

CAPITULO 2

Análisis del Riesgo por Cambio Climático en el Cultivo de Papa Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en Municipios Productores del Departamento de Cundinamarca

Carlos Alberto Abaunza González,^{1a} Diego Fernando Sánchez Vivas,^{1b}
María del Socorro Cerón Lasso,^{1b} Lena Carolina Echeverry Prieto²

Resumen

El cultivo de papa en Colombia se enfrenta a los efectos del cambio climático, varias instituciones de carácter público y privado a nivel nacional e internacional han efectuado numerosos estudios que evidencian como la agricultura en general es en un alto grado vulnerable a cambios en la temperatura y la precipitación, acentuados en la ocurrencia de fenómenos extremos de exceso y déficit hídrico. A partir de la identificación de los municipios de El Rosal, Subachoque, Granada y Sibaté (Departamento de Cundinamarca, Colombia) como zonas potenciales para el desarrollo del cultivo de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) por la aptitud de sus suelos, por presentar un papel de importancia en la producción y la comercialización de este tubérculo en el centro del país, y dada la necesidad de conocer el riesgo por cambio climático, para aumentar la capacidad de mitigación de los efectos negativos y tomar medidas desde los diferentes actores de la cadena productiva, se analizó dicho riesgo utilizando información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y de aptitud de los suelos de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Se evidenció que los municipios estudiados tienen una alta capacidad adaptativa, sensibilidad media, baja y muy baja vulnerabilidad.

Palabras Clave: cambio climático, análisis del riesgo, agroecosistema, factores climáticos

^{1a} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Nataima, Espinal, Tolima-Colombia.

^{1b} Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá - Docente Investigadora invitada.



Abstract

Potato cultivation in Colombia faces the effects of climate change, several public and private institutions at national and international level have carried out numerous studies showing how agriculture in general is highly vulnerable to changes in temperature and precipitation, accentuated by the occurrence of extreme phenomena of water excess and deficit. Based on the identification of Municipios de El Rosal, Subachoque, Granada, and Sibaté (Departamento de Cundinamarca, Colombia) as potential zones for development of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) cultivation due to aptitude of their soils, for presenting a role of importance in the production and marketing of this tuber in the center of the country, and given the need to know the risk due to climate change, in order to increase the capacity to mitigate negative effects and take measures from different actors in production chain, this risk was analyzed using information from Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) and, aptitude of soils from Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). It was evidenced that the municipalities studied have a high adaptive capacity, medium sensitivity, low and, very low vulnerability.

Keywords: climate change, risk analysis, agroecosystem, climatic factors

Introducción

La producción agropecuaria está condicionada por el clima y su comportamiento, la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua y la tecnología implementada. Distintos factores climáticos en combinación como la precipitación, la radiación solar y la temperatura determinan los rendimientos en cuanto permiten la expresión del máximo potencial productivo de la especie. Así, el sector agrícola es altamente vulnerable frente al cambio climático, donde se evidencian cambios en la temperatura y precipitación, y se presentan fenómenos climáticos extremos como inundaciones y sequías (Galindo et al., 2014; Jones et al., 1991).

El actual incremento de la temperatura por el cambio climático conlleva a la reducción acelerada de los glaciares en las altas montañas o a la identificación de eventos climáticos extremos. Entre estos últimos se han presentado ciertos



cambios en la adaptación al interior de los agroecosistemas, lo que involucra riesgos al disminuir la capacidad de adaptación en algunas especies, como las papas nativas (Gutiérrez, 2008).

Dados los diversos impactos negativos en el ámbito social, económico y ambiental generados por el cambio climático, se busca establecer medidas de gestión del riesgo y respuestas de adaptación, que reduzcan la vulnerabilidad de los sistemas de producción agropecuarios a los efectos de los fenómenos climáticos extremos que se presentan en algunas ocasiones con mayor severidad (Campos et al., 2012).

El cambio climático por el incremento de los gases efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono - CO₂), afecta la agricultura. En Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ha generado escenarios para el clima presente y futuro mediante las variables de precipitación y temperatura. Estos modelos han sido utilizados en diversos estudios para analizar proyecciones en diferentes sectores del país (Fernández, 2013).

El IDEAM ha estudiado los escenarios del cambio climático para Colombia para un periodo de 89 años (2011-2100) y ha realizado diferentes análisis de las variables de precipitación y temperatura en tres periodos de tiempo específicos: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 (IDEAM et al., 2015). Con base en los resultados de los modelos más optimistas, en términos generales, se tiene que en promedio la proyección de la temperatura media en la zona de producción para la papa diploide aumentaría entre 0,51 a 1 °C, para el periodo 2011 a 2040.

