

RESEARCH / INVESTIGACIÓN

Determinación de áreas óptimas para instalaciones de energía solar y eólica en Quevedo, provincia de Los Ríos, aplicando sistemas de información geográfica

Determination of optimal areas for solar and wind power plants in Quevedo, Los Ríos Province by applying geographic information systems

José Luis Muñoz Marcillo¹, Franklin Fabricio Chávez Fuentes²

Resumen: En este trabajo se determinaron áreas óptimas para el establecimiento de instalaciones de energía solar y eólica en el cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, Ecuador. Se utilizaron Sistemas de Información Geográfica (SIG) en base a criterios de velocidad y dirección del viento, heliofanía, pendiente, y uso del suelo. Se realizó un diagnóstico ambiental sobre la generación energética, además de la identificación de las zonas con potencial eólico y solar dentro del territorio, y la determinación de los costos de instalación para infraestructuras de energía solar y eólica. La muestra empleada estuvo integrada por 383 individuos del cantón Quevedo, a los cuales se les aplicó un cuestionario de 10 preguntas referentes a la energía solar y eólica. Se emplearon los promedios mensuales de 22 años de registros para las variables dirección-velocidad del viento, y heliofanía de siete y ocho estaciones meteorológicas respectivamente. Además se utilizó información cartográfica preexistente sobre la pendiente y uso del suelo. La modelización espacial de los datos, así como la producción de los mapas temáticos se realizó en la plataforma ArcGis 9.3. El 69% de la población encuestada carece de conocimientos de energía renovable y el 31% restante indicó que las energías renovables guardan una íntima relación con el ámbito, social, económico y ambiental. La principal conclusión sugiere que el potencial eólico es nulo, a diferencia del potencial solar, el cual es muy representativo.

Palabras clave: Energía solar y eólica, Sistemas de Información Geográfica, mapas temáticos.

Abstract: In this work the optimal areas for establishing solar and wind power plants in the Quevedo Canton, Los Ríos Province, Ecuador were determined. Geographic information systems (GIS) were used based on the criteria of wind speed and direction, light conditions, slope and land use. An environmental diagnosis was performed on the energy production, the zones with wind and solar potential within the territory were identified, and the installation costs for solar and wind energy infrastructures were determined. The sample was comprised of 383 individuals from Quevedo Canton, who were given a questionnaire with 10 questions referring to solar and wind energy. The monthly averages of 22 years of records for the variables wind direction-speed and light conditions from seven and eight weather stations were used, respectively. Additionally, pre-existing cartographic information was used regarding slope and land use. Spatial modeling of the data as well as construction of the thematic maps was done on the ArcGis 9.3 platform. 69% of the survey population lacked knowledge of renewable energy and the remaining 31% indicated that renewable energies are intimately related to social, economic and environmental aspects. The main conclusion suggests that wind has zero potential, unlike solar potential, which is very representative.

Key words: Solar and wind energy, Geographic information systems, thematic maps.

(Presentado: 06 de agosto de 2016. Aceptado: 30 de septiembre de 2016)

¹ Ingeniero Forestal, Docente de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Jefe del Laboratorio de Geomática de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. E-mail: jsmunoz@quteq.edu.ec

² Ingeniero en Gestión Ambiental de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. E-mail: josluimu@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las sociedades humanas han venido utilizando la energía como una de sus principales fuentes de subsistencia y desarrollo. Según la Secretaría de Energía (SENER, 2013) ello ha permitido desarrollar una variedad de formas de aprovechamiento de la misma, a fin de poder dar abastecimiento a la demanda existente hoy en día, considerando la prioridad de su utilización en necesidades básicas tales como el alumbrado público, producción industrial, comercio, educación, salud y transporte, entre otros. El desarrollo de diversas formas de energía ha representado un aporte significativo para el desarrollo y progreso de los pueblos. Sin embargo, el hombre en su afán por dar cobertura a los requerimientos de energía, ha descuidado las implicaciones medioambientales que posee la generación de ciertos tipos de energías. Estas implicaciones sobre el ambiente se resumen en la destrucción de los recursos naturales, afectación a la salud humana y generación de conflicto socio-ambientales (NU. CEPAL, 2013).

