

Uso de lógica difusa y análisis de correspondencias simples para caracterizar los vientos de la provincia de La Rioja, Argentina

Dematte, Rodolfo^{1,2}; Gandolfo Raso E², Huespe, Josefina²; Ávila, Laura¹

¹ Instituto de Energías Naturales Renovables, Universidad Nacional de La Rioja, La Rioja, Argentina

² Unidad de investigación: Epistemología, Lógica y Ciencias Básicas. UTN Facultad Regional Mendoza

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue identificar cuáles son los departamentos de la Provincia de La Rioja con mayores velocidades del viento mediante el uso de la técnica de lógica difusa y por medio del análisis factorial de correspondencias simples (AFCS). Se analizaron las velocidades de viento de la Provincia de La Rioja entre el periodo 2010-2020. La información proviene de la base de datos del proyecto POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Se realizó el procesamiento estadístico de los datos y se aplicó el análisis de datos multivariados para establecer las características predominantes de los vientos según cada departamento de la provincia. Posteriormente, para realizar la evaluación, se compararon los resultados mediante interpolación de kriging y se obtuvo una serie de mapas mensuales que grafican las velocidades promedio del viento. El comportamiento es estable en el periodo analizado, no hay grandes variaciones entre los meses estudiados. En el periodo junio a noviembre existen incrementos en las velocidades de los vientos en la zona de precordillera. Los vientos de La Rioja usualmente corresponden entre ventolina y brisa moderada (1,6 y 7,9 m/s).

Palabras clave: Lógica difusa, energía eólica, vientos, La Rioja, mapas de vientos

Use of Fuzzy Logic and Simple Correspondence Analysis to Characterize the Winds of the Province of La Rioja, Argentina.

Abstract

The objective of this study was to identify which are the departments of the Province of La Rioja with the highest wind speeds by using the fuzzy logic technique and by means of simple correspondence factor analysis (AFCS). The wind speeds of the Province of La Rioja between the period 2010-2020 were analyzed. The information comes from the database of the POWER project (Prediction of Worldwide Energy Resources) of NASA (National Aeronautics and Space Administration). Statistical processing of the data was carried out and multivariate data analysis was applied to establish the predominant characteristics of the winds according to each department of the province. Subsequently, to evaluate the results, a comparison was made by means of kriging interpolation, resulting in a series of monthly maps depicting average wind speeds. The behavior is stable in the analyzed period, there are no great variations between the months studied. During the period from June to November there are increases in the wind speeds in the foothills area. The winds of La Rioja usually correspond between a light breeze and a moderate breeze (1.6 and 7.9 m/s).

Keywords: Fuzzy logic, wind energy, winds, La Rioja, wind maps

Introducción

La energía renovable es cualquier forma de energía de origen solar, geofísico o biológico que se renueva mediante procesos naturales a un ritmo igual o superior a su tasa de utilización. Se obtiene de los flujos continuos o repetitivos de energía que se producen en el entorno natural y comprende tecnologías de baja emisión de carbono, como la energía solar, la hidroeléctrica, la eólica, la mareomotriz y del oleaje, y la energía térmica oceánica, así como combustibles renovables tales como la biomasa (IICA, 2014).

El uso de la energía eólica y otras fuentes de energías de origen renovable en Argentina se incrementó gracias a la sanción de leyes en el marco del cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2030 (ONU, 2018), con base en los Objetivos del Desarrollo del Milenio (ODM), ambos pactos propuestos por la ONU a todos sus estados miembros. Sus objetivos hacen hincapié en la obtención de energía asequible y no contaminante. Dentro de una de las metas establece ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias. La generación de energía genera el 60% de las emisiones mundiales de gases del efecto invernadero.

La energía es un factor de relevancia para el crecimiento y desarrollo de los países. En Argentina la Ley 26 190/15, “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, y sus modificatorias promueven el uso y la incorporación de diversas fuentes de energías renovables a la matriz energética nacional. Se prevé que gradualmente hasta el año 2025 el 20% de la oferta eléctrica del país provenga de energías renovables. La energía eólica representa el 66% del total de la generación de las energías renovables del país. El 29.15% de la energía renovable generada en el NOA proviene del viento. La capacidad instalada de energía eólica en el NOA representa el 7.19% del total del país (Cammesa, 2020).

Provincia de la Rioja, análisis de la situación

La provincia de La Rioja se encuentra en la región noroeste (NOA) de la República Argentina, ubicada entre los 65°20' y 69°25' de longitud oeste y 27°55' y los 21°57' de latitud sur (Ministerio de Planeamiento e Industria, 2019). La provincia cuenta con 18 departamentos, los cuales se distribuyen en una superficie de 89 680 km². Gran parte de este territorio no está poblado. La República Argentina posee regiones de potencial eólico muy importantes. Una de ellas es la zona ubicada hacia el centro norte de la provincia de La Rioja, al este del Cordón Velasco, específicamente en el Departamento Arauco, el cual se observa en la Figura 1 (Mattio y Jones, 2011).



Figura 1. Mapa político con nombre de los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina. Fuente: Consejo Federal de Inversiones CFI

La velocidad del viento es uno de los parámetros a analizar a la hora de proyectar el aprovechamiento eólico con fines energéticos. Para ello es necesario medir su potencialidad tanto en cantidad como en calidad. Existen otros factores de importancia además del estudio del viento, entre ellos se destacan: la disponibilidad de tierras, la ubicación geográfica (por su finalidad, autoabastecimiento o acceso a redes de media y alta tensión, en el caso de incorporar la energía producida al sistema argentino de interconectado - SADI), el tipo de terreno, los obstáculos resguardantes cercanos (edificios y setos) y las variaciones de la altura del terreno (Mattio y Jones, 2011).

Fuentes de información existentes

Existen estudios realizados a nivel nacional sobre el viento realizados por el Centro Regional de Energía Eólica (CREE), el cual publicó el Mapa Eólico Nacional. Este sistema ha dado buenas aproximaciones, resultando una herramienta de valor para el sondeo de áreas óptimas para el estudio de emplazamientos eólicos. La Cámara de Energías Renovables (CADER) y la Asociación Argentina de Energía Eólica (AAEE) presentaron un mapa nacional de velocidades de viento a 80m en 2013. Existe una plataforma denominada Sistema de información geográfica del Ministerio de Energía que ubica las principales fuentes generadoras de energía renovable del país, pero no brinda detalles sobre potenciales ubicaciones para futuros proyectos. Desde el Ministerio de Energía presentan un mapa nacional en su página web.

Los atlas eólicos muestran los recursos disponibles. La velocidad y la variación del viento son unas de las variables para tener en cuenta en proyectos eólicos (Singh, 2018). Existen múltiples mapas de vientos pero ninguno específico para la Provincia de La Rioja. En cuanto a estudios a nivel provincial, no se registran otros estudios publicados sobre los vientos y su potencial para los distintos departamentos. Existe una amplia dispersión en lo que respecta a información disponible.