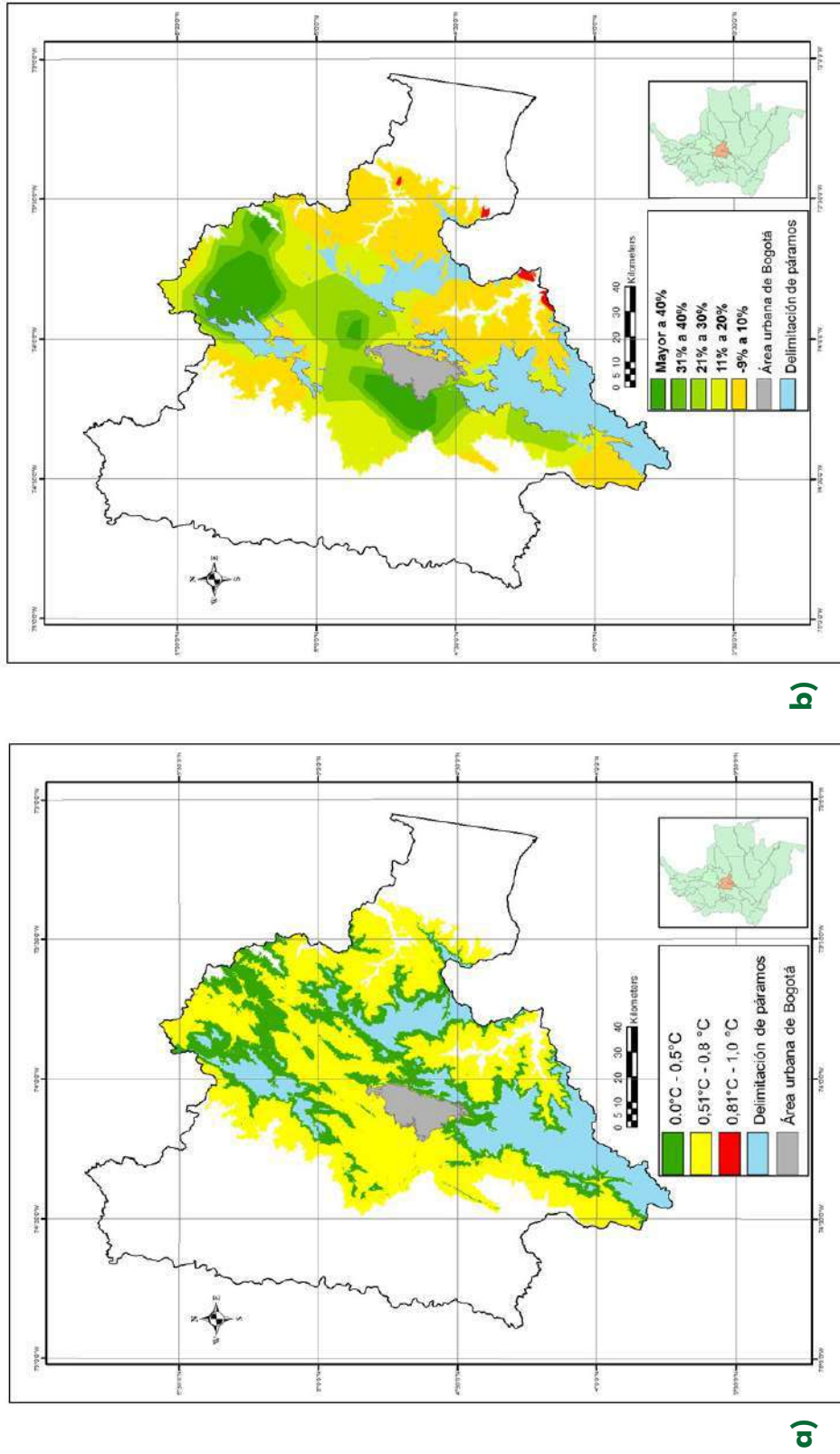
En relación con la precipitación, la mayoría de las zonas productoras de este tubérculo, presentarían un incremento en la precipitación en el orden de 10 a 40%, para ese mismo período. En la Figura 2.1 se zonifica la proyección de acuerdo con los escenarios más optimistas en cuanto a precipitación y temperatura.



SECCIÓN 1

Figura 2.1

Proyecciones de temperatura y precipitación bajo escenarios de cambio climático para el periodo 2011 a 2040



Nota. a) Mapa con incremento de temperatura media anual y b) Mapa con proyección de precipitación anual.

Adicionalmente, se resalta la tendencia del aumento en las temperaturas y en las precipitaciones en el departamento de Cundinamarca, lo que conlleva a la modificación de las áreas cultivadas. Las proyecciones indican una modificación de las áreas aptas para el cultivo de la papa diploide, que hacen que muchas áreas a mayores alturas tomen aptitud para el cultivo, es decir en áreas de ecosistemas de paramos cuyo uso es la conservación de acuerdo con la delimitación normativa.

Vargas et al. (2020) estudiaron los cambios de las variables de temperatura del aire y precipitación en el Municipio de Subachoque y como afecta la productividad del cultivo de papa diploide. Para ello, diseñaron una alerta agroclimática temprana para la toma de decisiones en el manejo de este cultivo en la región bajo enfoque participativo y análisis estadístico climatológico.

