

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

VULNERABILIDAD EMERGENTE DE PELIGRO VINCULADA A SEQUÍAS EN EL MEDIO SEMIÁRIDO ARGENTINO: EL EJEMPLO DE LA PROVINCIA DE LA RIOJA¹

Danielle Gomes da Silva Listo² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9391-1211>

² Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil*

Artigo recebido em 22/09/2023 e aceito em 27/09/2023

Publicado: Out/2023

RESUMEN

Como fenómeno natural y común en las regiones áridas, las sequías meteorológicas ocurren gradualmente en el espacio y el tiempo. La capacidad de una sociedad para enfrentar los efectos de la variabilidad climática no es solo dinámica, depende de una multiplicidad de factores interrelacionados, incluyendo la capacidad de gestión de las instituciones gubernamentales, los ingresos nacionales, la salud y la tecnología disponible. Con cada episodio importante de sequía, los actores políticos resaltan la complejidad de los impactos asociados con estos eventos y la necesidad de un enfoque de gestión proactivo basado en el riesgo. Este trabajo busca establecer la intensidad de las vulnerabilidades ante la ocurrencia de eventos que inducen escasez meteorológica en la Provincia de La Rioja, Argentina, con el fin de comprender su dinámica. El análisis espacial de las vulnerabilidades físicas y sociales se basa en el método multicriterio, y la ponderación de variables mediante el modelo Analytic Hierarchy Process (AHP). Asimismo, este estudio responde a la necesidad de superar el desconocimiento sobre los riesgos que corre la población y brindar apoyo a los gobiernos para que desarrollen acciones y planes preventivos para la reducción del riesgo de desastres, priorizando sus acciones en función de las necesidades de cada provincia, desde una perspectiva integral, incluso ante cambios en los escenarios climáticos asociados a las proyecciones SSP2-4.5 y SSP5-8.5, del IPCC al 2100.

Palabras clave: vulnerabilidad; sequía; variabilidad climática; semiárido; Argentina.

¹ Este artículo es el resultado de una investigación realizada en el ámbito del Post-Doctorado desarrollado en el Instituto de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires (UBA) – Argentina, resolución n.º RESCD-2022-207-E-UBA-DCT#FFYL.

* Profesora Adjunta do Departamento de Ciências Geográficas e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil. E-mail: danielle.listo@ufpe.br

VULNERABILIDADE EMERGENTE A PERIGO VINCULADO ÀS SECAS NO SEMIÁRIDO ARGENTINO: O EXEMPLO DA PROVÍNCIA DE LA RIOJA

RESUMO

Como fenômeno natural, histórico e comum nas regiões áridas e semiáridas do mundo, as secas ocorrem gradativamente no espaço e no tempo. A capacidade de uma sociedade de se adaptar aos efeitos das variabilidades climáticas não é apenas dinâmica, mas também depende de vários fatores inter-relacionados, incluindo instituições governamentais e sua capacidade de gerenciá-las, renda nacional, saúde e tecnologia disponível. A cada grande episódio de seca, gestores de recursos naturais e formuladores de políticas públicas destacam a complexidade das séries de impactos associados a esses eventos e a necessidade de uma gestão sob uma abordagem mais proativa baseada em riscos. Sendo assim, este trabalho busca estabelecer a intensidade das vulnerabilidades à ocorrência de eventos que induzem à escassez meteorológica na província de La Rioja, Argentina, a fim de compreender sua dinâmica. A análise espacial das vulnerabilidades físicas e sociais baseia-se no método multicritério, e a ponderação das variáveis através do modelo Analytic Hierarchy Process - AHP. Assim, este estudo responde à necessidade de superar a falta de conhecimento sobre os riscos enfrentados pela população, e apoiar os governos no desenvolvimento de ações preventivas e planos de redução do risco de desastres, priorizando as suas ações com base nas necessidades de cada província, em uma perspectiva abrangente, mesmo face às alterações nos cenários climáticos associados às projeções SSP2-4.5 e SSP5-8.5, desde o IPCC até 2100.

Palavras-chave: vulnerabilidade; seca; variabilidade climática; semiárido; Argentina.

EMERGING VULNERABILITY TO DANGER LINKED TO DROUGHTS IN THE ARGENTINE SEMI-ARID ENVIRONMENT: THE EXAMPLE OF THE PROVINCE OF LA RIOJA

ABSTRACT

As a natural and historic phenomenon, common in the arid and semiarid regions of the world, droughts occur gradually in space and time. A society's ability to adapt to the effects of climate variabilities is not only dynamic, but also depends on several interrelated factors, including governmental institutions and their ability to manage them, national income, health and available technology. Upon each episode of drought, natural resource managers and public policy formulators highlight the complexity of the series of impacts associated with said events, and the need for a management with a more proactive and risk-based approach. Thus, this paper seeks to establish the intensity of the vulnerabilities to the occurrence of events that lead to meteorological scarcity in the province of La Rioja, Argentina, in order to understand their dynamics. The spatial analysis of the physical and social vulnerabilities is based on the multiple-criteria method and weighting of the variables by means of the Analytic Hierarchy Process - AHP model. Therefore, this study responds to the need to overcome the lack of knowledge of the risks faced by the population and to support the governments in the development of preventive actions and disaster risk reduction plans, prioritizing their actions based on the needs of each province, in a comprehensive perspective, even in the face of the changes to the climate scenarios associated with projections SSP2-4.5 and SSP5-8.5, from the IPCC to 2100.

Keywords: vulnerability; drought; climate variability; semiarid; Argentina.

INTRODUCCIÓN

Como fenómeno natural, histórico y común en las regiones áridas y semiáridas del mundo, las sequías ocurren gradualmente en el espacio y el tiempo. Como su principio y fin pueden ser difíciles de identificar, acumulan efectos adversos durante largos períodos y, a pesar de causar tantos daños, son los desastres más complejos y menos comprendidos. Esta complejidad es relevante cuando la sequía meteorológica se entiende como un fenómeno natural en el que las precipitaciones son imprecisas en el espacio y el tiempo, impactadas negativamente por la reducción paulatina de la disponibilidad de agua para grupos vulnerables (WILHITE, 2011).