La identificación de emplazamientos terrestres idóneos para el desarrollo de proyectos de energía renovable supone de una planificación acertada dentro de la cual se considere a la totalidad de las variables físicas territoriales participantes y se aplique la modelación del espacio físico por medio de los sistemas de información geográfica facilitando consecuentemente la correcta ubicación de aquellas áreas con alto potencial energético renovable (Quijano, 2010). Según la Corporación para la Competitividad e Innovación de la Región de Atacama (CCIRA, 2011) que obtuvo 296.071,6 ha consideradas como áreas potenciales para el desarrollo de proyectos solares mediante tecnologías fotovoltaicas, es importante elaborar mapas territoriales georreferenciados para posteriormente realizar la aplicación de los criterios generales y criterios específicos que permitan filtrar las zonas óptimas para desarrollo de tecnologías solares. En este sentido Henríquez (2005)

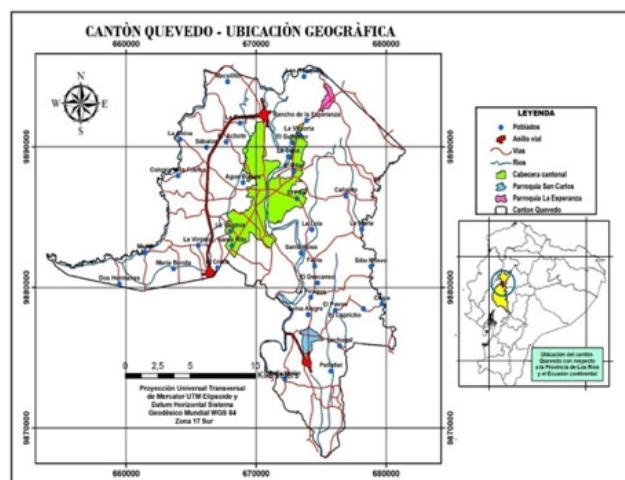
indica que un Sistema de Información Georreferenciado (SIG), al permitir la captura, el ingreso, análisis y el desplazamiento de información proveniente de sensores remotos así como cartografía digital, facilita la proyección a futuro de los usos y coberturas de suelo.

Considerando la excelente ubicación geográfica en la que se encuentra Ecuador, se ve favorecido por la presencia de una intensa radiación solar y la presencia considerable de vientos, los cuales pueden ser aprovechados de manera sustentable en la generación de energía amigable con el ambiente, y que reemplace a los otros tipos de energía utilizadas (Cabrera & Figueroa, 2012). Tomando en cuenta que el territorio cantonal de Quevedo, ubicado en la Provincia de Los Ríos, se encuentra haciendo uso de energía procedente de fuentes no renovables, y además por la presencia de importantes factores climáticos (radiación solar y vientos), se ha considerado importante el desarrollo de la presente investigación a fin de identificar los sitios de interés energético renovables dentro del territorio, los mismos que puedan ser representados mediante cartografía temática, para su posterior análisis y consideración por parte de inversionistas y decisores. En la actualidad el abastecimiento energético del cantón Quevedo procede de fuentes de energía termoeléctrica e hidroeléctrica, en cuya generación se da lugar a una variedad de implicaciones ambientales, tales como inundaciones, represamiento de los causes de agua, eutrofización, para el caso de la generación hidroeléctrica; y la emisión de contaminantes atmosféricos (NO, CO, SO₂, MP) y ruido ambiente para las fuentes termoeléctricas; lo cual supone una problemática ambiental de gran importancia que requiere ser tomada en cuenta. A esto se suma la deficiente investigación en cuanto al ámbito energético renovable, la poca capacidad de inversión y la ausencia de una planificación territorial.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en el Cantón Quevedo (1°02'30"S 79°28'30"O), Provincia de Los Ríos, situado en la Región Litoral o Costa parte céntrica del Ecuador. De acuerdo con el INEC (2010) posee una población de 173.575 habitantes y una densidad poblacional de 572,85 hab/km². La temperatura fluctúa entre 23-32°C, la precipitación entre 1750-2500 mm y la altitud es de 74 msnm. Limita con los siguientes cantones: Buena Fe y Valencia (Norte), Mocache (Sur), Ventanas y Quinsaloma (Este) y El Empalme - Provincia del Guayas (Oeste). Se encuentra ubicado entre las cotas 50-150 msnm (figura 1).

