

ZONAS POTENCIALES PARA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE UN PARQUE EÓLICO EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA APLICANDO LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TIG).

UNA PROPUESTA GEOGRAFICA

RONALDO VERBEL ARRIETA.

Estudiante del Departamento de Geografía y Medio Ambiente

RESUMEN

El siguiente artículo tiene como objetivo identificar zonas geopotenciales para la localización de un parque eólico en el departamento de Córdoba, se aplicó una metodología que implica el uso de las tecnologías de información geográfica (TIG) y el método de análisis multicriterio, soportado en la técnica de la lógica booleana. La selección del lugar óptimo se logró a través del análisis de variables fundamentales para elaborar el proyecto del parque, se clasificaron como aptitudes y restricciones dependiendo de cuál sea el criterio. Posteriormente se evaluaron dichos criterios calificándolos y asignándoles pesos a cada uno de ellos, finalmente se realiza una sumatoria de pesos ponderados en un proceso de álgebra de mapas. Los resultados dieron en total 47 zonas geopotenciales para la elaboración del proyecto, las cuales se encuentran distribuidas al norte y noroeste del departamento de Córdoba, más exactamente a lo largo de la zona costanera, comprendida por 8 municipios potenciales. La sumatoria de las áreas cuenta con una extensión de 1, 607,428 hectáreas potenciales para la ubicación del parque eólico.

PALABRAS CLAVES: Energía eólica, localización, tecnologías de la información geográfica, análisis de variables multicriterio, departamento de Córdoba.

ABSTRACT.

The objective of the article is to identify geopotential zones suitable for the location of a wind farm in the department of Córdoba. To achieve the proposed objective, a methodology was implemented using geographic information technologies (TIG) and the multi-criteria analysis method. Throughout the writing, conceptual and theoretical bases on the processes carried out are denoted, as well as how they were executed and processed to arrive at the results obtained. The selection of the optimal site was achieved through the analysis of the variables identified for the installation of a wind farm, they were classified as skills and restrictions depending on the criteria. Subsequently, these criteria were evaluated, qualifying the ranges and assigning weights to each of them 0 for least significant and 1 for the most important, finally a summation of weighted weights is made in a map algebra process, among which we identified the optimal places. The results gave a total of 47 geopotential zones for the elaboration of the project, they are distributed to the north and northwest of the department of Córdoba more exactly along the coastal area, comprised of 8 potential municipalities, one of them having up to 4,699 potential hectares for the location of the wind farm.

KEY WORDS: Wind farm, Multi-criteria analysis, information technologies, geographies, Córdoba department.

INTRODUCCIÓN.

A lo largo de la historia, la humanidad ha estado sometida a la toma de decisiones para cualquier circunstancia presentada por cambios en su entorno, cada buena decisión tomada es fundamental a la hora de generar un proyecto determinado. El eje central de esta investigación es identificar por medio del análisis de variables, zonas estratégicas para la elaboración de un parque eólico soportado en Tecnologías de Información Geográfica (TIG), las cuales ofrecen la posibilidad de realizar diferentes geo-procesos con datos geográficos e implementando metodologías para la selección ideal de una superficie optima dentro del área de estudio.

La actual condición deficiente, de la cual se genera una de las polémicas actuales, es el mal manejo del fluido eléctrico en la región Caribe Colombiana. La inestabilidad de la prestación de servicio de energía eléctrica y la oportunidad de aprovechar la potencialidad del uso de recursos naturales renovables específicamente del potencial eólico en Colombia, han llevado consigo la fundamentación de ideas novedosas conduciendo a una temática de las energías no convencionales del ahorro y eficiencia energética. En Colombia se identificaron varios recursos energéticos renovables, esto trajo consigo que entidades como la UPME e IDEAM elaboraran en los últimos años, el Atlas de Radiación Solar de Colombia y el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, que abrieron cavidad a las investigaciones sobre las energías no convencionales.

Se ha despertado el interés en promover la implementación de las energías renovables, teniendo en cuenta que la solicitud de energía eléctrica en Colombia ha tenido un aumento en los últimos tiempos y es de esperar que dicha demanda energética aumente en los próximos años como consecuencia del crecimiento demográfico y el desarrollo económico del país. Por lo que es muy importante que el gobierno nacional

ponga en marcha planes estratégicos que garanticen o aseguren el suministro de energía para el país. Además, se debe promover la búsqueda de opciones que incentiven la generación de energía por múltiples fuentes, esto con la intención de no depender de un único recurso generador de energía. Chaparro (2017), en su escrito *Identificación del lugar óptimo de instalación de un parque eólico en el departamento del atlántico* afirma que “del total de la capacidad de energías eléctrica por recurso natural instalada efectiva del país, las plantas hidráulicas generan un 67,9%, seguidas de las térmicas por un 31,5%, el 0.6% restante provienen del potencial eólico”.