Dada la relevancia de este impacto, se han realizado diferentes estudios en el contexto del cambio climático, ya sea abordando los aspectos físicos (previsiones de temperatura y precipitación basadas en modelos climáticos globales) o la vulnerabilidad de poblaciones y territorios (SANTOS et al., 2019), porque el cambio climático, ya sea natural o provocado por el hombre, plantea una grave amenaza para la humanidad.

La capacidad de una sociedad para hacer frente a los efectos de la variabilidad climática no sólo es dinámica, sino que también depende de varios factores interrelacionados, incluidas las instituciones gubernamentales y su capacidad para gestionarlas, el ingreso nacional, la salud y la tecnología disponible (MENEZES et al., 2021). Por lo tanto, el grado en que una sociedad puede enfrentar con éxito los desafíos que plantea la variabilidad climática actual está estrechamente relacionado con el desarrollo social y económico y, como tal, no se distribuyen por igual entre las sociedades.

Aunque la variabilidad climática afecta a todas las poblaciones, no hay duda de que los más desfavorecidos económicamente (los más vulnerables) son (y serán) los más afectados (OROZCO et al., 2020). Para ellos, el impacto de eventos extremos como sequías, inundaciones y tormentas significan un mayor riesgo, ya que los recursos disponibles para enfrentar estos impactos son siempre más limitados.

El enfoque adoptado por prácticamente todos los gobiernos, tanto a nivel nacional como local, consiste en responder a la sequía a medida que su gravedad aumenta durante un período de varios meses o años. Wilhite (2011) clasificó tal enfoque como un “*ciclo hidroilógico*”, cuando no existe un plan de manejo de la sequía que supervise las respuestas de las agencias gubernamentales,

cuyas acciones se dirigen únicamente a programas de asistencia o alivio de la sequía, haciendo que la población residente dependa de estos programas al final y al mismo tiempo reciba recursos para sobrevivir a la crisis.

Los impactos se extienden a medida que las condiciones de sequía evolucionan desde una deficiencia de precipitaciones a corto plazo, comunmente conocida como sequía meteorológica, a un período de deficiencia de precipitaciones a largo plazo, que conduce a una sequía agrícola e hidrológica, con una variedad de impactos econômicos, sociales y ambientales (MWADZINGENI, 2021).

Según el Sexto Informe de Evaluación del Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022), es probable que las regiones semiáridas se encuentren entre las más afectadas por el cambio climático y se vuelvan más secas (aumentando la frecuencia e intensidad), con una marcada reducción en disponibilidad de agua (TAVARES *et al.*, 2019).

Según el IPCC (2007), la vulnerabilidad se entiende como la propensión de una determinada población a verse afectada negativamente por el cambio climático debido a tres elementos fundamentales: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Para Natenzon y Ríos (2015), la vulnerabilidad es la que determinará en gran medida para quiénes el riesgo se convertirá en catástrofe. Además, dado su carácter complejo y multidimensional, abarca aspectos como las condiciones materiales de vida de la población, las reglas y normativas institucionales que regulan su actuación, así como deficiencias y limitaciones en la toma de decisiones.

Dada la complejidad y diversidad de la información temática sobre vulnerabilidad, los indicadores e índices se han convertido en un enfoque ampliamente utilizado debido a su capacidad para sistematizar la recolección de información y facilitar la visualización de fenómenos complejos (OLÍMPIO 2017, SANTOS *et al.*, 2019, SINISCALCHI *et. al.*, 2022; KARANDISH *et al.*, 2021; FLETCHER *et al.*, 2021; MENEZES *et al.*, 2021).

Sin embargo, es importante señalar que un indicador corresponde al valor de una variable, mientras que un índice es el resultado de recopilar datos de una o más variables, y normalmente está asociado a una clasificación específica a través de la cual se puede definir una escala (ROSENDO, 2019). Por ello, la elaboración de indicadores que reflejen aspectos, con el fin de promover el diálogo entre los diferentes intereses involucrados, se considera una herramienta de ayuda para la toma de decisiones.

La provincia de La Rioja (Argentina) fue seleccionada debido a un alto proceso de deforestación y cambio de uso del suelo en la última década, con una producción agrícola extensiva, cuyas comunidades campesinas e indígenas tienen poco acceso a los recursos naturales -tierra y agua-, interfiriendo así en su capacidad para mejorar su calidad de vida y producción. Así, el objetivo de esta investigación es establecer la intensidad de la vulnerabilidad ante desastres relacionados con la ocurrencia de eventos que inducen escasez meteorológica en La Rioja, con el fin de comprender su capacidad de afrontamiento. De esta manera, proponer acciones mitigadoras considerando el potencial del dominio semiárido y árido a partir de la medición y análisis de variables, como tasas de exposición, susceptibilidad y capacidad para enfrentar el fenómeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Provincia de La Rioja, que cuenta con 18 departamentos, está ubicada en el centro-oeste de la República Argentina y ocupa una superficie de 89.680 km², equivalente al 3,2% del territorio continental del país. Limita al norte con la provincia de Catamarca, al este con Catamarca y Córdoba, al sur con San Luis, San Juan y Córdoba, y al oeste con San Juan y la República de Chile (CABIDO, ZAK e BIURRUN 2008; DEL MORAL, ANTÚNEZ, VALLEJOS, 2018) (Figura 1).

Según Cabido, Zak y Biurrun (2018), su posición geográfica determina las condiciones climáticas predominantes en su territorio, con la cordillera de los Andes al oeste, impidiendo los vientos del Pacífico, y apenas recibe humedad del Atlántico al este. Según Del Moral, Antúnez y Vallejos (2018), La Rioja presenta tres tipos climáticos: en el sector noroeste destaca el clima árido montañoso o andino de Puno y en el extremo sureste se presenta una estrecha franja con clima templado montañoso, mientras que el resto de la superficie provincial presenta un clima árido de montañas y campos.

La región árida de La Rioja se caracteriza generalmente por una fuerte continentalidad, baja humedad, fuerte insolación diaria, claridad atmosférica, lluvias estacionales (violentas y torrenciales) y fuerte evaporación, además de vientos cálidos y secos. La preponderancia de la radiación solar es muy grande, influyendo fuertemente en el ciclo de la energía térmica.