En los últimos 10 años, la demanda del servicio de medición de recursos eólicos crece respecto a años anteriores en todo el territorio nacional, ya que los inversores tanto nacionales como extranjeros requieren, ante un proyecto, optimizar los niveles de producción y asegurar la competencia del suministro. En este sentido, otras provincias como San Luis, Córdoba, Tierra del Fuego, Chubut, Entre Ríos y Neuquén también han avanzado en el estudio de potencial eólico a través de la elaboración de cartografía (Clementi, 2017:162). La Rioja, hasta el momento, no tiene realizado un mapa de velocidades medias de viento. Se considera que es una importante herramienta a la hora de establecer áreas tentativas de estudio en materia eólica.

Materiales y métodos

Los datos utilizados provienen del proyecto POWER (base de datos de libre acceso de la NASA) que se proporcionan en una cuadrícula global con una resolución espacial de 0.5° de latitud por 0.5° de longitud en diferentes espacios temporales. Se elige para trabajar promedios mensuales en el periodo 2010-2020 para la provincia de La Rioja.

Los datos utilizados corresponden a la altura promedio de 25 metros. En total se procesaron 959000 datos disponibles de promedios mensuales entre los años 2010 y 2020.

Se realizó el análisis factorial de correspondencias simples (AFCS), este método se basa en el enfoque de la escuela francesa sobre técnicas de estadística descriptiva y exploratoria de Lebart. Esta técnica se representa en cartografiados, que son gráficas fáciles de interpretar y revelan relaciones no lineales entre las modalidades de diferentes variables que otros métodos no permiten observar (Cesari, et al, 2017).

La revisión de datos fue automática y manual. Se verificaron los rangos de los datos, los valores mínimos y máximos para encontrar outliers, datos inconsistentes y duplicados. Los casos con valores perdidos representan un reto importante, ya que los procedimientos de modelado tradicionales simplemente descartan estos casos para el análisis. Cuando hay pocos valores perdidos (aproximadamente, menos del 5 % del número total de casos), dichos valores pueden considerarse perdidos de forma aleatoria (IBM, 2022).

Tratamiento de los datos

En el armado de la tabla de contingencia es necesaria la condición de exhaustividad y exclusividad. El método requiere de la transformación de la tabla de contingencia inicial. En las filas se representan los departamentos de la Provincia de La Rioja y en las columnas se representan las diversas categorías de la velocidad del viento expresada en valores cualitativos.

La escala cualitativa utilizada para la conversión de las velocidades del viento fue la Escala Beaufort (Ecuación (1)). Esta escala fue creada en 1805 para uso naval, en 1850 fue adaptada para uso no naval y en 1906 se le agregaron descriptores para su uso en tierra.

$$V = 0.837 B^{3/2} [m/s] \quad (1)$$

donde:

B = es el número de la escala de Beaufort

V = es la velocidad del viento

Esta escala relaciona velocidades expresadas en m/s y las clasifica en escalas nominales. Los datos se discretizaron en rangos de la escala de Beaufort, ya que a partir de una tabla de datos cuantitativos se puede generar una tabla cualitativa nominal capaz de resumir la misma información.

Uso de la lógica difusa y el análisis factorial de correspondencias simples (AFCS)

Los datos originales (variables continuas de viento [m/s]), se categorizaron en la Escala Beaufort (0-12) y a su vez se transformaron por medio del uso de la lógica difusa. La lógica difusa permite establecer este mapeo de una forma adecuada, atendiendo a criterios de significado (y no de precisión). La teoría de conjuntos difusos es un intento de desarrollar una serie de conceptos para tratar de un modo sistemático el tipo de imprecisión que aparece cuando los límites de las clases de objetos no están claramente definidos (Morcillo, 2011).

Para fuzzificar, se utilizó, una función triangular determinando así, para cada valor, el grado de pertenencia a cada conjunto difuso. Esta técnica constituye un instrumento de mejora en la exploración de información y potencia las técnicas de investigación científica (Cesari et al, 2017).

Luego, la tabla de contingencia fue escalada multiplicando el grado de pertenencia por 100. El procesamiento estadístico y los cartografiados del AFCS se llevaron a cabo a través del software SPAD 5. A su vez, los resultados obtenidos se graficaron y validaron mediante la interpolación del kriging con el software Surfer® v. 13.

Interpretación de los resultados

Uno de los objetivos del análisis de correspondencias es describir las relaciones existentes entre dos variables nominales, recogidas en una tabla de correspondencias, sobre un espacio de pocas dimensiones. Al mismo tiempo, se describen las relaciones entre las categorías de cada variable.

El factor explica las proximidades entre los puntos, destacando aquellos factores con contribuciones más elevadas para explicar dichas proximidades. El AFCS trata de analizar, describir y representar gráficamente la información contenida en una tabla de distribución conjunta de datos dispuestos en filas y columnas que muestran sus correspondencias o asociaciones. Esta técnica se emplea para el análisis de la relación de dos variables cualitativas, tratadas como nominales (López-Roldán y Fachelli, 2015).

Para cada variable, las distancias sobre un gráfico entre los puntos de categorías reflejan las relaciones entre esas categorías, con las categorías similares representadas próximas unas a otras. La proximidad de puntos de igual categoría indica que no existen variaciones de los datos. La proyección de los puntos de una variable sobre el vector desde el origen hasta un punto de categoría de la otra variable describe la relación entre ambas variables (IBM, 2022). Los ejes x e y representan las categorías con mayor contribución absoluta. En los gráficos, el color rosado representa los años. La proximidad de los datos entre sí indica que no hay gran variación entre los datos interanuales. Los puntos en rojo representan los departamentos de la provincia de La Rioja. La proximidad entre los puntos indica similitudes entre velocidades de los vientos.

El método realiza una clasificación de las clases, las cuales se representan mediante puntos de color negro. El tamaño del punto indica la cantidad de datos correspondiente a cada. clase. Además, el color azul se utiliza para señalar las clasificaciones de los vientos según escala de Beaufort. Los puntos en gris representan los valores individuales de cada dato procesado.

Resultados

Enero

Del AFCS realizado se puede clasificar al viento del mes de enero en cinco grandes clases. El 90% de los datos se concentran en los dos primeros factores. En los departamentos Independencia, Capital, Arauco, Sanaagasta, Castro Barros y San Blas de los Sauces predominan los vientos de brisa débil flojo.

Vera Peñaloza, Chamental y Gral. Belgrano predominan los vientos entre brisas débiles y moderadas. En los departamentos Famatina, General Lamadrid, Vinchina, Chilecito y Coronel Felipe Varela predomina la brisa muy débil, ver Figura 2 y Tabla 1.

En los departamentos Ángel Vicente Peñaloza, General Ocampo, San Martín, Facundo Quiroga, Rosario

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa débil flojo	306	30,9%
clase 2	brisa débil flojo/brisa moderada		
clase 3	brisa muy débil y ventolina	360	36,4%
clase 4	brisa moderada	130	13,1%
clase 5	brisa moderada a brisa fresca	46	4,6%

Tabla 1. Resultados del mes de enero para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina. (2010-2020).