Los análisis mostraron un aumento constante de la temperatura y la precipitación promedio mensual no es suficiente para cubrir el requerimiento de agua del cultivo. Por lo que el agricultor debe aplicar riego entre diciembre a febrero y entre julio a agosto. Además, los autores sugieren sembrar la papa diploide en marzo-abril y agosto-septiembre, cuando la precipitación y la temperatura son adecuadas para el cultivo.

De igual manera, se han desarrollado a nivel mundial numerosos estudios para caracterizar y evaluar los riesgos, efectos e impactos del cambio climático en la agricultura; por ejemplo, Aryal et al. (2020) indica que el impacto de los cambios en los patrones de temperatura y precipitación en la producción de cultivos empeoran la seguridad alimentaria en Sudáfrica; y que en varias partes de Asia el rendimiento de los cultivos se vio reducido entre un 2,5% y un 10% en la década de 2020 y se prevé una disminución de estos, estimada de 5–30 % en la década de 2050. Así mismo, sobre el efecto del calentamiento en el rendimiento de cultivos en la India, los autores describen una disminución del rendimiento en un 5%, 6–8% y 10–30% en cultivos como trigo, arroz y maíz, respectivamente. En el caso del Perú, se espera un efecto negativo en el futuro cercano 2071-2100 para el cultivo de papa y de quinua, que generara mayores demandas de agua y requerimiento de riego durante el ciclo productivo (Torres, 2016).



En Colombia la cadena de producción de la papa ha sido objeto de evaluación en materia de adaptación al cambio climático y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, por parte de actores públicos y privados, como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa). A lo largo de la cadena analizaron el riesgo climático, la resiliencia, la capacidad adaptativa, las emisiones vinculadas y su potencial de reducción en la producción, transformación y distribución del tubérculo. Como resultado este análisis generó elementos para la concientización de productores y consumidores frente a un mercado que exige una productividad y consumo sostenibles e insta, además, se lleven cabo acciones conjuntas para recuperar la economía golpeada por la actual pandemia ante un clima cambiante (Vélez Betancourt, 2021).

También la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica ahora AGROSAVIA) y el Fondo de Adaptación, en el año 2015 realizaron el estudio: “Reducción del riesgo y adaptación al cambio climático”, para la caracterización de la variabilidad climática y la zonificación de la susceptibilidad territorial a los eventos climáticos extremos en el marco del Proyecto Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA) (Rojas y Castelblanco, 2016).

El gobierno colombiano creó el Fondo Adaptación en el año 2012 con el fin de atender la construcción, reconstrucción, recuperación y reactivación económica y social en las zonas afectadas con criterios de mitigación y prevención del riesgo (Medina, 2012). Actualmente, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) con la coordinación del DNP, el MADR y el MADS, junto con la participación del IDEAM y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), preparan el país para enfrentar eventos climáticos extremos o para la transformación gradual del clima (MADR, 2021).

En este contexto, la aparición de fenómenos extremos asociados al cambio climático como el déficit o exceso hídrico, aumento o reducción de la temperatura inciden directamente y de forma negativa en los rendimientos y calidad del



tubérculo cosechado en el cultivo de papa (Sierra, 2019), de manera que los riesgos asociados a la calidad y rendimiento de la producción son determinantes en la sostenibilidad de pequeños productores, que en su mayoría son quienes cultivan esta papa diploide en medio de la diversidad de condiciones biofísicas, correlacionadas directamente con la producción y calidad del tubérculo.

De esta forma, y por la importancia del cultivo de papa diploide, por su área sembrada y por sus volúmenes de producción, el presente estudio tiene como objetivo, evaluar el riesgo agroclimático asociado al sistema productivo de papa diploide frente al cambio climático y sus efectos en el Departamento de Cundinamarca – Colombia.

Metodología

Área de Estudio

El estudio se desarrolló en las zonas potenciales de producción de papa diploide en los Municipios de: Granada (4°32'45,24"N y 74°19'46,34"O), Subachoque (4°52'35,71"N y 74°11'05,86"O), El Rosal (4°52'17,30"N y 74°15'04,59"O) y Sibaté (4°28'52,56"N y 74°15'11,37"O) del Departamento de Cundinamarca (Figura 2.2). Dichas zonas productivas de los municipios mencionados fueron identificadas y evaluadas en el capítulo 1. Para estos municipios se revisaron los aspectos climáticos relacionados con los factores de riesgo mediante una clasificación que discrimina la clase y grado de este en los territorios mencionados, teniendo en cuenta la aptitud de uso (Figura 2.3) de estos municipios y su importancia en la producción en el departamento.