Las lluvias caen principalmente en verano, resultando enero el mes más lluvioso y el invierno muy seco. Las precipitaciones disminuyen de este a oeste, con 300 mm en la zona del

límite con Córdoba y Catamarca, hasta 100mm al pie de la cordillera de Los Andes. El balance hídrico es deficitario.

La Cordillera de los Andes se presenta como una vasta zona montañosa cuya base se encuentra en el límite con la Provincia de San Juan, al sur. Se caracteriza por una serie de mesetas y valles modelados por los cursos de agua del sistema Bermejo.

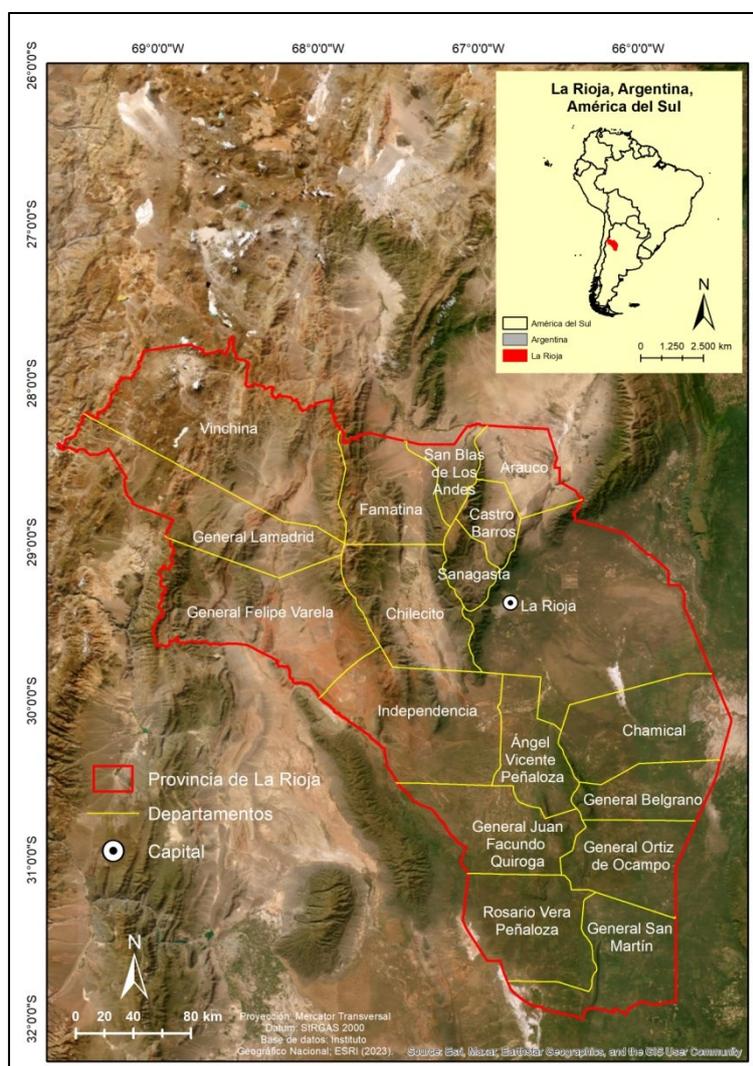
Se observan rocas plutónicas paleozoicas y formaciones rocosas fragmentadas de origen granítico y volcánico. En los sectores superiores se pueden identificar varios niveles que se intercalan entre acantilados cóncavos que abruptamente se vuelven rectos, desnudos y con una inclinación muy pronunciada producida por la dinámica tectónica reciente. Los fondos de valle tienen una morfología muy variada, escalonados y con una gran acumulación de sedimentos que, debido a las condiciones áridas, provocan que el drenaje no tenga suficiente energía para su transporte (ROSA Y MAMANÍ, 1994).

Localizada en el NO de la provincia, el Sistema de Famatina se caracteriza por sus elevaciones que superan en promedio los 5000 m. Su basamento metasedimentario de bajo grado y una importante secuencia sedimentaria y vulcano sedimentaria ordovícica, que lo diferencian de los terrenos circundantes como Precordillera y Sierras Pampeanas. Junto con la cuenca de retroarco famatiniana se desarrolló un magmatismo calcoalcalino, mataluminoso, de edad ordovícica y, durante el Ciclo Achaliano devónico-carbonífero, una tectónica extensional favoreció la intrusión de leucogranitos peralcalinos (CANDIANI, 2010).

En el cordón de Famatina se encuentra el distrito minero La Mejicana, con mineralizaciones de oro, plata, cobre y molibdeno, relacionadas a intrusiones riodacíticas y andesíticas de edad terciaria, que han producido extensas zonas de alteración hidrotermal.

En la zona sur, la sierra pampeana presenta bloques escarpados, elevados e inclinados formados por rocas cristalinas de edad Precámbrica y Paleozoica, originarias del escudo brasileño e incluidas en la orogenia andina.

Figura 1: Localización de la zona de estudio (Provincia de La Rioja). Base de datos: ESRI (2023)



Fuente: Intituto Geográfico Nacional – IGN

Algunas fallas dieron lugar a grandes taludes que delimitan las manzanas, cuyos niveles superiores corresponden a antiguos planos de planificación. Una de esta red de fracturas y fallas orienta los valles y corta las laderas, además de la existencia de fosas tectónicas situadas en el interior de las montañas o en sus bordes, donde se individualizan superficies planas. (ROSA Y MAMANÍ, 1994).

De especial interés es el contacto entre la sierra y la llanura, definido por una serie de glaciares o conos de abatimiento que forman un relieve inclinado a partir de las laderas y, sobre los que discurren las aguas cargadas de aluviones procedentes de cuencas y laderas. Las llanuras o cuencas

interiores (llanuras, campos, etc.) situadas entre las montañas están cubiertas en gran parte por un manto discontinuo de sedimentos cuaternarios de origen aluvial o eólico (ROSA Y MAMANÍ, 1994).

En la provincia el agua de superficie está directamente vinculada con el clima imperante en la zona, esto genera que el balance hídrico sea negativo durante todos los meses del año. De hecho, como ya se indicó previamente, el agua superficial es un recurso sumamente escaso. La Rioja carece de ríos alóctonos y son numerosos los cauces que permanecen secos durante todo el año, con excepción del corto tiempo que duran las avenidas provocadas por las tormentas de verano (DEL MORAL, ANTÚNEZ E VALLEJOS, 2018).