FIGURA 1.
Mapa de ubicación del sitio de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

La presente investigación es de tipo diagnóstica debido a que se consideró la elaboración de un diagnóstico ambiental con el cual se pudo conocer la situación energética que enfrenta el cantón Quevedo. Luego sigue una fase exploratoria debido a que la investigación permitió identi-

ficar las zonas que poseen un alto potencial para la implementación de proyectos de energía solar y eólica; además de la estimación de los costos por concepto de instalación y mantenimiento de las infraestructuras. Además la investigación incluyó una fase de modelización espacial, en la que se procedió a la generación de un modelo espacial para las variables pendiente, horas de brillo solar (heliofanía), viento (km/h), y usos del suelo; con lo cual se procedió a la obtención de los mapas temáticos que contengan las zonas óptimas. Se procedió a la ejecución de un diagnóstico de la situación ambiental del cantón Quevedo con el objetivo de reconocer los aspectos más relevantes de la generación energética del sector, para lo cual se empleó de fichas de observación y un cuestionario de encuestas. En las fichas se recabó información concerniente a las fuentes de generación energética y los impactos ambientales generados, entre otras características del sector energético local. Se utilizó una muestra de 383 individuos.

$$n_0 = \frac{z^2 pqN}{e^2(N - 1) + Z^2 pq} \quad (1)$$

Donde n es el tamaño de la muestra, z^2 es la confiabilidad (95%), p es la probabilidad de ocurrencia (50%), q es la probabilidad de no ocurrencia (50%), N es la población conocida ($N= 158.694$) y e^2 es el error de la muestra (5%). Reemplazando los valores se obtiene $n_0 = 383$. Para la determinación de las zonas de potencial uso para instalaciones de energía solar y eólica se realizó la modelización espacial de las variables participantes en el estudio, entre las cuales se incluyeron uso del suelo, precipitación (mm), temperatura (°C), heliofanía (horas de brillo solar), velocidad del viento (km/h), pendiente, ríos, vías, y poblados. Una vez generada las capas temáticas para cada una de las variables participantes se procedió a establecer el peso de

cada variable para cada caso (energía eólica y solar). Para determinar la variable que es mayormente determinante a la hora del establecimiento de este tipo de instalaciones de energía renovable se aplicó el método del Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP). Según Saaty & Kearns (1991) este método compara de par en par a partir de la construcción de una matriz cuadrada, en donde se evalúa la importancia de una característica sobre otra, para así establecer el criterio que es más determinante en la determinación de áreas potenciales para generación de energía eólica y solar. El AHP consiste en la descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia, que luego sintetizados permite determinar la variable de más alta prioridad (Muñoz, 2010).

RESULTADOS

En el cantón Quevedo la distribución de la energía eléctrica se efectúa mediante cableado y postes, los mismos que transportan el flujo eléctrico que llega a través del Sistema Nacional de Transmisión hasta las dos subestaciones de energía situadas en la parte sur del territorio, específicamente en la parroquia El Guayacán, una de las cuales se encuentra contigua a las instalaciones de la Central Termoeléctrica Quevedo II. Este Central es el proyecto de generación energética más importante del cantón y la provincia debido a su capacidad de producción de energía eléctrica y sobre todo por sus frecuentes implicaciones medioambientales. Además de esto el territorio se encuentra influenciado por la presencia de la Central Hidroeléctrica Baba situada en el km 39 de la vía Quevedo-Santo Domingo.

TABLA 1. Procedencia de la energía eléctrica del cantón Quevedo.

Procedencia de la energía	Cabecera cantonal (%)	San Carlos (%)	La Esperanza (%)
Red de empresa eléctrica de servicio público	95,17	91,27	93,28
Panel solar	0,07	0,04	-
Generador de luz (planta eléctrica)	0,15	0,20	0,08
Otro	1,02	0,88	1,26
No tiene	3,59	7,61	5,37
Total	100	100	100

Fuente: GAD (Gobierno Autónomo Descentralizado) Quevedo (2014).

La opinión ciudadana sobre la energía renovable se presenta en la tabla 2. La pregunta fue: ¿Conoce usted lo que es energía renovable? El 69% (265) de los habitantes encuestados expresó no tener conocimientos sobre la energía renovable, mientras que el 31% (118) indicó si tener conocimientos básicos al respecto. Este notable desconocimiento por parte de la población de Quevedo se debe básicamente a la poca

difusión de la terminología y sobre todo a la inexistencia de proyectos de energía limpia en el territorio. Mientras que el escaso conocimiento que tienen ciertos habitantes se debe al cambio de la matriz energética que ha experimentado el país, lo cual ha despertado el interés de los mismos por conocer acerca de este recambio en la generación de energía, sobre todo por lo amigable que resulta para el ambiente.