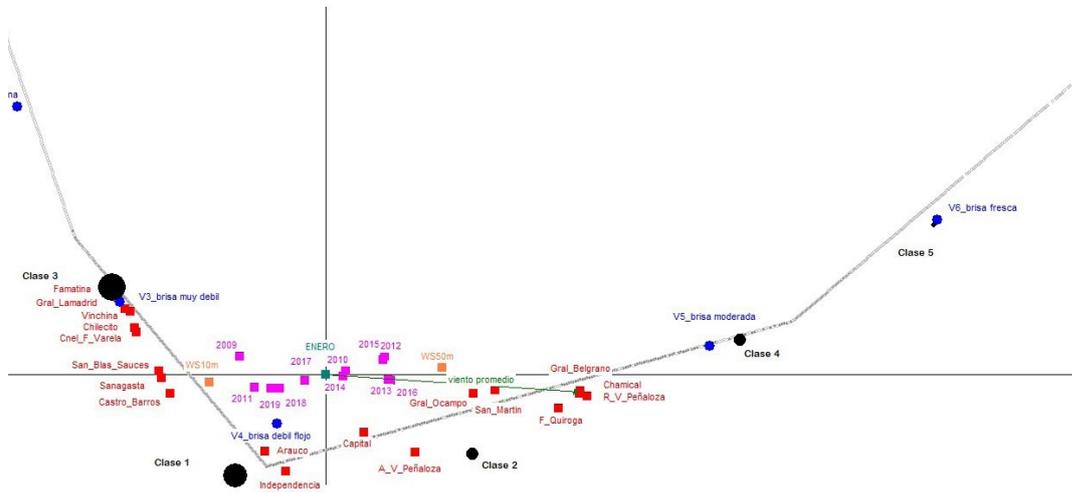


Figura 2. Cartografiado de datos de enero para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina. (2010-2020).

Febrero

En febrero, el 85,67% de los datos se concentran en los dos primeros factores. En cuanto a la distribución de los vientos los departamentos Famatina, Chilecito y Coronel Felipe Varela se caracterizan por vientos clasificados entre brisa muy débil y ventolina. Los departamentos Sanagasta, San Blas de Los Sauces, Castro Barros, Vinchina y General Lamadrid se caracterizan por vientos entre brisa débil y brisa débil floja.

Los departamentos Arauco, Independencia Capital y Ángel Vicente Peñaloza se caracterizan por vientos de clase brisa débil floja.

Los Departamentos General Ocampo, Facundo Quiroga, Rosario Vera Peñaloza, Chamental, San Martín y Belgrano (departamentos más al sur de la provincia) se caracterizan por tener vientos entre brisa débil floja y brisa fresca, como se observa en la Figura 3 y la Tabla 2.

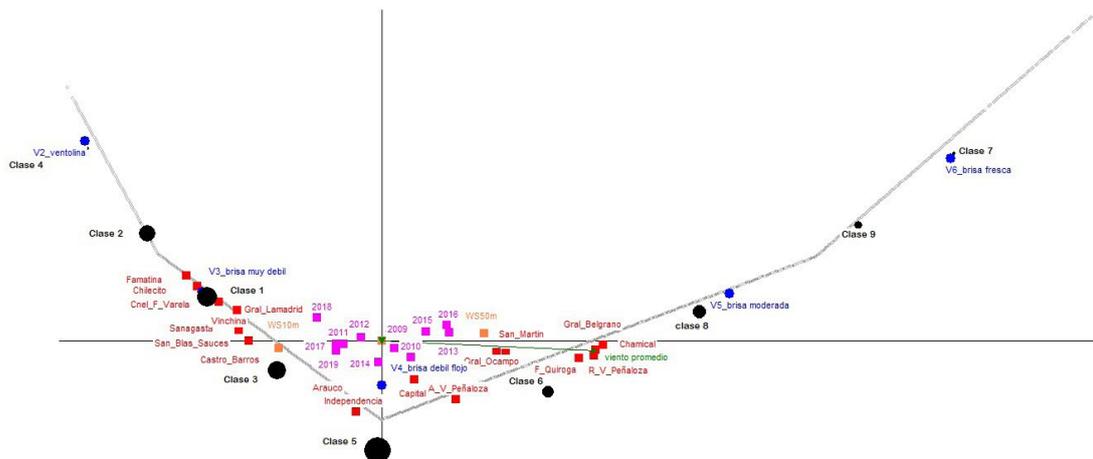


Figura 3. Cartografiado de datos de febrero para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa muy debil	183	18,4%
clase 2	ventolina y brisa débil	141	14,3%
clase 3	brisa débil/débil flojo	161	16,3%
clase 4	ventolina	2	0,2%
clase 5	brisa débil flojo	235	23,8%
clase 6	brisa moderada	95	9,6%

Tabla 2. Resultados para el mes de febrero para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Marzo

En el mes de marzo, el 88,33% de los datos están representados por los dos primeros factores. Los departamentos Famatina, Chilecito, San Blas de Los Sauces, Sanagasta, Coronel Felipe Varela y Castro Barros se caracterizan por contar con características que varían entre ventolinas y brisas débiles. En tanto, los departamentos Independencia, Arauco, Capital, Lamadrid y Ángel V. Peñaloza se caracterizan por tener vientos que varían desde brisas muy débiles y brisas flojas. Para el resto de los departamentos, el viento se caracteriza entre brisa floja y brisa fresca, como se observa en Tabla 3 y Figura 4.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa muy débil	394	39,8%
clase 2	brisa muy débil y ventolina	17	1,7%
clase 3	brisa débil floja	345	34,8%
clase 4	brisa moderada y brisa débil floja	122	12,3%
clase 5 y 6	brisa moderada	110	11,1%

Tabla 3. Resultados del mes de marzo para los departamentos de la Provincia de La Rioja Argentina (2010-2020)

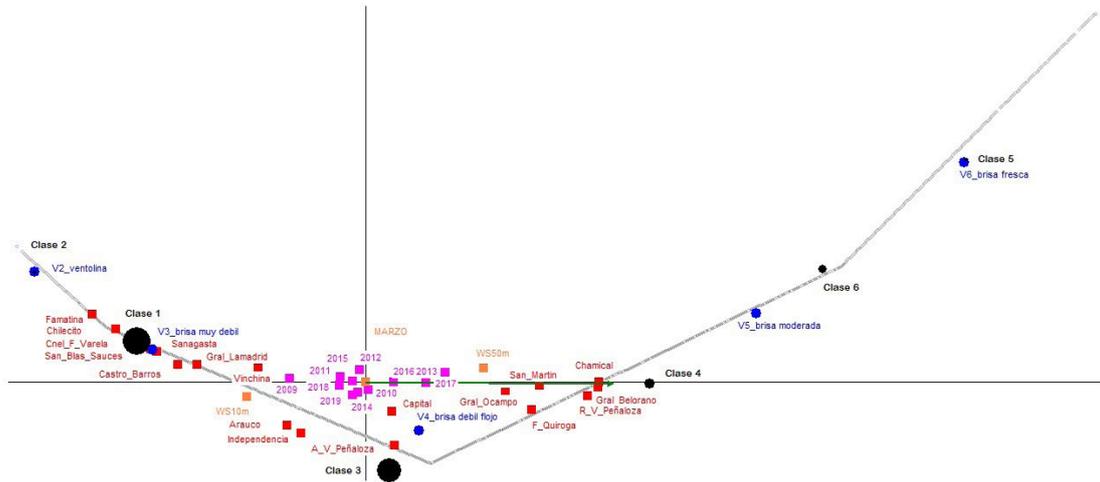


Figura 4. Cartografiado de datos de marzo para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Abril