La dirección de las crecientes y la velocidad de las aguas están determinadas por el relieve. Con excepción del río Bermejo, los cursos forman cuencas endorreicas y el agua se insinúa en los arenales inmediatamente después de salir de las montañas. Las aguas subterráneas también están sujetas al monto de las precipitaciones, por lo cual poseen limitadas fuentes de alimentación y, aprovechando la permeabilidad del terreno, escurren desde los faldeos montañosos hacia los valles y bolsones.

Modelo AHP e Indicadores de Vulnerabilidad

El método de Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP) puede caracterizarse como uno de los métodos de análisis multicriterio más utilizados para estudios que trabajan con múltiples condicionantes. El AHP surgió en la década de 1970 como una importante herramienta de apoyo a la toma de decisiones y su principal objetivo es la evaluación multicriterio, es decir, consiste en elegir entre alternativas más o menos importantes en la ocurrencia de determinados procesos (BISPO, 2018).

Para modelar la vulnerabilidad a la sequía en La Rioja mediante el AHP fue necesario seleccionar indicadores que la condicionen en la zona de estudio. En el presente trabajo se intentó adaptar el índice de vulnerabilidad aplicado por Rosendo (2014) a tres municipios del Estado de Paraíba, a través de una compartimentación de los componentes de vulnerabilidad en Exposición, Sensibilidad y Capacidad de Afrontamiento, a la realidad de los datos disponibles y las características socioambientales de la provincia, totalizando 26 indicadores (Tabla 1).

Tabla 1: Índices de Vulnerabilidad a la Sequía.

DIMENSIÓN	ASPECTO	N°	INDICADORES
EXPOSICIÓN	Características ambientales	1	Balance hídrico.
		2	Índice de anomalías de precipitaciones.
		3	Índice de aridez.
		4	Hipsometría del terreno.
		5	Disponibilidad de agua superficial.
	Características de la población	6	Población rural.
		7	Residentes de 0 a 4 años.
		8	Residentes mayores de 65 años.
		9	Vivienda - Tierra o ladrillo suelto.
	Características de la actividad	10	Establecimientos agropecuarios que utilicen agricultura de regadío.
		11	Cultivos permanentes.
		12	Cultivos temporales.
		13	Dependencia industrial de la materia prima agrícola.
		14	Exposición de cultivos agrícolas.
		15	Exposición de Rebaños.
SENSIBILIDAD	Características socioeconómicas	16	Mano de obra desempleada (no privado formal).
		17	Familias sin fosas (en funcionamiento).
	Características tecnológicas	18	Familias sin Cisterna.
		19	Familias sin camiones cisterna.
		20	Ausencia de cloacas.
		21	Propiedades que usan pesticidas agrícolas.
	Características de las actividades	22	Propiedades que utilizan mecanización.
		23	Áreas agrícolas degradadas o no aptas para la agricultura.
CAPACIDAD DE AFRONTAMIENTO	Capacidades sociales y económicas	24	Tasa de analfabetización.
		25	Población que no recibe ningún tipo de prestación.
		26	Fuerza de trabajo que depende de la agricultura.

Fuente: Adaptado de Rosendo (2014) para la Provincia de La Rioja, Argentina.

Luego de seleccionar los indicadores, se recolectaron datos sociales y económicos del Censo 2010 y del Censo Agropecuario 2018, ambos puestos a disposición por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – (INDEC, 2010 e INDEC, 2018). Los datos ambientales fueron recopilados del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (<https://www.argentina.gob.ar/inta>), Infraestructura de datos espaciales de Salta – IDESA (<http://www.idesa.gob.ar/>) y las imágenes de satélite ALOS PALSAR, por ser los datos más recientes y fiables.

Todos los indicadores fueron mapeados en un entorno SIG (Sistemas de Información Geográfica) y elaborados en una escala de 1:100.000. Para la combinación de mapas en el proceso de análisis multicriterio, los mapas se convirtieron en *raster* en el *software ArcGIS* (licencia académica), a través de la herramienta *ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster*.

Después de la creación del *raster*, los datos de cada mapa fueron representados en la misma escala, por lo tanto, cada mapa que conforma los 26 indicadores seleccionados fue normalizado en

una escala de variación de valores en intervalos de 0 a 1 con el fin de permitir la comparación píxel a píxel del análisis. La normalización se realizó en *ArcGIS*, utilizando la caja de herramientas *ArcToolbox/patial Analyst Tools/Reclass*.

Estructuración del AHP

La comparación pareada de los elementos en cada nivel de vulnerabilidad constituye un juicio comparativo mediante la atribución de pesos, en el que se intentó determinar la importancia relativa de cada elemento de un nivel jerárquico en relación con cada criterio en el nivel inmediatamente superior (BISPO *et al.*, 2020). Los pesos en el AHP fueron determinados por la Escala Fundamental de Saaty (1991), que varía de 1 cuando los criterios tienen la misma importancia a 9, para la importancia absoluta de un criterio con relación al otro (Tabla 2).

Tabla 2: Escala Fundamental del AHP.

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo.
3	Importancia moderada de uno sobre el otro	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
7	Importancia muy fuerte	Se favorece fuertemente una actividad y su dominio se demuestra en la práctica.
9	Extremadamente importante	La evidencia favorece una actividad sobre la otra.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Cuando es necesario llegar a un acuerdo.

Fuente: Saaty (1991).

Para asignar pesos a variables, se tomó como referencia el trabajo de Rosendo (2014), MMA-Brasil (2017), Olimpio (2017), Oliveira (2017) y Sena (2017).

A través de los criterios preseleccionados se utilizó una matriz cuadrada en la cual se realizó un análisis pareado, culminando con un peso para cada criterio y con base en los pesos de la Escala Fundamental, conformando así la matriz de comparación de paridad (Cuadro 1).

Cuadro 1: Matriz cuadrada de correlación pareada.