La inestabilidad climática presentada en el país, muestra dos épocas, lluviosa y de sequía, ambas se pueden prolongar por mucho más tiempo de lo pronosticado y la época de sequía afecta drásticamente a la recolección de energía eléctrica con el poder hídrico, debido que la ola de calor por las altas temperaturas, seca las principales fuentes hídricas, bajando la productividad del embalse. Alejandro Castañeda (2015), afirma que cada vez que aparece el fenómeno de El Niño y con él la sequía que reduce el nivel de los embalses poniendo a prueba el sistema eléctrico nacional.

Con esto se empezaron a implementar las energías renovables en todo el país, teniendo en cuenta la identificación de zonas optimas por medio de las Tecnología De Información Geográfica. Con ello muchos proyectos se pusieron en marcha en la última década. La participación de las energías renovables en materia de parque eólicos en el país tiene como epicentro el parque eólico *Jepirachi* ubicado en el departamento de La Guajira con su entrada en operación en abril de 2004 por la empresa públicas de Medellín (EPM) el cual no solo ayudad a la recolección de energías renovables, también dinamiza el turismos en la región, visitado por ser una ideas novedosas de implementar energías limpias en un país biodiverso, un modelo a seguir en todos los departamento que cuenten con las condiciones parar su ejecución.

Hay que entender que un parque eólico es un conjunto de aerogeneradores congregados en una superficie específica, “Para que un aerogenerador produzca electricidad, es necesario que el viento tenga una velocidad de 6 a 7 metros por segundo” (Chaparro, 2017, pág. 12); Con base a lo anterior, se busca conocer si el departamento de Córdoba cuenta con todas las condiciones descritas en los criterios técnicos, bióticos, abióticos y geopolíticos, esta construcción genera un alto significado para el departamento en la temática ambiental.

AREA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolla a nivel departamental, tomando a Córdoba como área de estudio el cual se encuentra ubicado al norte de Colombia en la región Caribe, albergado por 30 municipios con una extensión de 23,980 km².

La fisiografía del área de estudio presenta zonas planas, costaneras y montañosas. Las zonas planas representan la mayoría de la superficie total del departamento y está formada por la gran llanura del Caribe. Esta zona posee elevaciones que no superan los 100 msnm. La (Gobernacion de Cordoba , 2015) estableció que las zonas costaneras cordobesa se extiende desde la punta de Arboletes en límites con Antioquia hasta Punta de Piedra en límites con Sucre, sobre el golfo de Morrosquillo, recorriendo los municipios de Los Córdoba, Puerto Escondido, San Bernardo del Viento, Moñitos y San Antero. En total son 124 km de costa y 6 km en promedio de anchura y por ultimo Está conformada por ramificaciones de la cordillera occidental.

El área de estudio en la clasificación del climas según él (IDAM, 2015), denota que “Al norte de Montería y Sahagún, el clima es de tipo cálido semiárido; entre los municipios de Montelíbano y Pueblo Nuevo posee un clima cálido semihúmedo, y hacia el sur aparecen climas cálidos húmedos e incluso climas templados semihúmedo”.



Figura N° 1: Localización del departamento de Córdoba-Colombia
 Diseño: Elaboración propia.

En el caso de las variables precipitaciones y velocidad del viento, se tiene en la primera un patrón muy variado en la distribución de las lluvias medias anuales; y en la segunda según (IDAM, 2015), los vientos predominantes con rangos entre los 2 o 8 metros por segundo. El departamento de Córdoba esta regionalizado en la temática de velocidad del viento, los rangos estipulados denotan que el departamento obtiene la máxima velocidad en la zona costanera debido a la mayor fuerza al aumentar las

diferencias térmicas de ambos accidentes geográficos. Ver en la **Figura N°2**.