Los datos se concentran en los tres primeros factores que representan el 81.6%, como se puede ver en la Tabla 4. Los departamentos Famatina, Chilecito, San Blas de Los Sauces, Sanagasta, Coronel Felipe Varela Castro Barros se caracterizan por tener ventolinas. Los departamentos General Ocampo, Facundo Quiroga, Belgrano, San Martín, Rosario Vera Peñaloza, Vinchina y Chamental se caracterizan por vientos entre brisa débil floja y brisa moderada como se puede observar en la Figura 5.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa débil flojo	331	33,5%
clase 2	brisa débil flojo y moderada	165	16,7%
clase 3	brisa moderada a fresca	83	8,4%
clase 4	brisa moderada a fresca	8	0,8%
clase 5	brisa fresca a brisa fuerte	2	0,2%
clase 6	brisa muy débil a ventolina	401	40,5%

Tabla 4. Resultados del mes de abril para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

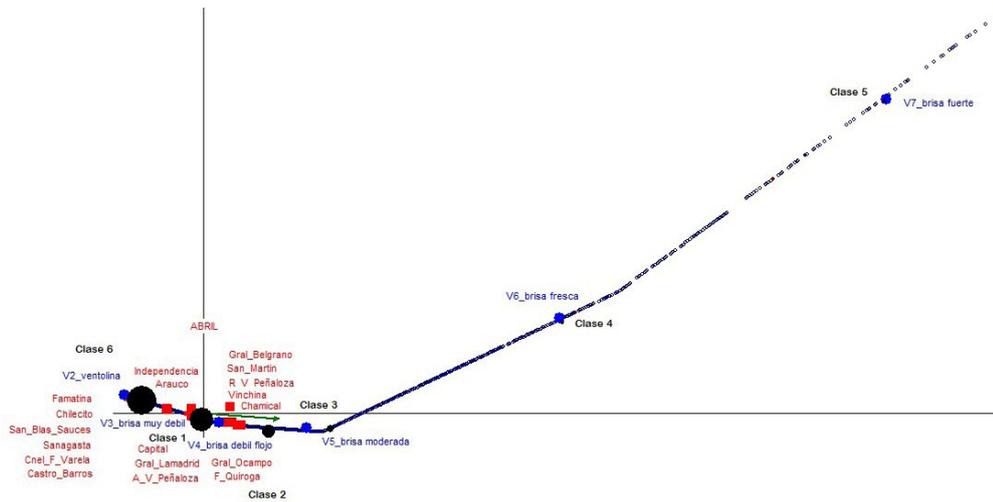


Figura 5. Cartografiado de datos de abril para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Mayo

Para el mes de mayo, los primeros tres factores representan el 79,58% de los datos, como se puede ver en la Tabla 5.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa muy débil	261	26,4%
clase 2	ventolina y brisa débil	246	24,8%
clase 3	brisa débil floja	212	21,5%
clase 4	brisa débil y moderada	147	14,9%
clase 5	brisa moderada y fresca	86	8,7%
clase 6	brisa fresca	32	3,3%

Tabla 5. Resultados del mes de mayo para los departamentos de La Rioja, Argentina (2010-2020).

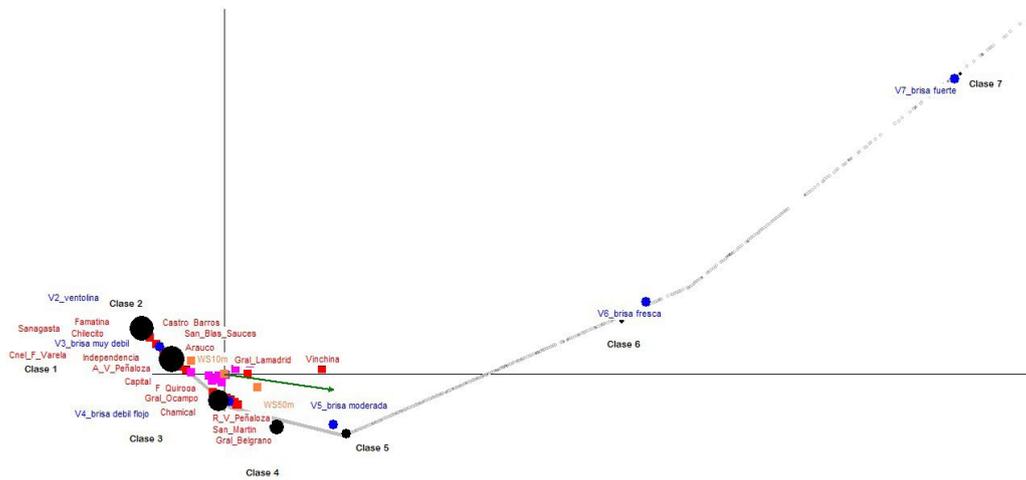


Figura 6. Cartografiado de datos de mayo para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Los departamentos Famatina, Chilecito, Sanagasta, Coronel Felipe Varela, Castro Barros y San Blas de los Sauces se caracterizan por ventolinas y brisas muy débiles. Los departamentos Independencia, Ángel Vicente Peñaloza, Capital y Arauco se caracterizan por vientos entre brisa muy débil y brisa débil floja.

Los departamentos Juan Facundo Quiroga, General Ocampo y Chamental se caracterizan por vientos denominados brisa débil floja. Los departamentos Rosario Vera Peñaloza, San Martín, General Belgrano y General Lamadrid se caracterizan por tener vientos entre una brisa débil floja y una brisa moderada. El departamento Vinchina se caracteriza por tener viento de entre brisa moderada a brisa fuerte, como se puede ver en la Figura 6.

Junio

Para el mes de junio, los primeros tres factores representan el 80% de los datos.

Los departamentos San Blas de los Sauces, Castro Barros, Sanagasta, Famatina, Chilecito, Independencia, Ángel Vicente Peñaloza, Arauco, Capital y Coronel Felipe Varela se caracterizan por tener ventolinas.

Los departamentos Juan Facundo Quiroga, Chamental, General Ocampo y General Belgrano se caracterizan por vientos brisas muy débiles, como se puede ver la Tabla 6 y Figura 7.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa muy débil	246	25%
clase 2	ventolina	305	31%
clase 3	brisa débil floja	69	7%
clase 4	moderada	276	28%
clase 5	brisa moderada y fresca	10	1%
clase 6	brisa fresca	79	8%

Tabla 6. Resultados del mes de junio para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