Criterios	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅
C₁	1	$C_{21}=1/C_{12}$	$C_{31}=1/C_{13}$	$C_{41}=1/C_{14}$	$C_{51}=1/C_{15}$
C₂	C_{12}	1	$C_{32}=1/23$	$C_{42}=1/C_{24}$	$C_{52}=1/C_{25}$
C₃	C_{13}	C_{23}	1	$C_{43}=1/C_{34}$	$C_{53}=1/C_{35}$
C₄	C_{14}	C_{24}	C_{34}	11	$C_{54}=1/C_{45}$
C₅	C_{15}	C_{25}	C_{35}	C_{45}	1

Fuente: Saaty (2008).

Después de una comparación por pares usando la matriz cuadrada, se procede a la normalización de los valores, cuyo valor de cada par se divide por la suma de los valores de cada columna. De esta forma, para la adquisición del valor del peso (**w_i**) de cada criterio, dividir la suma de cada línea (**ΣL**) por el número de criterios analizados (Quadro 2).

Cuadro 2: Matriz de normalización de criterios.

Criterios	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	W_i
C₁	$1/\Sigma C_1$	$C_{21}/\Sigma C_2$	$C_{31}/\Sigma C_3$	$C_{41}/\Sigma C_4$	$C_{51}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_1/5$
C₂	$C_{12}/\Sigma C_1$	$1/\Sigma C_2$	$C_{32}/\Sigma C_3$	$C_{42}/\Sigma C_4$	$C_{52}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_2/5$
C₃	$C_{13}/\Sigma C_1$	$C_{23}/\Sigma C_2$	$1/\Sigma C_3$	$C_{43}/\Sigma C_4$	$C_{53}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_3/5$
C₄	$C_{14}/\Sigma C_1$	$C_{24}/\Sigma C_2$	$C_{34}/\Sigma C_3$	$1/\Sigma C_4$	$C_{54}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_4/5$
C₅	$C_{15}/\Sigma C_1$	$C_{25}/\Sigma C_2$	$C_{35}/\Sigma C_3$	$C_{45}/\Sigma C_4$	$1/\Sigma C_5$	$\Sigma L_5/5$

Fuente: Saaty (2008).

Para verificar la consistencia jerárquica, según los preceptos de Saaty (1991), la matriz debe presentar un grado de inconsistencia o margen de error máximo de 0,10. Si se excede este límite, será necesario mejorar el funcionamiento real de las sentencias, cuya suma de pesos calculados debe ser igual a 1,0 (uno).

Luego de la comparación por pares, se busca el valor de consistencia para confirmar la validez de los resultados obtenidos (cálculo del Ratio de Consistencia – RC), lo que permite evaluar la inconsistencia en función del orden de la matriz de juicio (Ecuación 1).

$$RC = IC / IR \tag{Eq.1}$$

Onde: **RC** = Relación de consistencia; **IC** = Índice de Consistencia e **IR** = Índice Aleatorio.

El Cálculo del Índice de Consistencia (IC) evalúa el grado de inconsistencia de la matriz de juicios de paridad, según la Ecuación 2.

$$IC = (\lambda_{max}-n)/(n-1), \text{ donde el } \lambda_{max} = 1/n \sum_{i=1}^n [Aw]_i/w_i \tag{Eq. 2}$$

Onde: n = número de orden de la matriz; λ_{max} = vector propio; W_i = pesos calculados y A_w = producto de W_i con la matriz de correlación pareada.

La tolerabilidad de la inconsistencia de la matriz se determina a partir del “Índice aleatorio” que se proporciona mediante una tabla de valores (Tabla 3) y es función del tamaño de la matriz de comparación. El IR se obtiene para una matriz aleatoria recíproca con elementos no negativos. Saaty (2008) aproximó varios tamaños de matriz N , basándose en una gran cantidad de simulaciones de laboratorio.

Tabla 3: Valores de RI en función del orden de la matriz cuadrada.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,53	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Fuente: Saaty (2008).

En posesión del IC y del IR se adquiere el valor de RC. El RC mide la coherencia y consistencia de las relaciones de importancia consideradas en el análisis, si es mayor a 0.10 se debe rehacer el juicio de las condiciones, ya que presenta inconsistencias. Cuanto más cerca esté el índice de consistencia de "0", más consistente será el modelo. Para valores de $RC > 0,10$ se requiere una revisión de la matriz de comparación (SAATY, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Teniendo en cuenta los criterios utilizados en esta investigación, se elaboraron mapas que presentan una primera aproximación a la vulnerabilidad emergente al peligro vinculado a las sequías.

En la dimensión **exposición**, el condicionante más importante de la vulnerabilidad emergente fue la característica de la población, con un peso de 0,44, lo que significa que este factor influye en un 44% en el valor final de la vulnerabilidad (Cuadro 4). Este valor es consistente con estudios de vulnerabilidad socioambiental ante desastres elaborados por Natenzon (2022) para Argentina.

Tabla 4: Peso obtenido por el método AHP para la dimensión de Exposición.

Aspecto	Características ambientales	Características de la población	Características de la actividad	Wi (Peso)
Características ambientales	0,40	0,43	0,33	0,39
Características de la población	0,40	0,43	0,50	0,44
Características de la actividad	0,20	0,14	0,17	0,17

El segundo criterio condicionante en importancia fue la característica ambiental, con un peso de 0,39, es decir, un 39% de influencia sobre el valor final de vulnerabilidad. El peso está en línea con los estudios de Olimpio (2017), Oliveira (2017) y Sena (2017).

Sumado a estos, las características de las actividades recibieron un peso de 0,17, o 17% de influencia para la exposición. Este valor es consistente con investigaciones realizadas por Rosendo (2014), Oliveira (2017), Lemos (2020) y Brito (2021).

El índice de consistencia obtenido para el escenario de exposición fue de 0,018, lo que indica que los juicios presentaron una consistencia aceptable, es decir, inferior a 0,10 (Saaty, 1991, 2008). De esta manera, los pesos se comportaron coherentemente y pudieron usarse en el modelado.

Cuatro departamentos provinciales tuvieron una exposición alta y tres departamentos tuvieron una exposición muy alta, respectivamente: Angel Vicente Peñaloza, Chamental, General Juan Facundo Queiroga, General Belgrano, General Ortiz de Ocampo, Rosario Vera Peñaloza y General San Martín (Figura 4).