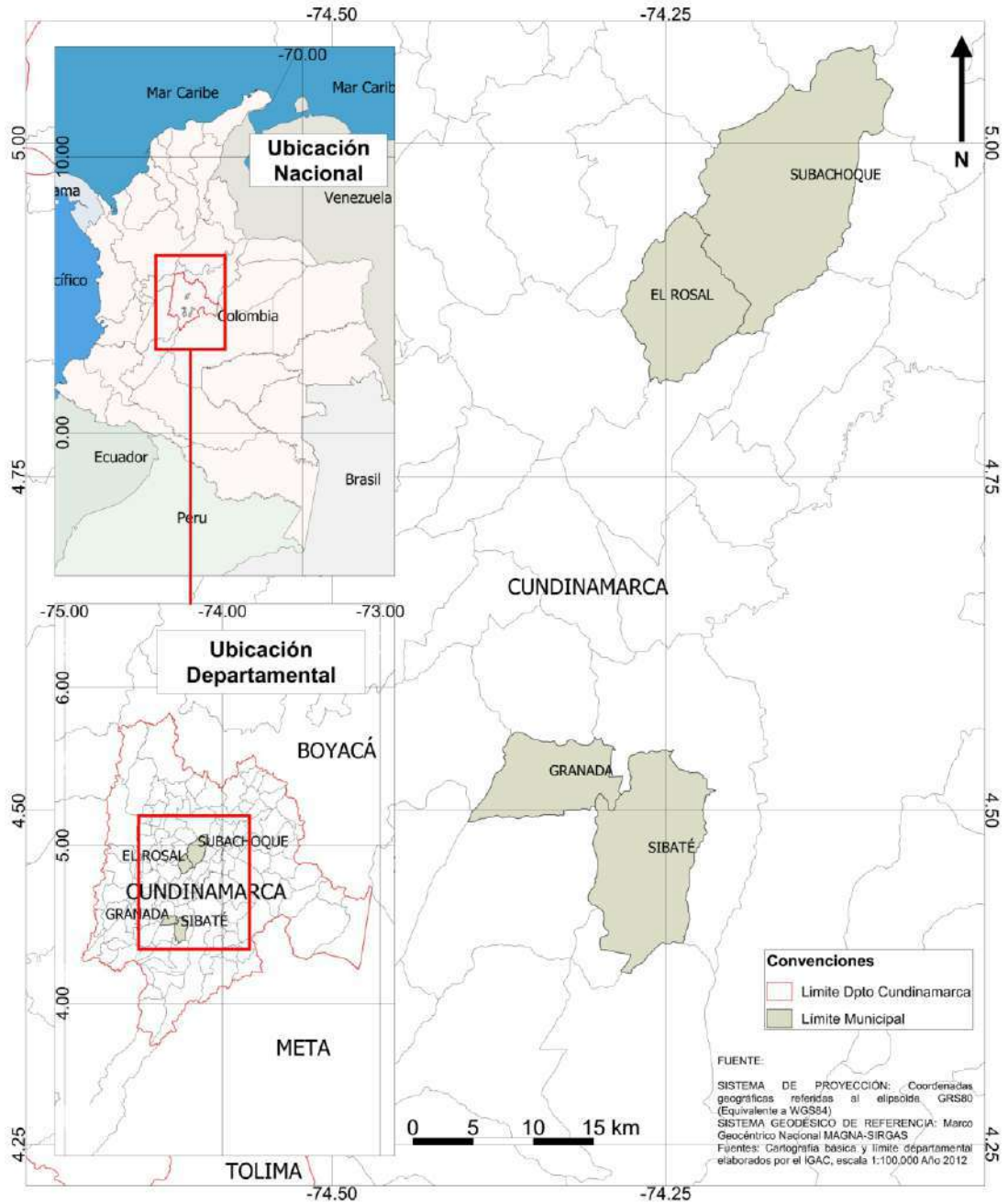
Análisis de Riesgo por Cambio Climático

De acuerdo con el IDEAM (2017b), el análisis de riesgo por cambio climático se define como la ocurrencia de un evento amenazante a este cambio, respecto de la situación de un territorio para responder o verse afectado a los impactos potenciales. Para los municipios seleccionados se abordó el riesgo por cambio climático teniendo la amenaza y la vulnerabilidad como se presenta en la Figura 2.4, calificando la vulnerabilidad en función de la sensibilidad y de la capacidad adaptativa del sistema productivo (Congreso de la República de Colombia, 2018; IDEAM, 2017a, 2017b).



Figura 2.2

Mapa de ubicación de municipios seleccionados en este estudio de productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