TABLA 2. Conocimiento sobre energía renovable.

Ítem	Alternativa	Encuestas	%
6	Si	118	31
	No	265	69
Total		383	100

Fuente: Datos de la investigación.

Partiendo de la siguiente premisa: “La energía renovable se la obtiene a partir de fuentes naturales como el sol, fuerza del agua y el viento principalmente; y se caracteriza por ser inagotable y poco contaminante”. ¿Cuál es su apreciación acerca de la generación de este tipo de energía en el cantón Quevedo? Tomando en cuenta la procedencia y beneficios que presentan las

energías renovables, el 51% (195) de los encuestados las catalogó como amigables con el ambiente, mientras que el 27% (105) indicó que las mismas son interesantes y el 22% rentables. Esto da a denotar la notable inclinación de la ciudadanía hacia la energía renovable tomando en cuenta el bajo riesgo de contaminación que éstas presentan (tabla 3).

TABLA 3. Apreciación acerca de la energía renovable.

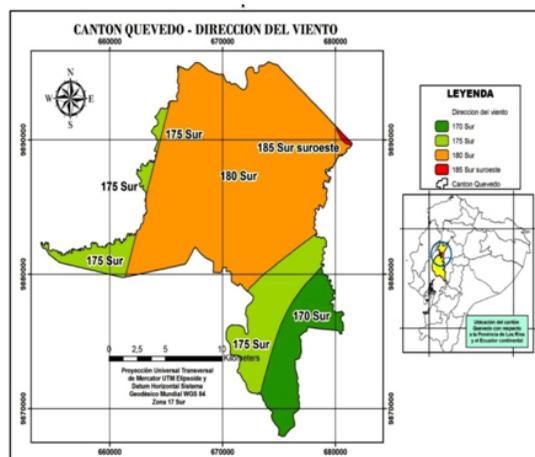
Ítem	Alternativa	Encuestas	%
7	Amigable con el ambiente	195	51
	Interesante	105	27
	Rentable	83	22
Total		383	100

Fuente: Datos de la investigación.

Crterios empleados

Los criterios empleados para el establecimiento del potencial eólico y solar en el cantón Quevedo fueron la dirección del viento, velocidad del viento, heliofanía, pendiente y el uso del suelo, los que se detallan en los mapas temáticos (figuras 2-6). La dirección del viento en el cantón Quevedo corresponde en su gran mayoría a la orientación Sur (180°), la misma que se presencia en la parte céntrica-superior del territorio cantonal, mientras que las orientaciones Sur 170° y 175° se muestran en menor proporción en la zona occidental y austral, también se evidencia una pequeña área con dirección Sur suroeste (185°) en la zona septentrional (figura 2).

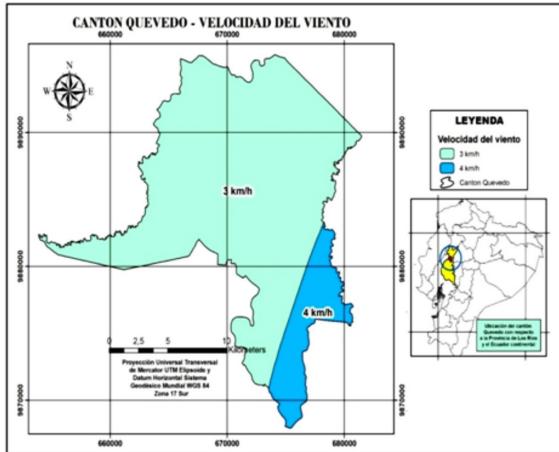
Figura 2. Mapa de dirección del viento.



Fuente: Elaboración propia.

La velocidad del viento en el cantón Quevedo es relativamente baja, obteniendo así para en la parte norte y céntrica una velocidad mínima de 3km/h, y en la zona sur oriental se evidencian vientos con velocidad máxima de 4km/h (figura 3).