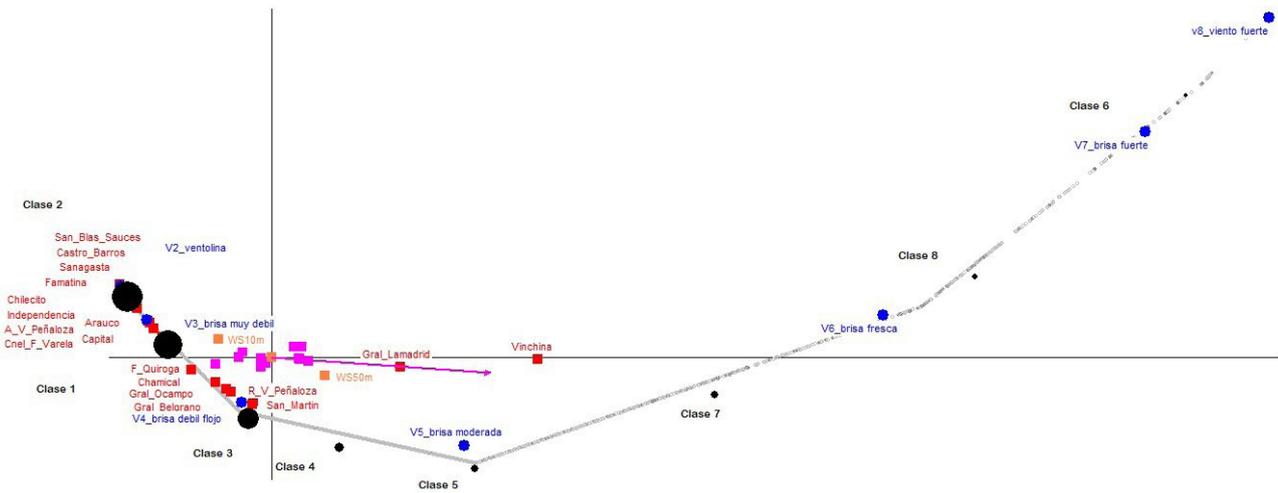


Figura 7. Cartografiado de datos de junio para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Los departamentos Rosario Vera Peñaloza y San Martín se caracterizan por tener vientos de tipo brisa débil flojo. Los vientos del departamento General Lamadrid se caracterizan por poseer una brisa entre débil floja y moderada.

El departamento Vinchina se caracteriza por tener vientos entre brisas moderadas y brisas frescas.

Julio

Los departamentos Chilecito, Famatina, Sanagasta, Castro Barros, Felipe Varela, Ángel Vicente Peñaloza, San Blas de los Sauces, e Independencia se caracterizan por tener vientos de tipo ventolina. En los departamentos Capital y Arauco, los vientos predominantes son de tipo brisa muy débil. El departamento Vinchina se caracteriza por vientos entre brisas moderadas a vientos muy fuertes, como se puede ver en la Tabla 7 y Figura 8.

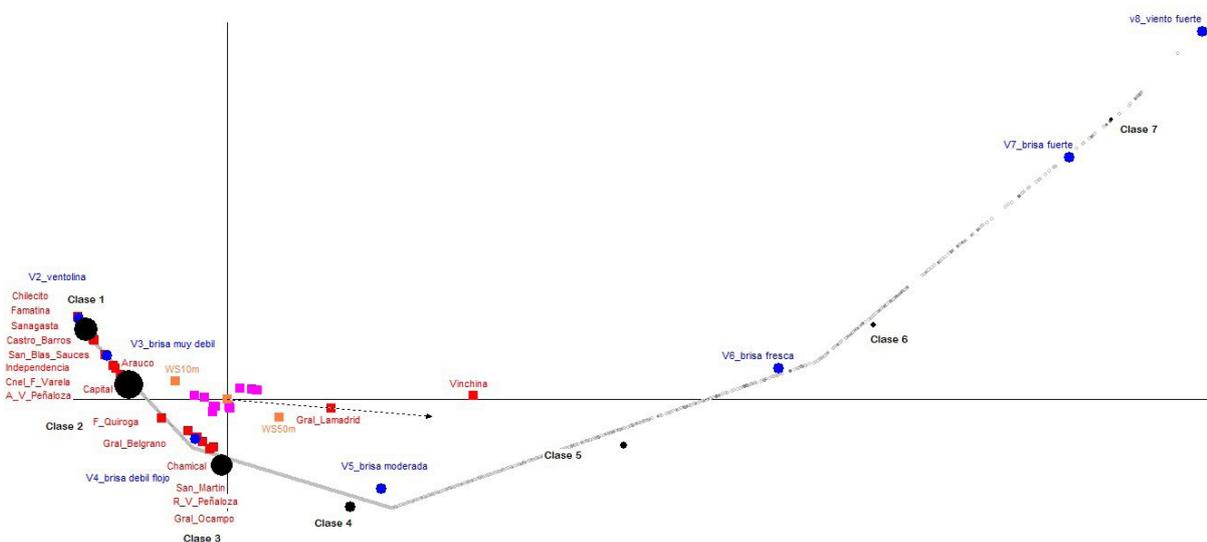


Figura 8. Cartografiado de datos de julio para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020)

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	ventolina y brisa muy débil	249	25,1%
clase 2	brisa débil a débil flojo	312	31,6%
clase 3	brisa débil a moderada	225	22,8%
clase 4	brisa moderada	107	10,8%
clase 5	moderada a fresca	45	4,6%
clase 6	fresca a viento fuerte	38	3,9%

Tabla 7. Resultados del mes de julio para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Agosto

Los tres primeros factores acumulan el 77.53% de los datos, como se puede ver en la Tabla 8. Los departamentos Chilecito, Famatina, Sanagasta, Castro Barros, Felipe Varela, Ángel Vicente Peñaloza, San Blas de los Sauces, e Independencia se caracterizan por ventolinas. Los departamentos Capital, Arauco y Coronel. Felipe Varela con vientos entre brisa débil y brisa débil floja. Los departamentos San Martín, Rosario Vera Peñaloza y General Lamadrid se caracterizan por vientos entre brisas flojas y brisas moderadas. El departamento Vinchina se distingue por vientos de entre brisas moderadas a vientos muy fuertes, ver Figura 9.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa débil flojo	257	26,0%
clase 2	brisa muy débil a brisa floja	239	24,1%
clase 3	ventolina	277	28,0%
clase 4	brisa débil a brisa moderada	77	7,8%
clase 5	brisa moderada	99	10,0%

Tabla 8. Resultados del mes de agosto para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

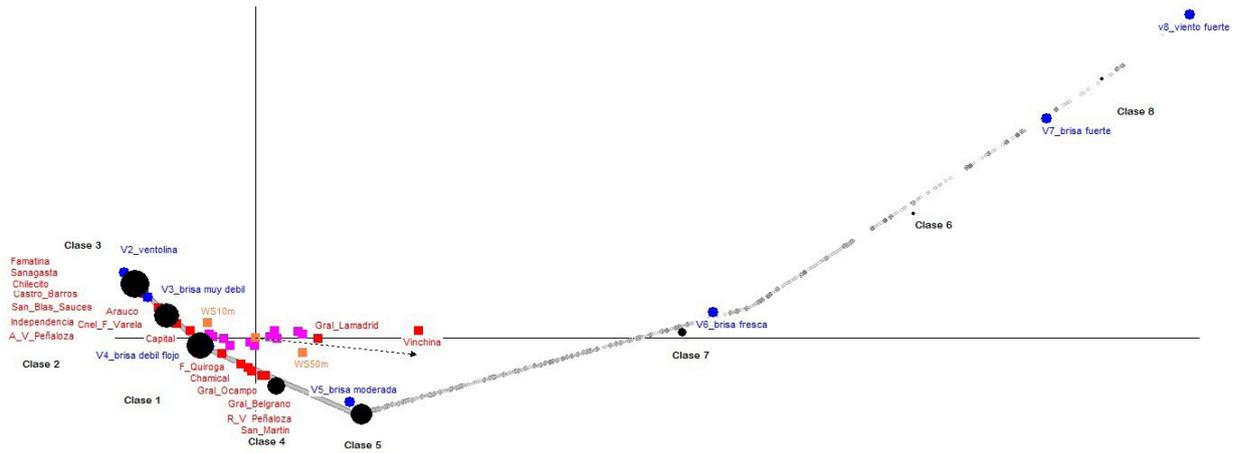


Figura 9. Cartografiado de datos de agosto para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Septiembre

Los primeros tres factores acumulan el 78.35 en 78.35% de los datos. Los Departamentos: Juan Facundo Quiroga, Capital y General Ocampo se caracterizan por vientos tipo brisa débil floja.