Esto se debe principalmente a la relación entre el elevado número de población rural que reside en estos departamentos y el bajo número de hectáreas de tierra utilizadas para la agricultura de riego. Al estar ubicados en zonas planas dentro de la provincia, estos departamentos cuentan con una gran cantidad de depósitos sedimentarios provenientes de los Andes y del Sistema Famatina – con aproximadamente 3.000m de profundidad – haciendo inviable para la población la perforación de fosas.

Otro factor determinante para la baja exposición es la moderada pendiente del relieve, que proporciona una sedimentación también moderada en las zonas del valle, permitiendo una mayor cantidad de perforación de fosas.

Los departamentos Castro Barros, Sanagasta, La Rioja – Capital e Independencia tuvieron una exposición promedio. Esto se debe al equilibrio entre el número de población rural residente, hectáreas con agricultura de regadío, mayor número de cultivos temporales y ganadería expuesta a riesgos climáticos.

En la dimensión **sensibilidad**, el condicionante más importante fue el de las características socioeconómicas de la población, con un peso de 0,53, lo que significa una influencia del 53% en el valor final de sensibilidad (Tabla 5).

Tabla 5: Peso obtenido por el método AHP para la dimensión sensibilidad.

Aspecto	Características socioeconómicas	Características tecnológicas	Características de las actividades	Wi (Peso)
Características socioeconómicas	0,55	0,60	0,43	0,53
Características tecnológicas	0,27	0,30	0,43	0,33
Características de las actividades	0,18	0,10	0,14	0,14

El segundo criterio condicionante en importancia fue el de las **características tecnológicas**, con un peso de 0,33, es decir, un 33% de influencia en el valor final de sensibilidad. Las características de actividades recibieron un peso de 0,13, es decir, 13% de influencia, resultando el aspecto de sensibilidad más bajo.

El índice de consistencia obtenido para el escenario de sensibilidad fue de 0,052, lo que indica que los juicios tuvieron una consistencia aceptable (Saaty, 1991, 2008). De esta forma, los pesos coincidieron con la investigación realizada por Rosendo (2014), Oliveira (2017), Lemos (2020) y Brito (2021).

Los departamentos más sensibles fueron General San Martín, General Ortiz de Ocampo y Rosario Vera Peñaloza, que mostró una sensibilidad muy alta e Independencia, Ángel Vicente Peñaloza, Chamental, General Juan Facundo Quiroga y General Belgrano que mostraron alta sensibilidad (Figura 5).

departamentos analizados, justificado por los altos índices de familias atendidas por fosas y cisternas, por el elevado número de terratenientes que utilizan la mecanización en la producción agrícola, por la seguridad hídrica proporcionada por el deshielo de los Andes y el sistema de Famatina.

Cabe señalar que en toda la provincia el número de familias sin servicio de pozos, camiones cisternas y cisternas es muy bajo (INDEC, 2010), lo que genera sensibilidad, requiriendo el fortalecimiento de políticas públicas relacionadas con alcantarillado sanitario y seguridad hídrica.

La dimensión **capacidad de afrontamiento** fue entendida en esta investigación como la incapacidad de la población para afrontar/recuperarse de las adversidades de una sequía prolongada. El condicionante más importante de la capacidad de afrontamiento fue la tasa de analfabetismo con un peso de 0,54, lo que significa 54% de influencia (Tabla 6).

Tabla 6: Peso obtenido por el método AHP para la dimensión capacidad de afrontamiento.

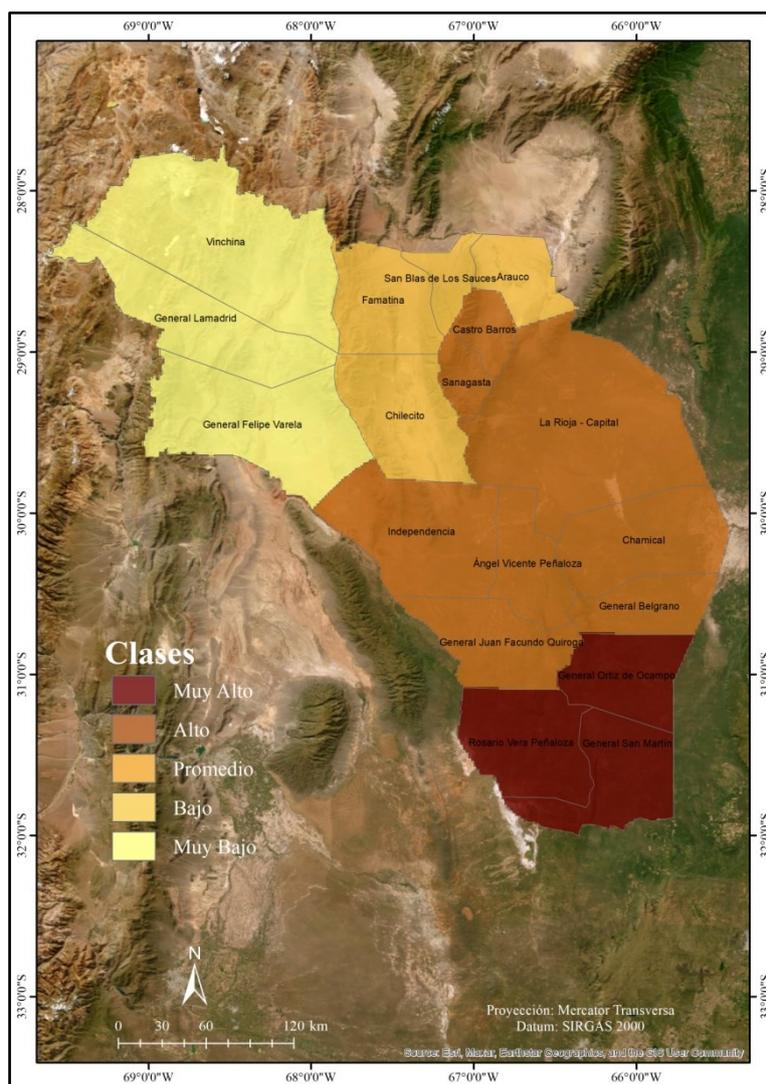
Aspecto	Tasa de analfabetización	Población que no recibe ningún tipo de prestación	Fuerza de trabajo que depende de la agricultura	Wi (Peso)
Tasa de analfabetización	0,55	0,60	0,50	0,54
Población que no recibe ningún tipo de prestación	0,18	0,20	0,25	0,25
Fuerza de trabajo que depende de la agricultura	0,27	0,20	0,25	0,21

El segundo criterio condicionante en importancia fue la población activa que depende de la agricultura, con un peso del 0,25, es decir, un 25% de influencia sobre el valor final de la capacidad de afrontamiento. Sumado a estos, la población que no es atendida por programas sociales recibió un peso de 0,21, o 21% de influencia para la capacidad de afrontamiento.