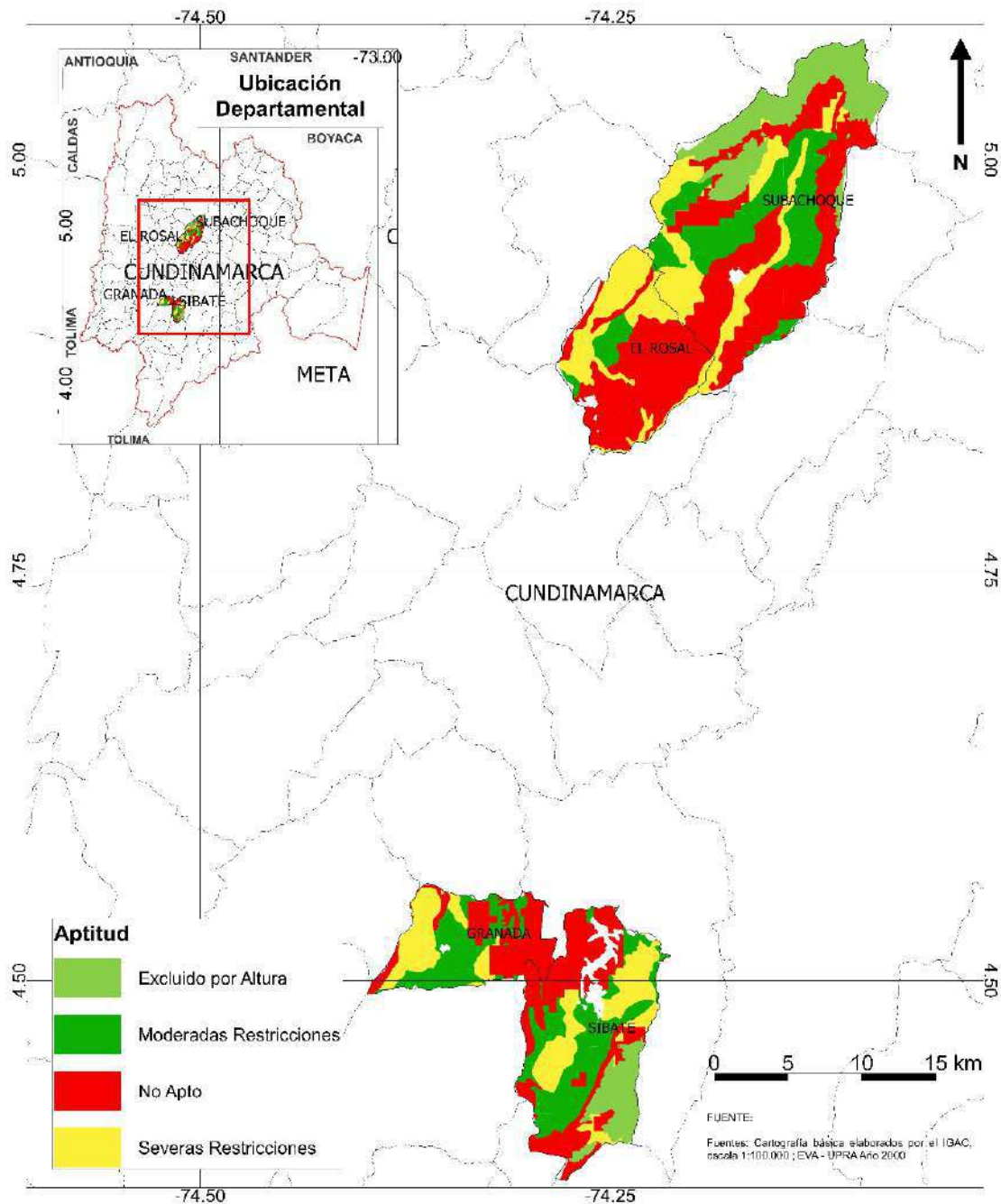


Nota. Elaboración con Base Cartográfica IGAC (2000).



Figura 2.3

Zonas de aptitud de uso para producción de papa diploide en los municipios seleccionados en este estudio

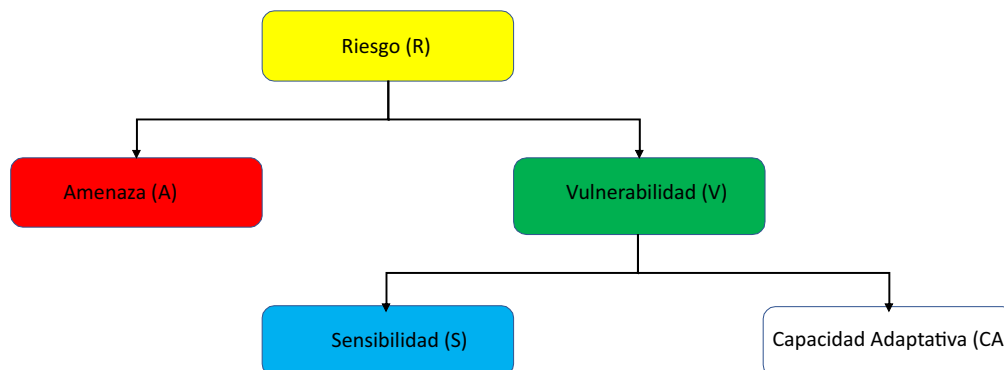


Nota. Elaboración con Base Cartográfica IGAC (2000).



Figura 2.4

Factores concurrentes a la generación del riesgo en el caso de eventos climáticos



Nota. Basado en IDEAM (2017a); Rojas y Castelblanco (2016).

En el marco de los desarrollos propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, la Tercera Comunicación retoma la sugerencia de abordar el riesgo por cambio climático y se acoge a la fórmula general: $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$. Por consiguiente, el riesgo por cambio climático se analizó, identificando el factor, el indicador y las variables que más le afectan. Los factores como amenaza y sensibilidad tienen indicadores para su cuantificación, como: seguridad alimentaria, recurso hídrico, biodiversidad, salud, hábitat humano e infraestructura.

Productos Logrados

Aspectos Climáticos

Las zonas sin restricciones y con moderadas restricciones físicas identificadas para el cultivo de la papa diploide se definieron considerando los requerimientos climáticos del cultivo y la caracterización climática de las unidades agroecológicas, con el fin de propiciar el desarrollo adecuado del cultivo. La condición climática determina los períodos favorables y oportunos de siembra y la realización de las demás prácticas culturales con menor riesgo. Los eventos climáticos que generan mayor preocupación a los productores de papa diploide son las heladas y las sequías. Otros riesgos climáticos como las granizadas y los períodos prolongados de lluvias se presentan con menor frecuencia y no generan grandes preocupaciones al productor.



Las principales fuentes de agua para los cultivos en las fincas son, en primer lugar, la lluvia y otras fuentes naturales como pequeñas quebradas que surcan las fincas, sin embargo, durante las temporadas secas, el 94% de los entrevistados en el marco del proyecto, manifestaron tener necesidad de riego para los cultivos, por lo que han realizado en sus fincas reservorios y pozos que suministran el agua para mitigar los efectos de los periodos secos.

La provisión de riego es importante para la productividad del cultivo, pues técnicamente se conoce que la poca profundidad de las raíces de la papa provoca altas pérdidas de agua por evapotranspiración, por lo que la respuesta productiva a la irrigación artificial frecuente (cada 3 días) es considerable.

Análisis de Riesgo por Cambio Climático

En la Tabla 2.1 se muestra el factor, el indicador y las variables que más afectan a los municipios productores de papa diploide vinculados a la investigación como: El Rosal, Subachoque, Granada y Sibaté. El factor amenaza muy alta, sucedió con valores iguales o mayores a 0,76 y amenaza muy baja con valores por debajo de 0,378. El factor sensibilidad muy alto con valoraciones iguales o superiores a 0,667 mientras que la sensibilidad muy baja ocurrió con resultados inferiores a 0,189. El hábitat humano y la infraestructura como indicadores se ciñen como amenazas muy altas; así mismo, la seguridad alimentaria y los servicios ecosistémicos son los indicadores de más riesgo en el factor sensibilidad para los cuatro municipios vinculados al estudio.

Capacidad Adaptativa. En la Tabla 2.2 se presenta la calificación de capacidad adaptativa para los municipios productores de papa diploide, la cual corresponde a la habilidad de las personas para ajustarse y responder al daño potencial con el fin de tomar ventaja de la oportunidad o para responder a las consecuencias (IDEAM, 2017a). En general los municipios estudiados tienen una alta capacidad adaptativa, siendo el municipio de Subachoque el que presenta mayor valor, esto se considera como una característica de como los productores pueden enfrentar los cambios a través del tiempo y mantenerse en su entorno productivo.



Tabla 2.1

Factores, indicadores y variables para el análisis de riesgo por cambio climático que afecta a los municipios seleccionados productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Factor	Indicador	Variable	Municipio El Rosal		Municipio Subachoque		Municipio Sibaté		Municipio Granada	
			Contribución (%)	Valor	Contribución (%)	Valor	Contribución (%)	Valor	Contribución (%)	Valor
Amenaza	Seguridad alimentaria	Cambio en la superficie de las zonas optimas agroclimáticas en el cultivo de la papa	2,14	0,18	2,14	0,18	2,14	0,18	2,164	0,18
Amenaza	Recurso hídrico	Índice de disponibilidad hídrica	2,398	0,283	2,398	0,283	2,398	0,283	2,307	2,272
Amenaza	Biodiversidad y recursos ecosistémicos	Cambio proyectado en % de área con vegetación natural	4,144	0,374	4,144	0,374	4,144	0,374	4,235	0,378
Amenaza	Hábitat humano	Cambio proyectado en el número de viviendas dañadas por evento meteorológico (Inundación, deslizamiento) relacionados con cambios en la precipitación	1,581	0,76	1,581	0,76	1,581	0,76	1,598	0,76
Sensibilidad	Seguridad alimentaria	Porcentaje de área asegurada respecto al total del área sembrada	4,135	0,95	4,135	0,95	4,135	0,95	4,623	0,95
Sensibilidad	Recurso hídrico	Índice de presión hídrica al ecosistema	5,362	0,667	5,362	0,667	5,362	0,667	4,471	0,518
Sensibilidad	Recurso hídrico	Índice de agua no retornada a la cuenca	1,7	0,339	1,7	0,339	1,7	0,339	1,054	0,189
Sensibilidad	Recurso hídrico	Índice de retención y regulación hídrica	1,441	0,67	1,441	0,67	1,441	0,67	1,715	0,695
Sensibilidad	Biodiversidad y recursos ecosistémicos	Porcentaje del área del municipio correspondiente a Bosque	11,051	0,986	11,051	0,986	11,051	0,986	11,642	0,93
Sensibilidad	Hábitat humano	Demanda urbana de agua para industria y construcción	0,599	0,774	0,599	0,774	0,599	0,774	0,276	0,452
Sensibilidad	Hábitat humano	Porcentaje de urbanización	10,354	0,696	10,354	0,696	10,354	0,696	4,898	0,299
Sensibilidad	Hábitat humano	Porcentaje promediado de área municipal afectada por Anomalías (A) de precipitación "muy por debajo de lo normal" (MDN 0-40%)	7,197	0,547	7,197	0,547	7,197	0,547	4,883	0,333
Amenaza	Infraestructura	Cambio proyectado en la disponibilidad del recurso hídrico para generación hidroeléctrica en el SIN	15,593	0,817	15,593	0,817	15,593	0,817	17,425	0,902