Los Departamentos Rosario Vera Peñaloza, General Belgrano, San Martín y Chamical se caracterizan por vientos tipo brisa moderada y brisa débil floja.

En tanto, San Blas de los Sauces, Castro Barros, Independencia y Ángel Vicente Peñaloza se caracterizan por vientos entre brisas débiles y flojas.

Los Departamentos Famatina, Chilecito y Sanagasta caracterizan por ser un viento entre ventolina y brisa débil. Vinchina y General Lamadrid se destacan por vientos entre brisas moderadas y vientos fuertes, como se puede ver en la Tabla 9 y “Figura 10”.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	débil flojo	268	27,1%
clase 2	débil flojo y moderado	138	13,9%
clase 3	brisa débil y brisa débil flojo	177	17,8%
clase 4	ventolinas y brisas débiles	138	14,0%
clase 5	brisa moderada	205	20.8
clase 6	de moderado a vientos fuertes	64	6.5%

Tabla 9. Resultados mes de septiembre para los departamentos de La Provincia de la Rioja, Argentina (2010-2020)

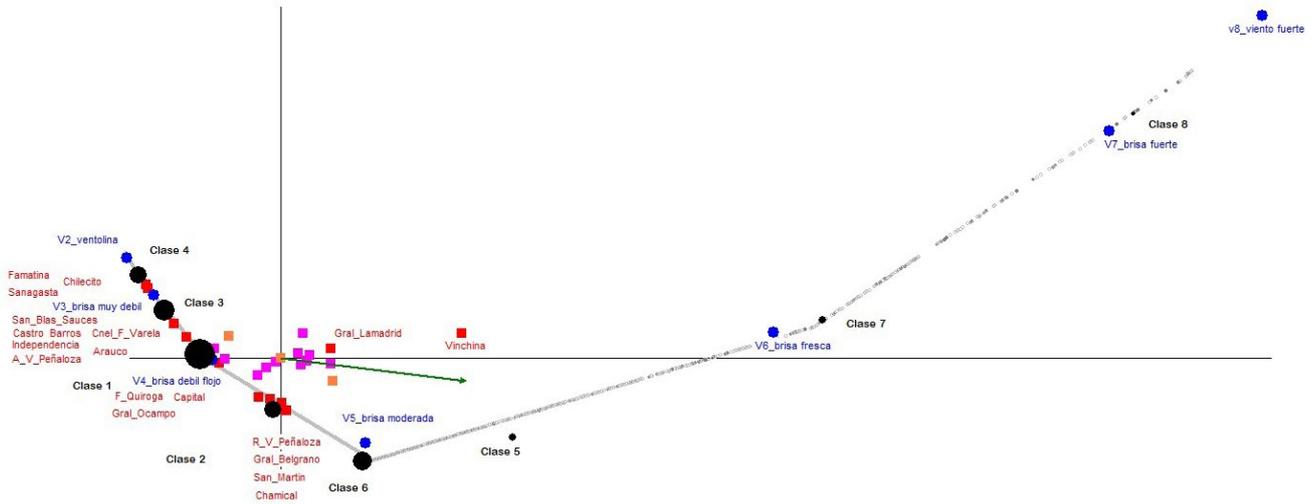


Figura 10. Cartografiado de datos de septiembre para los departamentos de la Provincia La Rioja, Argentina (2010-2020).

Octubre

Para el mes de octubre, los tres primeros factores concentran el 75.44% de los datos. Los departamentos Chilecito, Famatina, Sanagasta y Castro Barros se caracterizan entre ventolina y brisa muy débil.

Los departamentos Coronel Felipe Varela, San Blas de Los Sauces e Independencia se caracterizan por tener vientos entre brisa muy débil y una brisa débil flojo. A su vez, el departamento Arauco se caracteriza por tener vientos tipo brisa débil floja.

Los departamentos General Lamadrid, Ángel V. Peñaloza y Capital se caracterizan por tener vientos entre brisa débil flojo y brisa moderada.

Los departamentos Chamental, General Belgrano, Juan Facundo Quiroga, Rosario Vera Peñaloza, San Martín y General Ocampo se caracterizan por tener vientos tipo brisa moderada.

El departamento Vinchina se caracteriza por tener vientos de brisa moderada y viento fuerte, como se puede ver en la Tabla 10 y Figura 11.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa débil flojo	178	17,9%
clase 2 y 4	brisa débil	307	31%
clase 3	brisa floja y moderada	147	14,8%
clase 6 y 7	viento fuerte	48	4,9
clase 8	brisa moderada a fresca	68	6,9%
clase 9 y 10	brisa moderada a fuerte	241	24,4%

Tabla 10. Resultados del mes de octubre para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

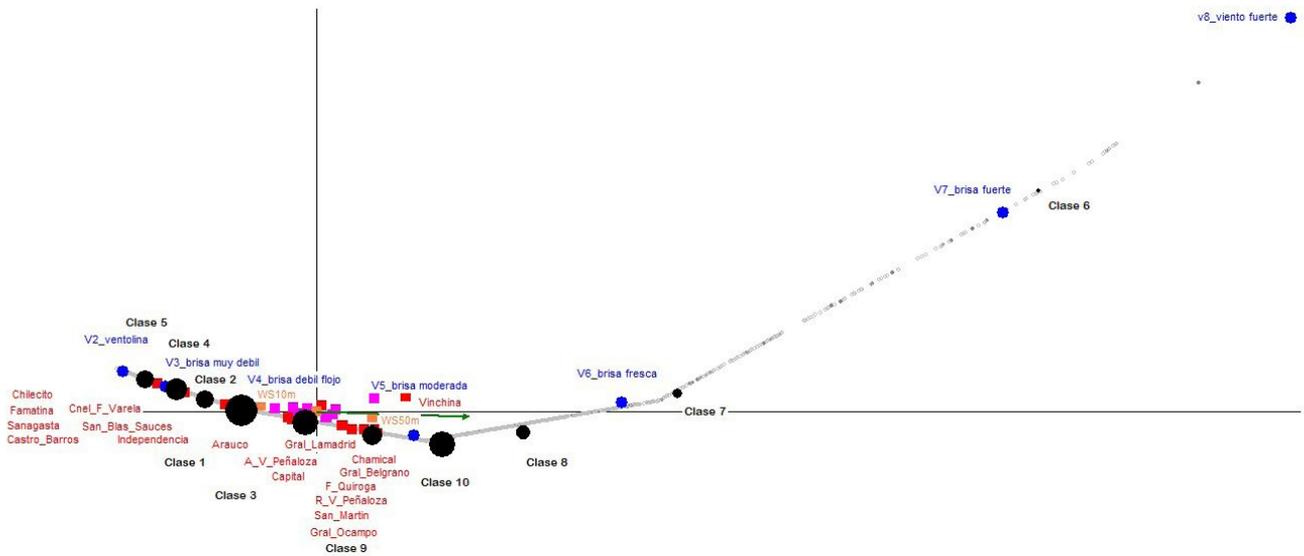


Figura 11. Cartografiado de datos de octubre para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Noviembre

Para el mes de noviembre, los tres primeros factores concentran el 86.17% de los datos. Los departamentos Chilecito, Famatina, Sanagasta y Coronel Felipe Varela se caracterizan por un viento brisa muy débil. Los departamentos Sanagasta y San Blas se caracterizan por tener vientos entre brisa muy débil y brisa floja.