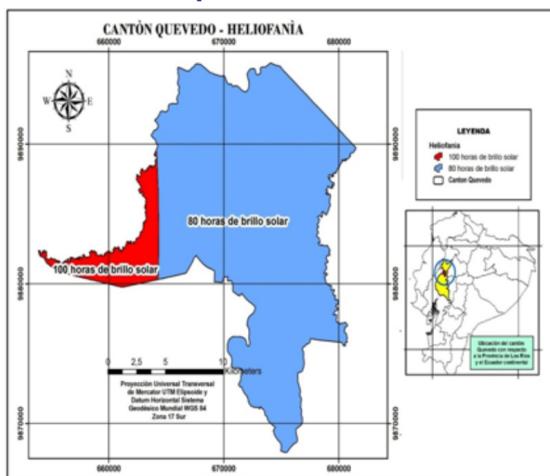
FIGURA 3. Mapa de velocidad del viento.



Fuente: Elaboración propia.

Lo valores de heliofanía del cantón Quevedo van desde un mínimo de 80 horas de brillo solar, siendo éste el de mayor predominancia en el territorio y distribuido en la parte sur, céntrica y oriental del mismo; hasta un máximo de 100 horas de brillo solar dentro de la zona occidental del cantón, pero en menor proporción (Figura 4).

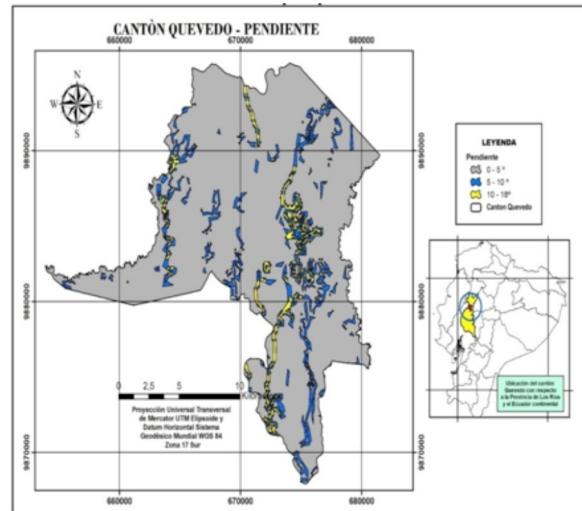
FIGURA 4. Mapa de heliofanía.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la pendiente del cantón Quevedo, los valores de la misma van desde un valor mínimo de 0° hasta un máximo de 18°, siendo así que el rango de 0-5° se encuentra distribuidos en mayor proporción dentro del territorio cantonal, mientras que en menor medida se sitúan los rangos de 5-10°, seguido de la pendiente de 10-18° (Figura 5).

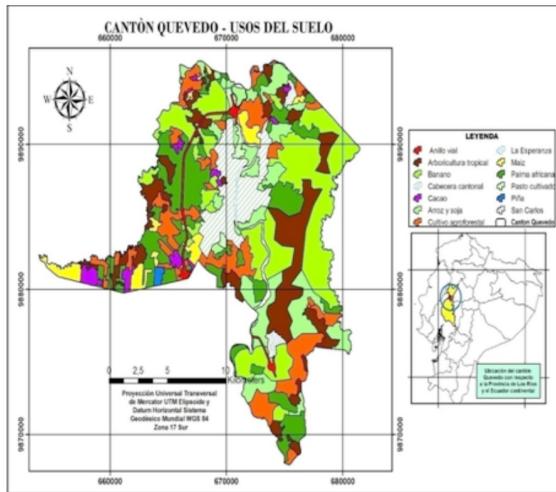
FIGURA 5. Mapa de pendiente.



Fuente: Elaboración propia.

Los usos del suelo que mayormente predominan en el cantón Quevedo son los vinculados a la actividad productiva del territorio, especialmente aquellos que guardan relación con la agricultura y silvicultura. Es así que dentro de esta tipología de usos se identifican los cultivos de arboricultura tropical, banano, arroz-soja, cacao, palma africana, maíz, pasto cultivado, piña y los cultivos agroforestales. También se evidenció la presencia de zonas urbanas y pobladas, tales como la cabecera cantonal y las parroquias Esperanza y San Carlos respectivamente; además se un anillo vial recientemente construido (Figura 6).

FIGURA 6. Mapa de los usos del suelo.

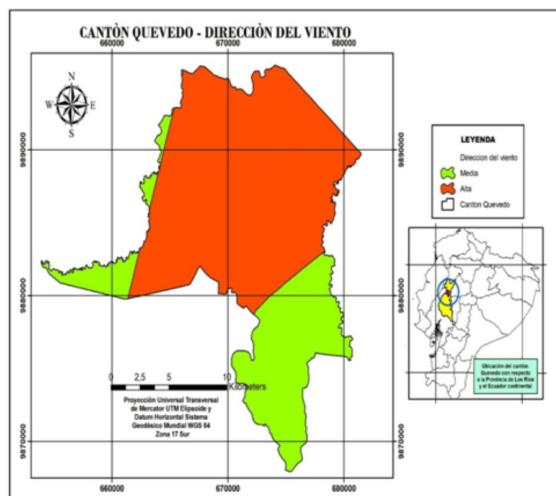


Fuente: Elaboración propia.

Clasificación de los criterios

La clasificación de los criterios a emplear consistió en la determinación de las zonas que presentan mayor aptitud con respecto. Con relación al tipo de trayectoria del viento en el cantón Quevedo, se muestra la existencia de una trayectoria tipo media (170-175° Sur) correspondiente a 8.916 ha, mientras que la orientación alta (180° Sur - 185° Sur suroeste) recayó sobre una extensión territorial de 21.551 ha (figura 7).

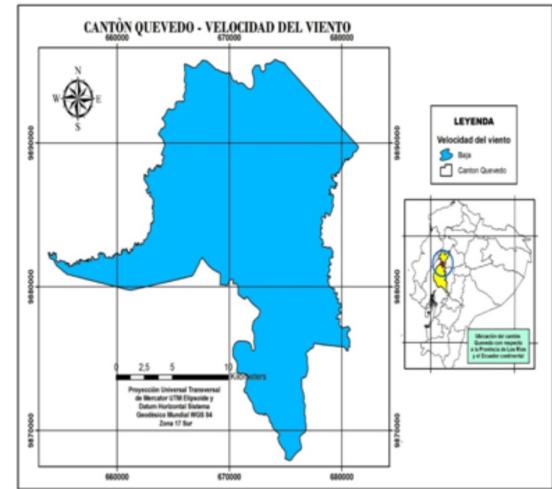
FIGURA 7. Dirección del viento (tipo de trayectoria).



Fuente: Elaboración propia.

La intensidad del viento en el cantón Quevedo correspondió en su totalidad a un tipo de intensidad baja, cubriendo una extensión territorial de 30.467 ha, esto se debe a que el promedio de velocidad del viento oscila entre 3-4km/h (figura 8).

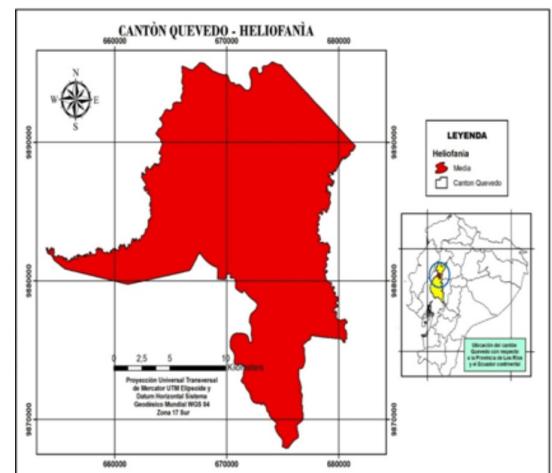
FIGURA 8. Velocidad del viento (intensidad).



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la intensidad del brillo solar en el cantón Quevedo se obtuvo que todo el territorio cantonal se encuentra influenciado por un tipo de heliofanía media, es decir, 30.467 ha correspondientes a todo el área cantonal, esto se debe a que el rango de horas de brillo solar se encuentran dentro de los 80-100 (figura 9).

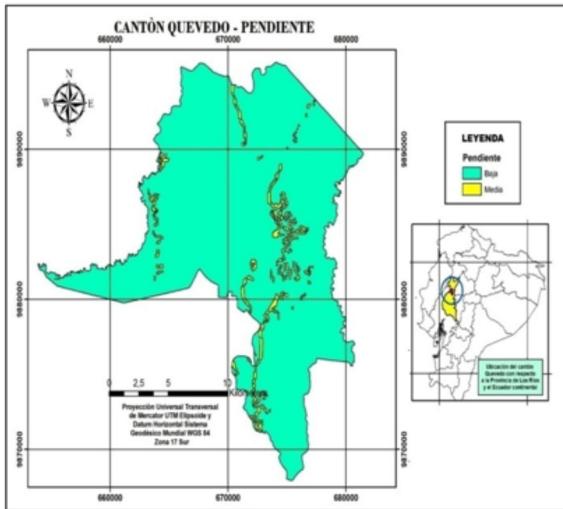
FIGURA 9. Heliofanía (intensidad del brillo solar).



Fuente: Elaboración propia.

La pendiente predominante en el cantón Quevedo es de tipo plana (baja) correspondiente a un rango de 0-10°, la mismas que ocupa una extensión territorial de 29.433 ha distribuidos por todo el área cantonal, también se identificó un tipo de pendiente ondulada (media), cuyo valor oscila entre los 10-18°, cubriendo una extensión de 1.034 ha (figura 10).

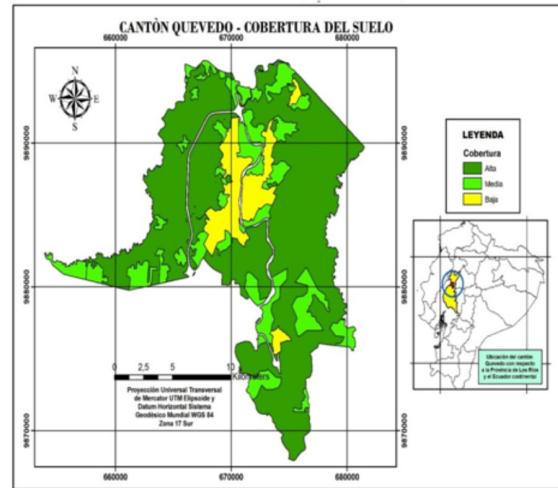
FIGURA 10. Tipo de pendiente.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al uso del suelo existente en el cantón Quevedo, se identificaron tres tipos de cobertura. La primera atañe a un tipo de cobertura alta en la que predominan principalmente los cultivos arbóreos, la misma que cubre una extensión de 20.971 ha; la segunda cobertura es de tipo media en la que prevalece los cultivos de ciclo corto, dispone de un área de 5.843 ha; la tercera cobertura es de tipo baja, correspondiente a la zona urbana y centros poblados, su extensión abarca 2.837 ha (figura 11).

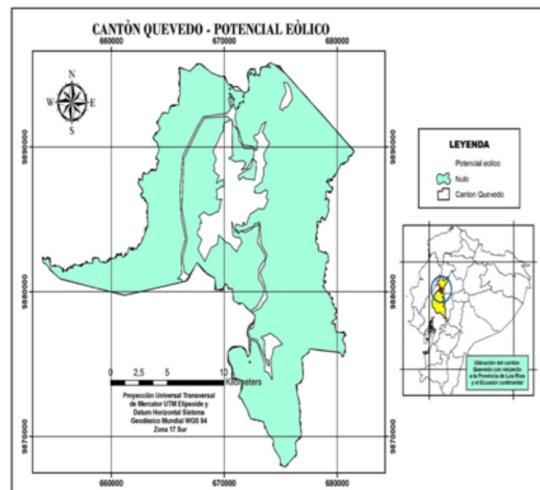
FIGURA 11. Uso del suelo (tipo de cobertura).



Fuente: Elaboración propia.

El potencial eólico del cantón Quevedo es nulo en toda la extensión de su territorio, es decir, que los criterios utilizados no contribuyen a la existencia de condiciones óptimas para la instalación y funcionamiento de proyectos de energía eólica. Esto se debe en gran medida a que la variable velocidad del viento registró valores muy insignificantes (3-4km/h), y además por el peso otorgado en el cálculo del potencial, que fue del 41% con respecto al resto de criterios intervinientes (figura 12).

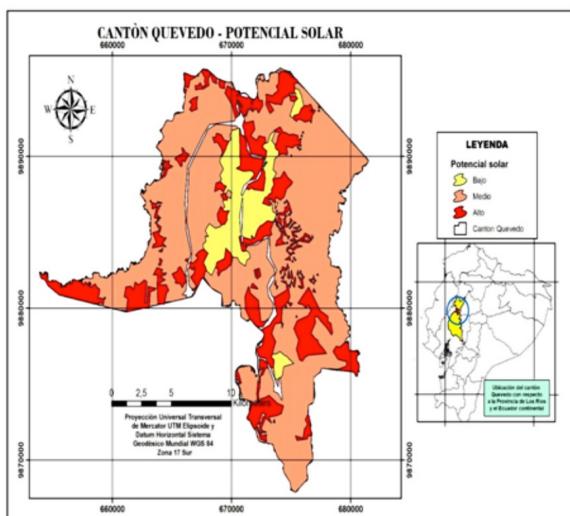
FIGURA 12. Potencial eólico del cantón Quevedo.



Fuente: Elaboración propia.

El potencial solar del cantón Quevedo mostró ser muy variable, obteniendo así una extensión de 2.835 ha de potencial bajo, situado mayoritariamente en el área urbana; también se identificó un potencial medio correspondiente a 20.292 ha; mientras que el potencial alto correspondió a 6.501 ha (figura 13).

FIGURA 13. Potencial solar del cantón Quevedo.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, es posible extraer las siguientes conclusiones:

- De acuerdo al diagnóstico efectuado se identificó que

el cantón Quevedo se encuentra influenciado por un proyecto termoeléctrico situado en la parte sur del territorio, el mismo que ha venido ocasionando problemas a la población aledaña y alrededores, por la constante emisión de gases contaminantes a la atmósfera, además de la emisión de un fuerte ruido ambiente.

- Se corroboró que la población del cantón Quevedo carece de conocimientos básicos con relación a la energía renovable, a pesar de que el 27% de los mismos correspondió a la categoría de estudiantes, lo cual indica que existe poco interés por parte de la ciudadanía con respecto a este tipo de energías, sobre todo en el ámbito ambiental.
- El potencial eólico identificado para el cantón Quevedo es ineficiente debido a la existencia de una baja velocidad del viento, la misma que no supera los 4km/h, lo que a la vez no permite generar las óptimas condiciones ambientales para el aprovechamiento de la energía eólica.
- Con respecto al potencial solar, éste mostró ser más eficiente que el eólico, ya que se identificaron un total de 6.501 ha como potencialmente óptimas para el desarrollo de proyectos solares a través de tecnología fotovoltaica, esto a la vez se sustenta debido a los significativos promedios de horas de brillo solar predominantes en el cantón Quevedo, los mismos que oscilan dentro del rango de los 80-100 horas de brillo solar.

REFERENCIAS

Cabrera, I., & Figueroa, E. (2012). Situación energética en el Ecuador. Análisis técnico y económico para el uso eficiente de la energía. Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.

CCIRA - Corporación para la Competitividad e Innovación de la Región de Atacama. (2011). Identificación del potencial de generación de electricidad con algunas de las tecnologías renovables no convencionales. Proyecto de desarrollo, Dirección General, Atacama-Chile.

GAD QUEVEDO - Gobierno Autónomo Descentralizado. (2014). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2012-2016. Plan Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quevedo, Dirección de Planificación y Gestión Municipal, Equipo técnico de acompañamiento - SENPLADES Zona 5, Quevedo-Ecuador.

Henríquez, C. (2005). Modelación, impacto ambiental y sustentabilidad del crecimiento urbano en las ciudades intermedias de Chillán y los Ángeles. Tesis para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales. Concepción, Chile. Universidad de Concepción, 310p.

Muñoz, J. (2010). Análisis de la degradación morfoedafológica y su relación con la reconversión productiva en el valle del Aconcagua, V Región de Valparaíso. Tesis para optar al grado académico de Magíster en Geografía, mención Recursos Territoriales. Santiago, Chile. Universidad de Chile, 173p.

NU. CEPAL. (2013). Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe. CEPAL, CAF, Corporación Andina de Fomento, Sao Paulo-Brasil.

Quijano, R. (2010). ModerGIS Análisis Multi-criterio con LEAP de la sustentabilidad del sector energético colombiano. Curso internacional, CEPAL, Ciemat, Colombia.

SENER - Secretaría de Energía. (2013). Estrategia Nacional de Energía 2013-2027. Plan Estratégico Nacional, SEMANART, México D.F.

Saaty, T. L., & Kearns, K. (1991) Analytical Planning. The Organization of Systems. The Analytic Hierarchy Process Series Vol. IV. RWS Publications. Pittsburgh, PA, EE.UU, 208p.