Nota. . Resultados obtenidos por los autores basados en información de IDEAM (2017a).

Tabla 2.2

Calificación de capacidad adaptativa para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Capacidad adaptativa	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,79	Alta
	Subachoque	0,81	Alta
	Sibaté	0,80	Alta
	Granada	0,77	Alta
Municipio de mayor capacidad adaptativa por cambio climático	Subachoque	0,81	Alta

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Sensibilidad. La Tabla 2.3 muestra la calificación de sensibilidad para los municipios productores evaluados de papa diploide. La sensibilidad corresponde al grado de como un sistema puede ser afectado directa o indirectamente. Si se presenta una sensibilidad alta a media, equivalente a municipios donde las condiciones no son favorables para afrontar la amenaza de cambio climático, bien sea por baja gestión en la calidad de vida de los habitantes o por una alta presión de transformación antropogénica (IDEAM, 2017a).

Tabla 2.3

Calificación de sensibilidad para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Sensibilidad	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,37	Medio
	Subachoque	0,35	Medio
	Sibaté	0,35	Medio
	Granada	0,27	Medio

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Vulnerabilidad. Consiste en la predisposición para ser afectado por fenómenos de clima y la resiliencia para sobreponerse a dicha afectación. La vulnerabilidad está en función de la capacidad adaptativa de una región y la susceptibilidad a dichos eventos climáticos



Por lo tanto, se observa en la Tabla 2.4 que la vulnerabilidad de los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca está constituida por los factores de susceptibilidad, y la gestión de capacidad adaptativa identifica que están en los rangos de baja a muy baja vulnerabilidad. Así mismo, en esta Tabla se presentan los municipios de referencia de menor y mayor calificación de vulnerabilidad en el departamento de Cundinamarca.

Tabla 2.4

Calificación de vulnerabilidad para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Vulnerabilidad	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,14	Baja
	Subachoque	0,14	Baja
	Sibaté	0,14	Baja
	Granada	0,13	Muy baja

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Amenaza. La Tabla 2.5 califica la amenaza al riesgo por cambio climático en los municipios productores del tubérculo diploide. Esta amenaza está catalogada de acuerdo con la premisa de aumento de la temperatura frente a la disminución de precipitaciones bajo los escenarios del año 2040; sin embargo, para la mayoría de los municipios productores del tubérculo se percibe un aumento de precipitación y de temperatura. Este aumento de temperatura generaría un desplazamiento de las áreas hacia mayor altura sobre el nivel del mar, como consecuencia de la disminución de las zonas aptas para el cultivo, debido a la reglamentación sobre la preservación de los páramos. Los municipios de Subachoque y El Rosal calificaron con una amenaza muy alta, su indicador fue el hábitat humano y la infraestructura.

Tabla 2.5

Calificación de amenaza para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Valor Amenaza	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,70	Muy alta
	Subachoque	0,71	Muy alta
	Sibaté	0,58	Baja
	Granada	0,67	Alta

Nota. Basado en IDEAM (2017a).



Riesgo. La Tabla 2.6 exhibe la calificación de riesgo para los municipios productores. En el factor de riesgo, los indicadores de biodiversidad y el recurso hídrico, tienen valores de riesgo muy altos, pero en conjunto con los demás indicadores, tienen una contribución que baja el riesgo total por cambio climático.

Tabla 2.6

Calificación de riesgo para los municipios productores de papa diploide en el Departamento de Cundinamarca

Clasificación	Municipio	Riesgo	Interpretación
Municipios con cultivos de papa diploide	El Rosal	0,22	Alto
	Subachoque	0,21	Alto
	Sibaté	0,19	Medio
	Granada	0,18	Medio

Nota. Basado en IDEAM (2017a).

Similarmente Marmolejo y Ruíz (2018) reportan como el cambio climático influye sobre la tolerancia a heladas en cultivos de papas nativas (*Solanum spp.*). Además, consideran que las variedades tolerantes a heladas deben tener en cuenta modificaciones de carácter morfológico, como capas empalizadas del parénquima, mayor grosor con relieve áspero en las hojas, mayor número de estomas y tallos con pigmentación morada; generados a partir de procesos genéticos. Por tanto, lo anterior conduce a los investigadores a revisar continuamente los análisis de riesgos para reconocer los cambios de la agrobiodiversidad en las zonas productivas de papa diploide y plantear estudios que beneficien a los cultivos frente a los efectos por el cambio climático.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis de riesgo implementado, los eventos climatológicos asociados a las heladas y las sequías son los que causan mayor preocupación en los productores de papa diploide, de los municipios estudiados. Por otro lado, los riesgos climáticos como las granizadas y los periodos prolongados de lluvias se presentan con menor frecuencia, motivo por el cual no generan mayores preocupaciones en los productores encuestados.



La capacidad adaptativa se define como una cualidad que poseen las poblaciones para enfrentar los cambios a través del tiempo y mantenerse en su entorno productivo. De acuerdo con el estudio adelantado, en general, los productores de papa de los municipios estudiados tienen una alta capacidad adaptativa, siendo los productores de Subachoque los que reportan el valor más alto para este indicador.

Para el 2040, en la región de estudio, se ha identificado una amenaza relacionada con la disminución de precipitaciones y aumento de la temperatura; este aumento de temperatura generaría un desplazamiento de las áreas de cultivos hacia zonas geográficas de mayor altura sobre el nivel del mar. Sin embargo, debido a la reglamentación colombiana, relacionada con la preservación de las áreas de páramo, se prevé una disminución considerable de las zonas aptas para el cultivo, en relación con este fenómeno climático.

Los municipios de Subachoque y El Rosal calificaron con una amenaza muy alta, para los indicadores de hábitat humano e infraestructura. En el factor de riesgo, los indicadores de biodiversidad y el recurso hídrico, tienen valores de riesgo muy altos, pero en conjunto con los demás indicadores, tienen una contribución que baja el riesgo total por cambio climático.

Referencias

- Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Khurana, R., Khatri-Chhetri, A., Rahut, D.B., y Jat, M.L. (2020). Climate change and agriculture in South Asia: adaptation options in smallholder production systems. *Environment, Development and Sustainability* 22, 5045–5075. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00414-4>
- Campos G., A., Holm-Nielsen, N., Díaz G., C., Rubiano V., D.M., Costa P., C.R., Ramírez C., F. y Dickson, E. (Eds.). (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe.



- Congreso de la República de Colombia. (2018). *Directrices para la gestión del cambio climático*. [Ley 1931 del 27/07/2018]. <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/leyes>
- Fernández, M.E. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores: Evaluación del riesgo por sectores*. Fondo financiero de Proyectos de desarrollo (Fonade) e Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM). Primer Informe, Contrato de Cooperación CO- T1150. IDEAM.
- Galindo, L.M., Samaniego, J., Alatorre J.E., y Ferrer, J. (2014). *Reflexiones metodológicas del análisis del cambio climático. Una visión desde América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Gutiérrez, R. (2008). *Papas nativas desafiando al cambio climático. Propuestas de adaptación tecnológica del cultivo de papas nativas frente al cambio climático en Cusco y Ancash*. Comisión Europea.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP] y Cancillería. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura para Colombia 2011-2100 herramientas científicas para la toma de decisiones – Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP] y Cancillería. (2017a). Análisis de la capacidad adaptativa al cambio climático de los municipios de Colombia para el cálculo de vulnerabilidad y riesgo. En *Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (Cap. 5.4 pp.34-37). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería y FMAM.



- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], Departamento Nacional de Planeación [DNP] y Cancillería. (2017b). Análisis Multidimensional. En *Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (Cap. 4.8 pp.76- 90). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería y FMAM.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca. Subdirección de Agrología*. IGAC.
- Jones, D.A. y Hassan, O.T. (1991). Climate change and agriculture. *Trends in Ecology and Evolution*, 6(3), 101. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(91\)90186-2](https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90186-2)
- Marmolejo, D. y Ruiz, J.E. (2018). Tolerancia de papas nativas (*Solanum* spp.) a heladas en el contexto de cambio climático. *Scientia agropecuaria* 9(3), 393-400. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.10>
- Medina, G.S (2012). *Evolución aciertos y desaciertos con el fondo de adaptación* [Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada].
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2021). Resolución 000355 por la cual se adopta el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Agropecuario-PIGCCS. MADR.
- Rojas M., J. y Castelblanco R., L.F. (2016). *Plan de Manejo Agroclimático Integrado de Papa (*Solanum tuberosum*) en Silos, Norte de Santander, Colombia*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/319403650>
- Sierra, J. (2019). *Cambio climático y producción de papa en Zona papera de Boyacá 1986-2017* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia].



- Torres, S. (2016). *Impacto del cambio climático en el cultivo de papa (Solanum tuberosum) y quinua (Chenopodium quinoa Will) en el departamento de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Vargas, J.C., Plata, A.M. y Guevara, O. (2020). Diseño participativo de una alerta agroclimática temprana para el cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) en Subachoque, Colombia. *Acta Agronómica*, 69(3) 179-187. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.77051>
- Vélez Betancourt, A.F. (2021). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante. La papa en Colombia*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