Los valores coinciden con investigaciones realizadas por Rosendo (2014), Oliveira (2017), Lemos (2020) y Brito (2021). El índice de consistencia obtenido para el escenario de capacidad de afrontamiento fue de 0,018, lo que indica que los juicios mostraron una consistencia aceptable según Saaty (1991, 2008).

Los departamentos que mostraron menor capacidad de afrontamiento fueron Vinchina, General Lamadrid y General Felipe Varela (Figura 6). La incapacidad para afrontar las adversidades derivadas de la sequía se debe al alto índice de analfabetismo de la población residente en estos departamentos asociado a la gran dependencia de la fuerza laboral de la agricultura.

Figura 6: Mapa de la dimensión capacidad de afrontamiento. Bases de datos: ESRI (2023).



Los departamentos con mayor capacidad para enfrentar las adversidades provocadas por las sequías prolongadas son Castro Barros, Sanagasta, La Rioja – Capital, Independência Ángel Vicente Peñalosa, Chamental, General Juan Facundo Quiroga y General Belgrano, con un índice alto; y General Ortiz de Ocampo, Rosário Vera Peñalosa y General San Martín, con un índice muy alto. Este resultado se debe a la baja tasa de analfabetismo, la baja dependencia de la fuerza laboral de la agricultura y la gran cantidad de familias atendidas por programas sociales.

Los departamentos de San Blas de Los Sources, Famatina, Chilecito y Arauco mostraron una capacidad de afrontamiento moderada, ya que la cantidad de población analfabeta es igual a la beneficiada por los programas sociales.

En relación con los resultados presentados, es importante resaltar la importancia del indicador “familias beneficiadas por programas de asistencia social”, ya que aseguran que las personas de bajos ingresos, especialmente las que residen en zonas rurales, tengan mejores condiciones para afrontar los efectos adversos de sequías prolongadas.

La “mano de obra que depende de la agricultura” es otro factor que incide fuertemente en la incapacidad de la provincia para afrontar la situación. Al ser una población concentrada en otras actividades económicas, principalmente en el sector de servicios, las posibilidades de que esta población se vea afectada en largos periodos de sequía hacen que sean considerablemente menores.

De esta manera, el resultado del índice de vulnerabilidad emergente ante sequías obtenido a través de la comparación pareada de las dimensiones exposición, sensibilidad y capacidad de afrontamiento a través del AHP (Figura 7) mostró que la condición más importante para la vulnerabilidad ante desastres por sequía fue la exposición, con un 52% de influencia en el valor final, seguido de la sensibilidad, con un 33%, y por último, de la capacidad de afrontamiento, con un 15%.

Según el modelo AHP, los altos valores de vulnerabilidad se deben a las características del evento, principalmente el índice de anomalía de precipitaciones y la hipsometría, asociados a las características de la población, la rural será la más afectada. Las anomalías en las precipitaciones no cesarán y, aunque sus efectos no pueden evitarse, sí pueden mitigarse mediante medidas relacionadas con las infraestructuras hídricas y la gestión económica de la convivencia con la región semiárida.

Como se analiza y expone en las dimensiones de exposición y sensibilidad, la provincia de La Rioja presenta una fuerte dependencia del medio rural, además de una baja cobertura asistencial. En términos generales, los resultados obtenidos son satisfactorios, permitiendo una evaluación eficiente de la vulnerabilidad emergente a la sequía. Sin embargo, es necesario considerar, tal como lo presentan Bispo *et al.* (2020), que la evaluación de la vulnerabilidad a la sequía no es una ciencia exacta, y puede presentar cierta subjetividad. Los resultados obtenidos constituyen una predicción y dependen de la calidad de los datos utilizados. Sin embargo, a pesar de la subjetividad que puedan

cordillera de los Andes y el sistema de Famatina, y la inversión en energías renovables dado el potencial solar y eólico.

Los departamentos que presentan un alto y muy alto grado de vulnerabilidad precisan incentivos e inversión económica, tanto desde el punto de vista provincial como departamental, no sólo para la instalación de empresas, industrias y fábricas, sino también para el fortalecimiento de las actividades agrícolas ya desarrolladas. Además, es necesario un mayor acceso de la población al agua subterránea con la perforación de más fosas, teniendo en cuenta que las anomalías pluviométricas son severas en estas zonas.

La existencia de programas sociales de distribución del ingreso es una alternativa para reducir la desigualdad social, o aumentar la población beneficiada por los programas existentes, con el fin de reducir el grado de vulnerabilidad instalada. Es importante enfatizar la necesidad de priorizar la inversión en educación y la reutilización/provisión de agua para consumo personal. Las inversiones en minería, energías renovables y turismo diversifican la economía y la forma de ingresos públicos.

Los departamentos con un grado medio de vulnerabilidad necesitan fortalecer la infraestructura rural y agrícola. Un punto que debe ser común a todos los departamentos es la inversión en saneamiento básico, ya que el 90% de los departamentos no cuentan con él y se le debe dar prioridad.

Finalmente, también es necesario reducir las causas de exposición en términos de actividades humanas, así como ampliar la infraestructura hídrica y la seguridad económica para reducir la sensibilidad y aumentar la capacidad de afrontamiento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Buenos Aires/Secretaría de Ciencia y Tecnología por financiar el Proyecto n.º. 20620190100007BA y al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq/Brasil) por financiar el Proyecto 200393/2022-7.

REFERÊNCIAS

BISPO, C. O. **Suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió, Alagoas**. Dissertação (Mestrado), UFPE/PPGEO, 115p, 2018.

BISPO, C. O.; LISTO, F. L. R.; LISTO, D. G. S.; FALCÃO, N. A. M. Suscetibilidade induzida a escorregamentos, via aplicação do método AHP. **Diversitas Journal**. V.5 (1), p. 298-314, 2020.

BRITO, A. G. M. **Vulnerabilidade socioambiental à seca: uma perspectiva do seridó potiguar.** Dissertação (Mestrado), UFRN/Programa de Pós-graduação em Geografia, 164p, 2021.

CABIDO, M. R.; ZAK, M. R.; BIURRUN, F. N. **La vegetación y el ambiente de la provincia de La Rioja.** 1ed. Córdoba: Ecoval Editorial, 136p, 2018.

CANDIANI, J.C. Aplicación de geofísica aérea en la cartografía de complejos magmáticos de la sierra de Famatina. La Rioja, república argentina. **VI Congreso Uruguayo de Geología.** Sociedad Uruguaya de Geología, 1-6p, 2010.

DEL MORAL, D.; ANTÚNEZ, N; VALLEJOS, C. **Términos de referencia para la elaboración del Plan Director de Recursos Hídricos de la Provincia de La Rioja.** Universidad Nacional de La Rioja/ Facultad de Ingeniería de la UBA. CABA/La Rioja, diciembre. Documento de trabajo inédito, 82 p, 2018.

FLETCHER, A. J.; MUSSETTA, P. C.; TURBAY, S.; ACEVEDO MEJÍA, E. C. “Deep Vulnerability”: Identifying the Structural Dimensions of Climate Vulnerability through Qualitative Research in Argentina, Canada, and Colombia. **Cuadernos de desarrollo rural**, Vol.18, p.1. 2021.

INDEC. **Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.** Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de Argentina. Recuperado de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-10-02-004-2010>. (Consulta: 20/11/2022).

INDEC. **Censo Agropecuario 2018.** Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de Argentina. Recuperado de: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>. (Consulta: 20/01/2023).

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. **AR 4. Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability.** Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. **Climate change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability.** 328p. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. (Consulta: 15/02/2023).

KARANDISH, F.; NOURI, H.; BRUGNACH, M. Agro-economic and socio-environmental assessments of food and virtual water trades of Iran. **Scientific reports**, Vol.11 (1), p.15022-15022. 2021.

LEMOS, J. J. S. VULNERABILIDADES INDUZIDAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate.** v. 10, p. 245-268, 2020.

MENEZES, J. A; MADUREIRA, A P; SANTOS, R. B; DUVAL, I. B; REGOTO, P; MARGONARI, C; BARATA, M. M. L; CONFALONIERI, U. Analyzing Spatial Patterns of Health Vulnerability to Drought in the Brazilian Semiarid Region. **International journal of environmental research and public health**, Vol.18(12), p.6262. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto das mudanças do clima. Brasília: WWF-Brasil, 125p, 2017.

MWADZINGENI, L; MUGANDANI, R; MAFONGOYA, P. L. Assessing Vulnerability to Climate Change in Smallholder Irrigation Schemes of Zimbabwe. **Sustainability (Basel, Switzerland)**, Vol.13 (18), p.10023. 2021.

- NATENZON, C. E.; RÍOS, D. **Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades: Aportes desde la geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos**. 1 ed. Buenos Aires: Imago Mundi, 228 p, 2015.
- NATENZON, C. E. **Proyecto ARG 19003: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático**. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Documento de trabajo inédito, 87p, 2022.
- OLÍMPIO, J. L. S. **Análise Multicritério do Risco de Desastres Naturais: um estudo sobre a seca na região Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado), UFC. 242p, 2017.
- OLIVEIRA, R. B. **Vulnerabilidade à seca para a região semiárida: estudo de caso de quatro municípios do estado da Paraíba**. Dissertação (Mestrado), UFPB/CCEN. 115p, 2017.
- OROZCO, I; MARTÍNEZ, A; ORTEGA, V. Assessment of the Water, Environmental, Economic and Social Vulnerability of a Watershed to the Potential Effects of Climate Change and Land Use Change. **Water (Basel)**, Vol.12 (6), p.1682. 2020.
- ROSA, H.; MAMANÍ, M. Geomorfología de La Rioja. In: ABRAHAM, E. M.; MARTÍNEZ, F. R. **Inventario de Recursos para la Planificación y Gestión de la Región Andina Argentina**. Junta de Gobierno de Andalucía, España Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina, 2000. Recuperado de: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap17.htm#inhalt> (Consulta: 20/11/2022).
- ROSENDO, E. E. Q. **Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade à seca na região semiárida brasileira**. Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT. 288p, 2019.
- ROSENDO, E. E. Q. **Vulnerabilidade à seca nas regiões semiáridas brasileira e portuguesa: uma avaliação baseada em lógica Fuzzy**. Tese (Doutorado) – UFPB/CT. 137p, 2014.
- SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Mcgraw-hill. 1991.
- SAATY, T. L. Relative measurement and Its generalization in decision making why Pairwise comparisons are Central in mathematics for the measurement of intangible factors the Analytic Hierarchy Process. **Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. – RACSM**. v.102, n. 2, 251–318, 2008.
- SANTOS, R. B.; MENEZES, J. A.; CONFALONIERI, U.; MADUREIRA, A. P.; DUVAL, I. B.; GARCIA, P. P.; MARGONARI, C. Construção e Aplicação de um Índice de Vulnerabilidade Humana à Mudança do Clima para o Contexto Brasileiro: a experiência do Estado do Espírito Santo. **Saúde Soc.**, v.28, n.1, pp. 299-321, 2019.
- SENA, A. R. M. Seca, vulnerabilidade e saúde: impactos no semiárido brasileiro. Tese (Doutorado), FIOCRUZ. 266p, 2017.
- SINISCALCHI, A. G; DIAZ, M. S; LARA, R. J. Sustainable long-term mitigation of floods and droughts in semiarid regions: Integrated optimal management strategies for a salt lake basin. **Ecohydrology**, Vol.15 (2), 2022.
- TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. P. SILVA, D. G. Desertificação, Mudanças Climáticas e Secas no Semiárido Brasileiro: Uma Revisão Bibliográfica. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 70, pp. 385-405, 2019.
- WILHITE, D. A. Breaking the Hydro-Illogical Cycle: Progresso or Status Quo for Drought Management in the United States. **European Water**, 34, pp.5-18, 2011.