Los departamentos Arauco, Capital, Independencia, Vinchina, y Angel V. Peñaloza se caracterizan por tener vientos tipo brisa débil floja. Los departamentos Chamental, General Belgrano, Juan Facundo Quiroga, Rosario Vera Peñaloza, San Martín y General Ocampo se caracterizan por tener vientos entre brisa fresca y moderada, como se puede ver en la Tabla 11 y Figura 12.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa floja	288	29,1%
clase 2	brisa débil y brisa flojo	157	15,9%
clase 3	brisa floja y brisa débil	150	15,2%
clase 5	brisa fresca	41	4,2%
clase 6	brisa fuerte	175	17,7%
clase 7	brisa moderada y brisa fresca	183	18,5%

Tabla 11. Resultados del mes de noviembre para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

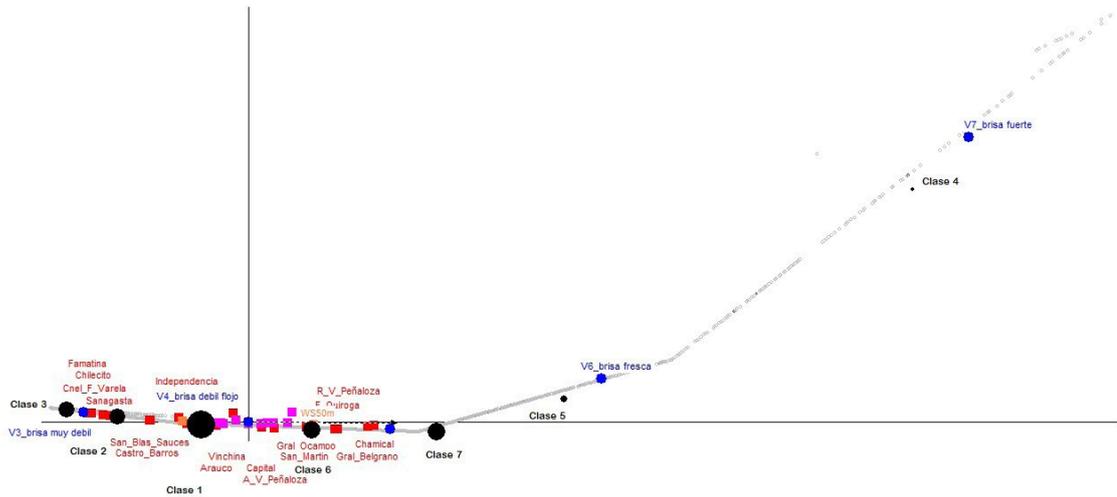


Figura 12. Cartografiado de datos de noviembre para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

Diciembre

Para el mes de diciembre, los tres primeros factores concentran el 86.17% de los datos. Los departamentos Arauco e Independencia los caracterizan el viento de tipo brisa débil floja. En los departamentos Capital, Ángel V. Peñaloza, Arauco, San Martín y General Ocampo se caracterizan por vientos de tipo brisa floja y moderada. Los departamentos Sanagasta, San Blas, Coronel. Felipe Varela, Castro Barros, Vinchina y General Lamadrid se caracterizan por tener vientos brisa muy débil y brisa floja. Los departamentos Chilecito, Famatina, se caracterizan por un viento brisa muy débil. Los departamentos Chamental, General Belgrano, Juan Facundo Quiroga y Rosario Vera Peñaloza se caracterizan por tener vientos tipo brisa moderada, como se puede ver en la Tabla 12 y Figura 13.

Clase	Viento predominante	Casos	% del total
clase 1	brisa débil floja	274	27,7%
clase 2	brisa floja y brisa moderada	179	18,1%
clase 3	brisa floja y brisa débil	196	19,8%
clase 4	brisa muy débil	208	21,0%
clase 5	brisa moderada	69	7,0%
clase 6	brisa fresca	63	6,4%

Tabla 12. Resultados del mes de diciembre para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

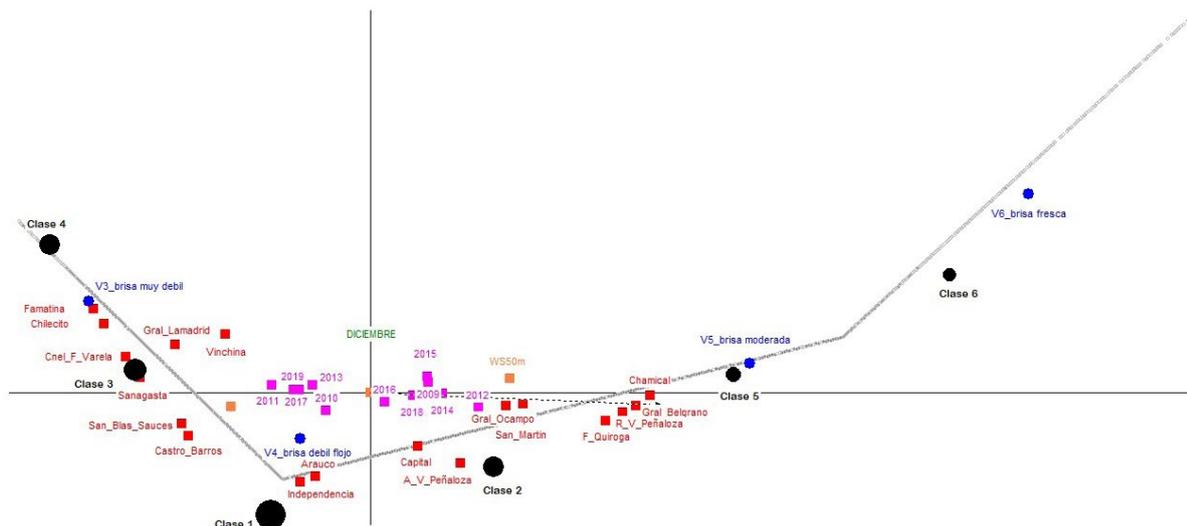


Figura 13. Cartografiado de datos de diciembre para los departamentos de la Provincia de La Rioja, Argentina (2010-2020).

A continuación, se muestra el mapeo de datos mediante interpolación de kriging en función de la ubicación geográfica para la Provincia de La Rioja. Como se puede ver en la Figura 14, las velocidades promedio para cada mes se graficaron en base a los datos históricos del periodo 2010-2020.

Como se puede observar, entre los meses de junio a noviembre la velocidad de los vientos se incrementa en la precordillera. Entre diciembre y mayo las velocidades se reducen considerablemente.

