Land Use and Economy of the Legal Amazon Region Between 2030 and 2049. *Economia*, v. 21, n. 1, p. 73-90, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2020.04.001>.

Tanure, T. M. P.; Domingues, E. P.; Magalhães, A. S. The Regional Economic Impacts of Climate Change on Family Farming and Large-Scale Agriculture in Brazil. *Climate Change Economics*, 2023 (*in press*). <https://doi.org/10.1142/S2010007823500124>.

Tanure, T. M. P., Domingues, E. P., & Magalhães, A. S. Regional impacts of climate change on agricultural productivity: evidence on large-scale and family farming in Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 1, p. e262515, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.262515>.

Thomas, K. *et al.* Explaining differential vulnerability to climate change: A social science review. *WIREs Climate Change*, v. 10, n. 2, p. e565, 2019. <https://doi.org/10.1002/wcc.565>.

Vale, T. M. C.; Spyrides, M. H. C.; Andrade, L. M. B.; Bezerra, B. G.; Silva, P. E. Subsistence Agriculture Productivity and Climate Extreme Events. *Atmosphere*, v. 11, p. 1287, 2020. <https://doi.org/10.3390/atmos11121287>.

Vasconcelos, M. A. d.; Pereira, H. S.; Lopes, M.; Guimarães, D. F. d. S. Impacts of Climate Change on the Lives of Riverine Farmers on the Lower Rio Negro, Amazon. *Atmosphere*, v. 13, p. 1906, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13111906>.

Vieira, R. M. D.; Tomasella, J.; Barbosa, A.; Martins, M. A.; Rodriguez, D. A.; Rezende, F. S. D.; Carriello, F.; Santana, M. D. O. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: current trends and future scenarios. *Land Degradation & Development*, v. 32, n. 1, p. 224-240, 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.3681>.