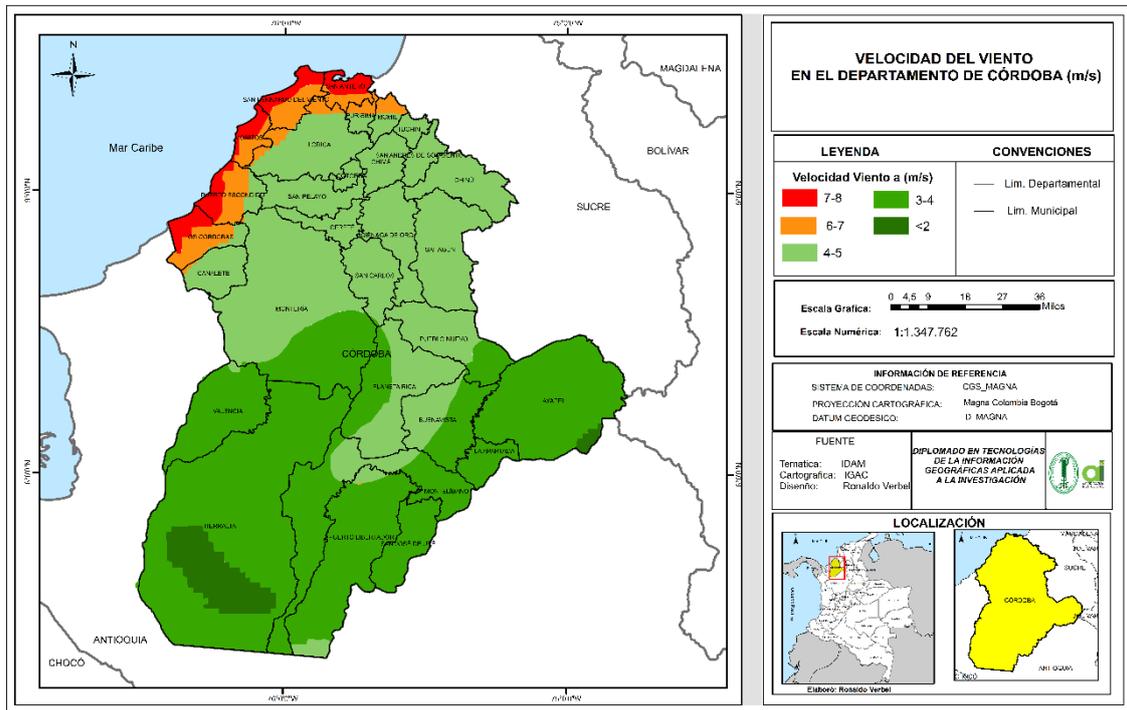


Figura N°2: Velocidad del viento en el departamento de Córdoba.
Diseño: Elaboración propia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación es de tipo aplicada debido a que plantea una solución al problema de la búsqueda de alternativas sostenibles para la producción de energía eléctrica, así mismo logra unir mecanismos y estrategias que puedan lograr resultados concretos a la hora de tomar decisiones que favorezcan a el medio ambiente. Esta misma cuenta con un enfoque mixto ya que sus capas de información vierten datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio. En la **Figura N°3** se evidencia el esquema metodológico el cual contiene las fases de la investigación que se denotan posteriormente:

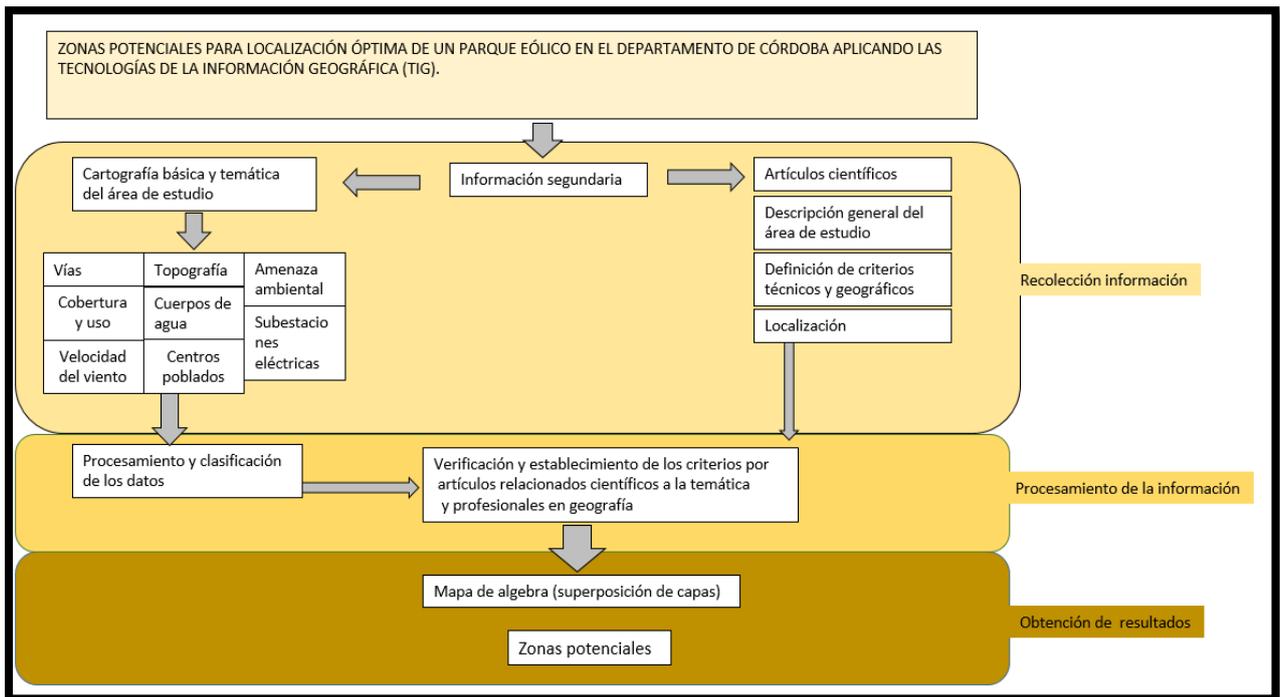


Figura N°3: Esquema metodológico. Diseño: Elaboración propia.

Fase 1: Recolección de información:

En este estudio se recolectaron de múltiples datos espaciales de carácter secundarios, los cuales son requeridos por los condicionantes o criterios para la identificación de zonas geopotenciales de un parque eólico. A continuación en la **Tabla N°1**, Se identifican los datos geográficos recolectados con su respectiva fuente

CAPAS	Información	Fuente
Vías	Cartografía base, escala 1:100.000	IGAC
Cobertura y uso	Coberturas de la tierra del departamento de Córdoba, escala 1:100.000	IGAC

Cuerpos de agua	Cartografía base, escala 1:100.000	Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC
Topografía	Modelo digital de elevación e imagen satelital del departamento de Córdoba	ALOS PALSAR VERTEX
Centros poblados	Cartografía base, escala 1:100.000	IGAC
Velocidad del viento	Cartografía sobre la velocidad del departamento de Cordoba.	IDEAN
Subestaciones eléctricas	Cartografía base, escala 1:100.000	IGAC, SIAC
Amenaza ambiental	Cartografía base, escala 1:100.000	IGAC

Tabla N° 1: Fuente de información de los datos Diseño: Elaboración propia.

Fase 2: Procesamiento de la información

Esta fase comprende todo el procesamiento de la información del área de estudio, las cuales se desarrollarán para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en este trabajo. Las definiciones de los criterios fue producto de la revisión bibliográfica sobre proyectos de parque eólicos y modificados por ayuda de expertos profesionales en geografía para desarrollarlos a la escala departamental de Córdoba, esto brinda unos resultados más confiables y análisis más profundo Ver **Tabla N°2**.

CAPAS	CRITERIO ESTABLECIDO EN DISTANCIA	CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS	ESCALA DE MEDIDA
Vías	Mayores a 100 m	0-100m	0
		100-200m	1
		200-300m	1
		300-400m	1
		400- 54.300,03125m	1

Pendientes	Menores a 12%	0-12%	1
		12-24%	0
		24-36%	0
		36-48%	0
		48-100%	0
Cuerpos de agua	Mayores a 30 m	0-30m	0
		30-60m	1
		60-120	1
		120-180m	1
		180- 64.136,20703m	1
Centros poblados	Mayores a 500 m	0-500m	0
		500-1000m	1
		1000-1500m	1
		1500-2000m	1
		2000- 63.287,01172m	1
Subestaciones	Menores a 50km	0-50km	1
		50-100km	0
		100-150km	0
		150-200km	0
		200-1000km	0
Velocidad del viento	Velocidades Mayores o iguales de 6-7m/s	<2	0
		3-4	0
		4-5	0
		5-6	0
		6-7	1
		7-8	1
Amenaza ambiental	Excluir zonas	Excluir zonas en amenaza alta por cualquier evento ambiental	0
Cobertura y uso	Excluir zonas	-Áreas Prioritarias para la Conservación -Agrosilvícola con cultivos permanentes -Agrosilvopastoril con cultivos permanentes -Cultivos permanentes intensivos de clima cálido -Cultivos permanentes semi intensivos de clima cálido -Forestal de producción de clima cálido -Protección – producción -Forestal de protección -Zonas urbanas -Áreas de Protección Legal.	0

	Aprovechar zonas	<ul style="list-style-type: none"> -Agrosilvícola con cultivos transitorios -Agrosilvopastoril con cultivos transitorios -Cultivos transitorios intensivos de clima cálido -Pastoreo extensivo de clima cálido -Pastoreo semi intensivo de clima cálido - Silvopastoril - Cultivos transitorios semi intensivos de clima cálido 	1
--	------------------	--	---

Tabla N° 2: criterios y valoración del proceso en el EMC. Diseño: Elaboración propia.

Fase 3: Obtención de resultados

En esta fase se pone en marcha el cumplimiento de los criterios, las 7 capas de información secundarias cartográfica son procesadas en el software ArcGIS aplicando la metodología booleana para así identificar zonas geopotenciales aptas por cada capa de información para la localización de parque eólico en el departamento de Córdoba. Ver el modelo cartográfico en la **Figura N°4**. Posteriormente se ejecuta la superposición de las capas cartográficas mediante la herramienta **MAP ALGEBRA** del software ArcGIS, para la determinación de zonas aptas donde se puede llevar a cabo el proyecto del parque eólico, esta opción brinda la posibilidad de unir los resultados donde se hicieron valer los criterios establecidos en el procesamiento de la información, dando como resultado final las zonas óptimas.

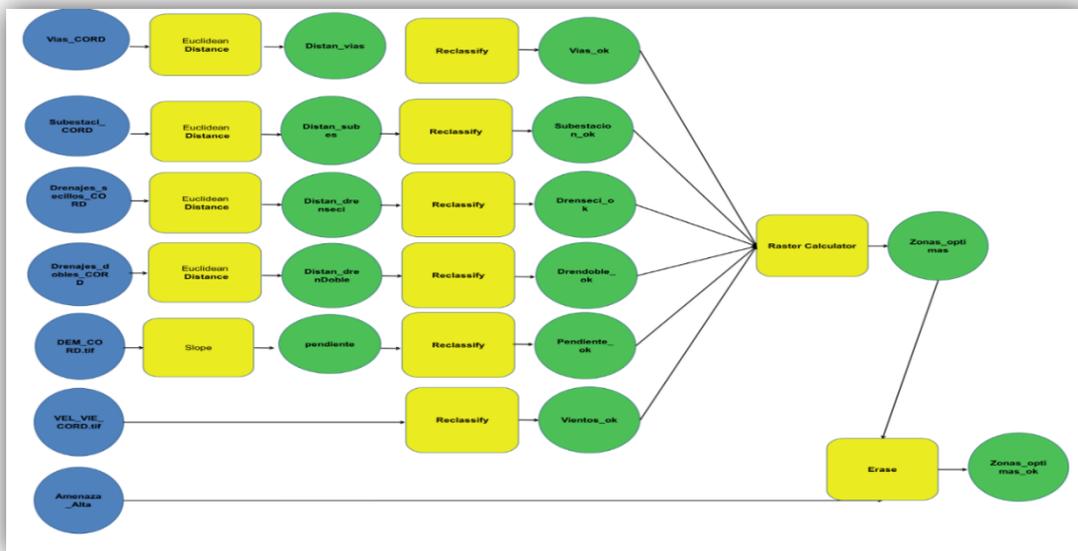


Figura N°4: modelo cartográfico para la localización de zonas óptimas. Diseño:

Elaboración propia.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Una vez aplicados todos los procesos necesarios en el modelamiento cartográfico, se logra una obtención muy satisfactoria en el departamento de Córdoba, en cuanto a zonas potenciales para la localización de un parque eólico. Con la ayuda de los artículos científicos relacionados y la opinión de profesionales en geografía se logra la adecuación de criterios validados para así conseguir un resultado confiable y que se puedan analizar desde diferentes perspectivas. La escala de medida cuenta con dos valores los cuales son 1 y 0, donde 1 son las zonas aptas para ejecutar el proyecto del parque eólico y 0 las zonas donde no es viable implementar el proyecto Ver en la

Figura N°5.

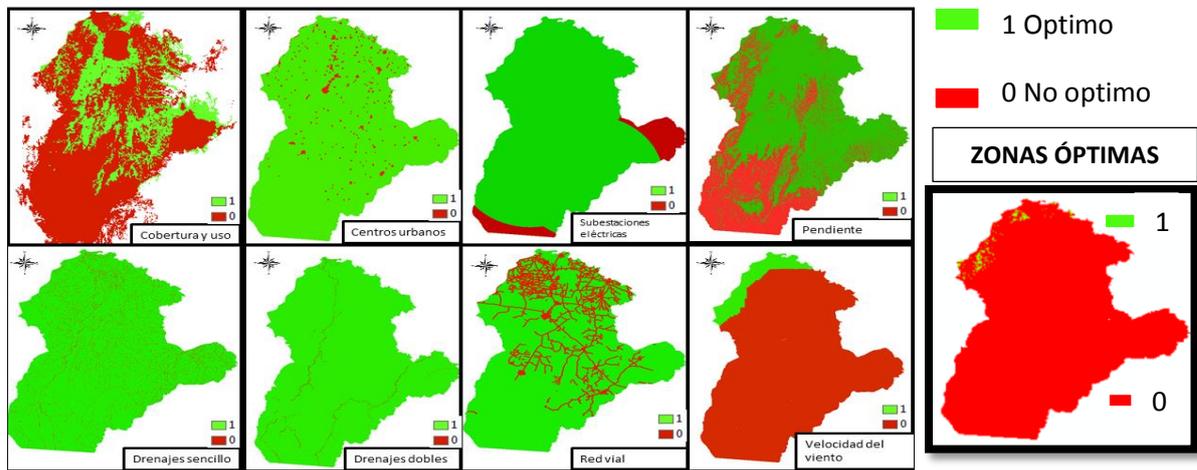


Figura N°5: *superposición de capas.* Diseño: Elaboración propia.

Posteriormente se le realizo un Erase con el mapa de amenaza alta para eliminar las zonas potenciales que se encuentre en dicha amenaza. Los resultados obtenidos de todos los geo-procesamientos de la información dan lugar a el cumplimiento del objetivo planteado para esta investigación.

En la **Figura N°6**, se evidencia las zonas potenciales para la localización de un parque eólico en el departamento de Córdoba. En total se encuartaran 47 zonas geopotenciales para la elaboración del proyecto, estas encuentran distribuidas al norte y noroeste del departamento de Córdoba más exactamente a lo largo de la zona costanera, las restricciones y aptitudes planteadas para el geo-procesamiento dan como zonas optimas aquellas que cumplen con todas las condiciones, el criterio de velocidad del viento fue el más determinante a la hora de identificar las zonas potenciales debido a que arrastro la ubicación de ellas a la región costanera por su potencial eólico , teniendo valores de velocidad del viento de 6-7 y 7-8 metros por segundo ver **Figura N°2**.

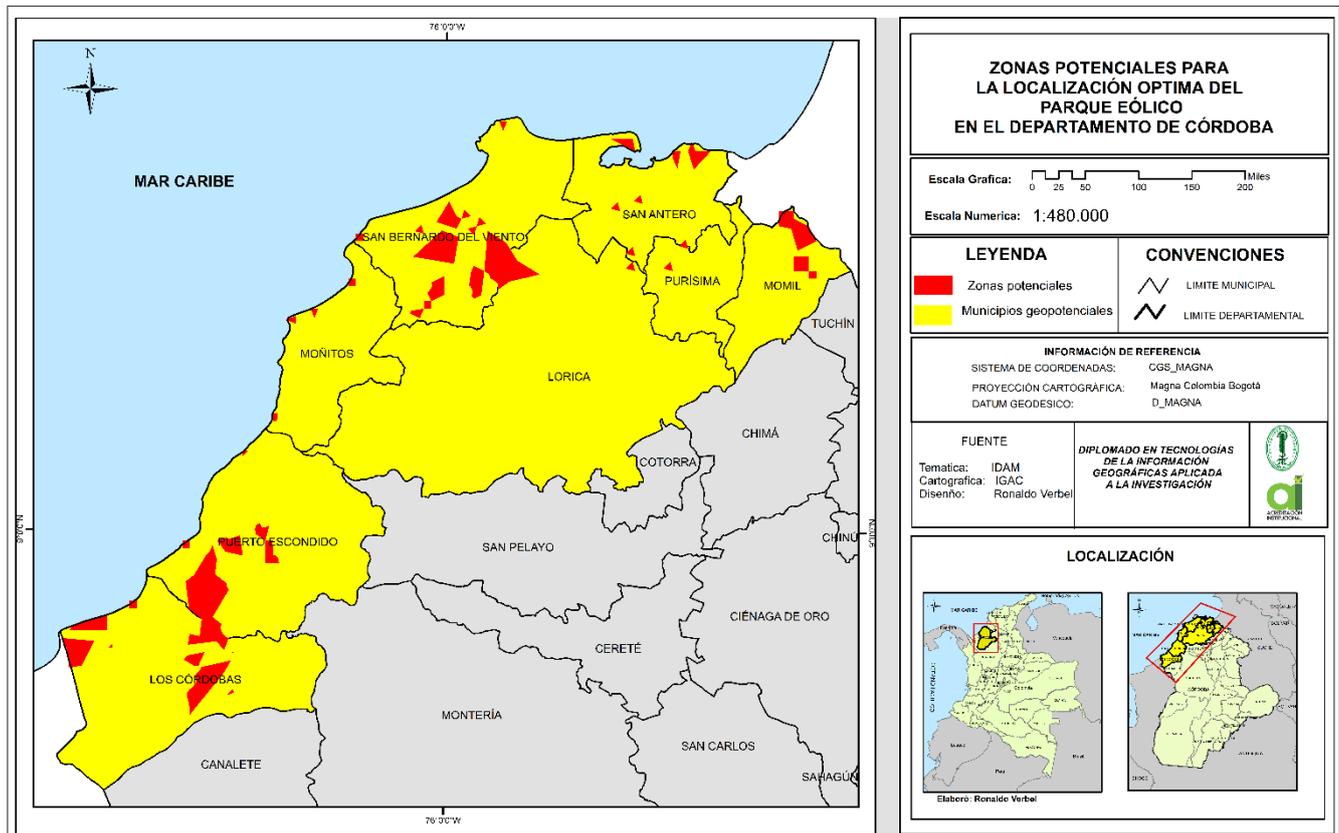


Figura N°6: Zonas potenciales para la localización óptima de un parque eólico en el departamento de Córdoba. Diseño: Elaboración propia.

De acuerdo a las restituciones y aptitudes empleadas en el geo-proceso, el departamento de Córdoba cuenta con 8 municipios potenciales para la localización del parque eólico en ellos casi todas las 47 zona se distribuyen a lo largo de los municipios costaneros excluyendo las 3 zonas del municipio de Lórica que es el único que no limita con el mar caribe; pero los criterios establecidos le brinda 3 zonas potenciales las culés cuentan con una extensión de 502 hectáreas potenciales, la sumatoria por hectáreas geopotenciales de todos los 8 municipios tiene como resultado 1,607,428 ha. Donde el municipio de San Bernardo del Viento es más beneficiado en materia de zonas óptimas. Esto logra una regionalización en materia de planificación regional debido que se encuentra un corredor departamental con alto potencial eólico que puede ser aprovechado para el buen uso del recurso eléctrico generado por el viento

en las distintas zonas rurales y urbanas de los departamentos potenciales. Ver en la

Tabla N°3.

MUNICIPIO	ZONAS POTENCIALES	HECTÁREAS POTENCIALES
LOS CÓRDOBAS	9	3,436
LORICA	3	502
PURÍSIMA	2	75
MOMIL	3	1,341
PUERTO ESCONDIDO	6	3,952
MOÑITOS	4	220
SAN BERNARDO DEL VIENTO	13	4,699
SAN ANTERO	7	797
8	47	1,607,428

Tabla N°3. Balance general por municipios potenciales. Diseño: Elaboración propia.

Posteriormente en la **Figura N°7** se evidencia la división en porcentaje de las hectáreas óptimas, teniendo el municipio de purísima el menor porcentaje en 1% con 75 hectáreas todo lo contrario con el municipio de San Bernardo del Viento el cual es el municipio con más hectáreas óptimas que cuenta con un rango de 31% equiválete a

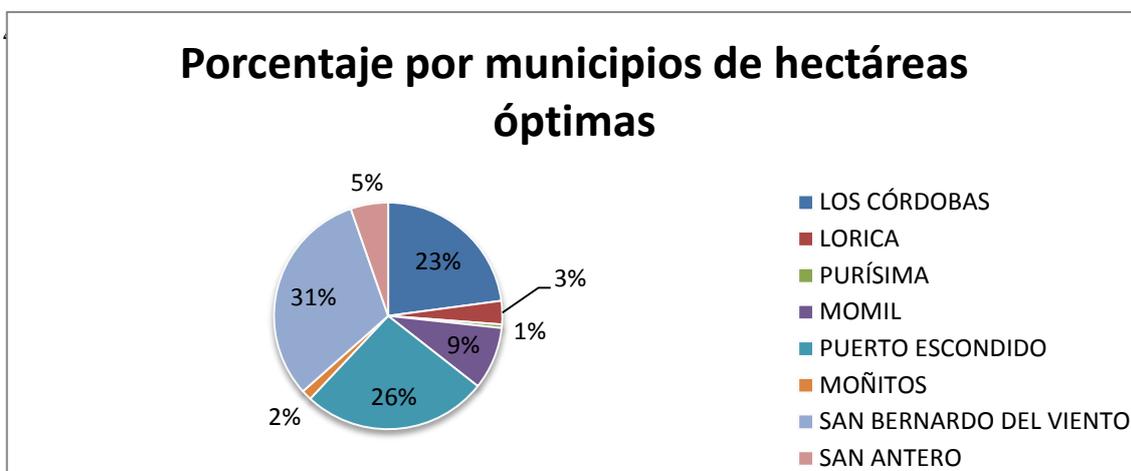


Figura N°7. Porcentaje por municipios de hectáreas óptimas. Diseño: Elaboración propia.

Con un parque eólico construido en uno de los municipios potenciales, elevara la productividad de las zonas urbanas y rurales haciendo que esta última utilice energías limpias para las labores del campo y así los pequeños productores que necesiten de un alto consumo de energía en sus labranzas día a día no tengan inconvenientes en el fallo del fluido electrito, para (Chaparro, 2017, pág. 13) en su escrito *Identificación del lugar óptimo de instalación de un parque eolico en el departamento del atlántico* un parque eólico que cuente con 7 aerogeneradores en una extensión de terreno aproximada a las 22 hectáreas, y el viento tenga proporciones de > 6 m/s, pueden abastecer a 1500 viviendas. Es por ello que en el departamento de Córdoba es un departamento que le puede apostar a las energías limpias debido a que cumple con todas las condiciones en el área costanera de ejecutar el proyecto.

CONCLUSIÓN

- Las Tecnologías de Información Geográficas (TIG), son herramientas fundamentales para la toma de decisiones, con ellas se logra una garantía y seguridad a lo hora de ser determinante en una decisión de suma importancia, la ubicación de cualquier proyectos merece rigurosidad al tiempo de determinar zonas optimas par la localización de él. Estas tecnologías geográficas acompañadas de los criterios adecuados son cruciales para lograr una ubicación adecuada del parque eólico en el departamento de Córdoba.
- Con la información secundaria cartográfica se obtuvo que los factores limitantes son las áreas donde por coberturas no sería posible la ejecución del parque es decir; instalar un aerogenerador, o alguna infraestructura necesaria para el funcionamiento del parque se necesita no incluir las zonas donde está

establecido un centro poblado, un área de protección ambiental, una superficie de agua, entre otras.

- El criterio de velocidad del viento fue determinante a la hora de conocer los 8 municipios potenciales para la ejecución del parque debido a que este arrastro las zonas potenciales al accidente geográfico marítimo por sus vientos favorables de 6-7 y 7-8 m/s lo ideal para el aprovechamiento de la energía eólica. Los demás criterios de restricciones y actitudes fueron estrictos al momento de dar a conocer las 47 zonas potenciales en los 8 municipios costaneros.
- Todos los criterios son necesarios para lograr la instalación del parque eólico, se adjuntarán más criterios dependiendo la zona que maneje el área de estudio donde se piensa elaborar el proyecto a nivel municipal o departamental, en este caso los criterios fueron adaptados y modificados por expertos profesionales en geografía para el departamento de Córdoba conociendo todos sus limitantes y ventajas presentadas por el territorio.
- Las hectáreas potenciales arrojaron una extensión de 1.607,428 ha en los 8 municipios, donde el municipio con más zonas potenciales y mayor extensión de terreno óptimo fue San Bernardo Del Viento con 13 zonas y 4,699 ha en extensión.
- Esto logra un gran avance en materias de obtención de energías limpias en el departamento e impulsa a la región costanera del departamento a no solo ser señaladas por el tema turístico de sus playas, también sean catalogadas como un corredor de energías limpias. El proyecto puede ser la motivación para seguir

implementado ideas novedosas que ayuden a la estabilidad y manejo de la energía en el área urbana y más necesariamente en el suelo rural.

BIBLIOGRAFÍAS

- Chaparro, M. F. (2017). *IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR ÓPTIMO DE INSTALACIÓN DE UN PARQUE*. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR ÓPTIMO DE INSTALACIÓN DE UN PARQUE:
http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3224/Obando_Maria_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Caballero-González, E., & García-Cascales, M. S. (2012). ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE EN LA COSTA ASTURIANA MEDIANTE ANÁLISIS DE TOMA DE DECISIÓN MULTICRITERIO
- Díaz Cuevas, P., & M.F., P. L. (2015). Evaluación y caracterización de las zonas incompatibles con la implantación eólica en Andalucía mediante la aplicación de un modelo locacional con Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de. Universidad de Zaragoza.
- Fernández Roa, A. (2010). MÉTODO PARA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE CENTRALES DE ENERGÍAS. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil electricista . Chile: Universidad de Chile.
- Gobernacion de Cordoba . (2015). *GEOGRAFÍA DE CÓRDOBA*. Recuperado el 07 de abril de 2020, de GEOGRAFÍA DE CÓRDOBA:
<https://web.archive.org/web/20150709174354/http://www.cordoba.gov.co/cordoba/geografia.html>
- IDAM. (2015). *Atlas interactivo*. Recuperado el 07 de ABRIL de 2020, de Atlas interactivo:
<http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>
- Ruiz, J. M. (2005). *Papeles de Geografía*. Recuperado el 08 de marzo de 2020, de Papeles de Geografía: <https://revistas.um.es/geografia/article/view/44441/42551>
- UPME. (2015). *PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA Y*. Bogota: Upme.
- Verbel Sanchez, J. F., & Villafañe Diaz, F. (2019). *Análisis Geoestadístico Preliminar mediante la utilización de sistemas de información geográfico (SIG) para la indentificación de areas con alta potencialida en generacion solar fotovoltaica*. Monteria.