Conclusiones

El objetivo fue identificar cuáles son los departamentos de la Provincia de La Rioja con mayores velocidades de viento promedio durante el periodo 2010-2020. A través de la lógica difusa y por medio del análisis de correspondencias simples, se pudo determinar que los departamentos con mayores velocidades de viento en el período considerado fueron:

1. Vinchina y General Lamadrid, donde hay una predominancia de vientos de tipo brisa fresca y fuerte (entre 7,8 m/s y 13,7 m/s);
2. Chamental, General Belgrano, Juan Facundo Quiroga, San Martín, Gral. Ocampo y Rosario Vera Peñaloza (departamentos del sur de la provincia), donde hay predominancia de vientos de tipo brisa moderada (5,5 m/s y 7,9 m/s);
3. Famatina, Chilecito, Coronel Felipe Varela, Sanagasta, Castro Barros y San Blas de los Sauces tienen similares perfiles de viento entre tipo ventolina y brisa muy débil (vientos entre 1.6 m/s y 5.4 m/s).

Se evaluaron las variaciones entre los promedios mensuales e interanuales para los distintos departamentos de la Provincia de La Rioja entre 2010 y 2020. Durante el periodo estudiado, el análisis de los datos revela que no hay grandes variaciones interanuales de los vientos para los departamentos de la Provincia de La Rioja, ya que la concentración de puntos está muy cerca de la intersección de los ejes.

En el periodo que va desde diciembre a febrero, se puede observar que hay incrementos en las velocidades de los vientos en toda la provincia. Todos los resultados del AFCS tienen una validación estadística del 95%.

Para validar el método, los resultados se compararon a través de una interpolación de kriging y los resultados son similares. El comportamiento de la velocidad del viento es estable interanualmente y no hay grandes variaciones entre los meses estudiados.

Los resultados del presente estudio permiten la caracterización del recurso eólico en la provincia en función de las velocidades y tipos de viento, utilizando datos tanto de tipo cualitativos (AFCS) como cuantitativos (Kriging). Esto posibilita generar herramientas, como en este caso, de mapas de velocidades promedio que, en la práctica, permiten determinar áreas potenciales y posibles equipos para utilizar en la generación de energía eléctrica. A su vez, permite evaluar qué tecnologías (off grid y on grid) se pueden usar en función de los vientos existentes, como así también la extracción de información para unir al sistema interconectado SADI y así ubicar áreas de mejoramiento de infraestructura en el caso de la construcción de parques eólicos.

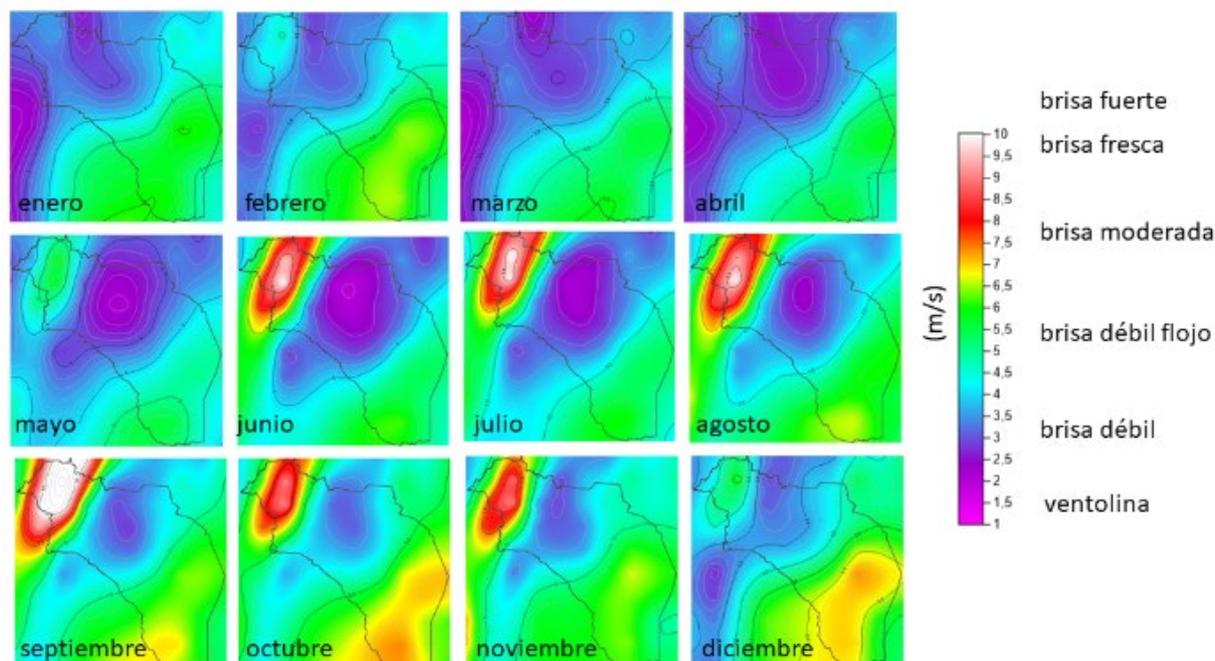


Figura 14. Mapas generados por interpolación de kriging para la Provincia de La Rioja.

Referencias

Cammaesa, (2020) Potencia instalada en Energías renovables. Disponible en <https://despachorenovables.cammaesa.com/potencia-instalada/> Consultado 18/9/2021

Centro de Procesamiento, archivo y distribución de datos de ciencias de la Tierra en el Centro de Investigación Langley de la NASA. Base de datos disponible en <https://eosweb.larc.nasa.gov>

Cesari, M.I., Gámbaro, A., Césari, R. (2017) Metodología de análisis de datos imprecisos con lógica difusa. Revista Argentina de Ingeniería - Año 5 - Volumen 9 - Mayo de 2017. Disponible en https://radi.org.ar/wp-content/uploads/2017/08/RA_DI-9-MAYO-DE-2017-WEB-13.pdf

Clementi, L.V. (2017) Energía eólica y territorios en Argentina. Proyectos en el Sur de la Provincia de Buenos Aires entre finales del siglo XX y principios del siglo XXI. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca Argentina

IBM (2022) Análisis de correspondencias disponible en <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=application-correspondence-analysis>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2014) Guía Metodológica: Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales / IICA – San José, C.R.: IICA, 2014. ISBN: 978-92-9248-548-1

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2014) Guía Metodológica: Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales / IICA – San José, C.R.: IICA, 2014. ISBN: 978-92-9248-548-1

Ley 26.190 (2015) Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica.

López-Roldán, P. y Fachelli, S. (2015) Análisis de correspondencias Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en <https://pagines.uab.cat/plopez/sites/pagines.uab.cat/plopez/files/ACO-UBA.pdf>

Mattio, H.F. y Jones, R.D. (2011) Proyecto Parque Eólico “Vientos de Arauco”. CFI 1º Ed. Buenos Aires. Disponible en: <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/sites/2/2016/04/49099.pdf>

Ministerio de Planeamiento e Industria (2019) Ods Informe Provincial La Rioja-2019 Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_de_gestion_2019_la_rioja.pdf

Morcillo, M. (2011) Lógica Difusa Una introducción práctica. Disponible en https://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf

NASA - National Aeronautics and Space Administration (2020) Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER). Disponible en <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Organización de las Naciones Unidas (2018) La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf