

Estimación del Potencial Eólico del Campus Gustavo Galindo de la ESPOL en la ciudad de Guayaquil

Peralta Juan, PhD¹, Delgado Emérita, PhD¹, Abad Jorge, PhD¹, Sosa-Tinoco, Ian², Gustavo Aveiga¹

¹ Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad en Ingeniería Mecánica y Ciencia de la Producción, Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable, Ecuador;

jperal@espol.edu.ec, eadelgad@espol.edu.ec, jabad@espol.edu.ec, gaveiga@espol.edu.ec

² Instituto Tecnológico de Sonora, Departamento de Ingeniería Eléctrica, México; ian.sosa@itson.edu.mx

Resumen— Se presenta una estimación del potencial eólico del campus universitario (Gustavo Galindo) de la Escuela Politécnica del Litoral, mediante un modelo numérico (WASP). Se utilizó de entrada del modelo observaciones diez-minutales de velocidad y dirección del viento de una estación meteorológica instalada en el campus, así como un mapa de elevación del terreno con una resolución horizontal de 50m. Se presentan resultados de velocidad de viento y densidad de potencia a diferentes alturas (10m a 50m) favorables por las condiciones del terreno.

Palabras Clave Potencial de Viento, Guayaquil-Ecuador, WAsP, modelo numérico

Abstract— An estimation of the wind potential using a numerical model (WASP) for a university campus (Gustavo Galindo) of the Polytechnic School of the Coast (ESPOL) is presented. Ten-minute observations of wind speed and direction of a weather station installed on the campus were used as input of the model, as well as a map of elevation of the terrain with a horizontal resolution of 30m. Results of wind speed and power density are presented at different heights (10m to 50m) mostly favorable because of the terrain conditions.

Keywords—wind potential, Guayaquil-Ecuador, WAsP, numeric model.

I. INTRODUCCIÓN

Aunque las energías renovables tienen la ventaja de una menor incidencia en el ambiente en comparación con otras fuentes de energía, su rendimiento está condicionado en la mayor parte de los casos por variaciones en el tiempo y en el clima.

Entre las fuentes energéticas más dependientes del emplazamiento es la energía eólica. Una de las posibles alternativas para abordar el problema de la intermitencia de los recursos energéticos de origen renovable y su nivel de aprovechamiento, es estudiar su potencial y complementariedad espacio-temporal. Dentro de este marco, es importante obtener un registro confiable de datos que permitan la caracterización puntual del recurso, su posterior modelaje por medios de programas o herramientas de simulación computacional.

Visto desde esta perspectiva, las tecnologías basadas en energía renovable en especial solar y eólica, pueden ser consideradas como una posible opción de generación eléctrica, y por tanto contribuir a la diversificación de la matriz energética del Ecuador.

A pesar de que la energía eólica es ampliamente empleada a nivel mundial, en el Ecuador es considerada una tecnología nueva, siendo apenas aplicada en: “El parque San Cristóbal”, ubicado en el archipiélago de Galápagos en la isla San Cristóbal, la zona cuenta con 3 aerogeneradores con una potencia de unitaria 800 kW. “El parque Villonaco” ubicado cerca de la ciudad de Loja al sur del país, con 11 aeroturbinas con una potencia unitaria de 1.5 MW. [1] [2]. A partir del informe Anual del Ministerio de Sectores Estratégicos del Ecuador, indica que del total de generación eléctrica en el año 2015, solo el 2% corresponde a proyectos pilotos con fuentes renovables de Energía. [3] [4]

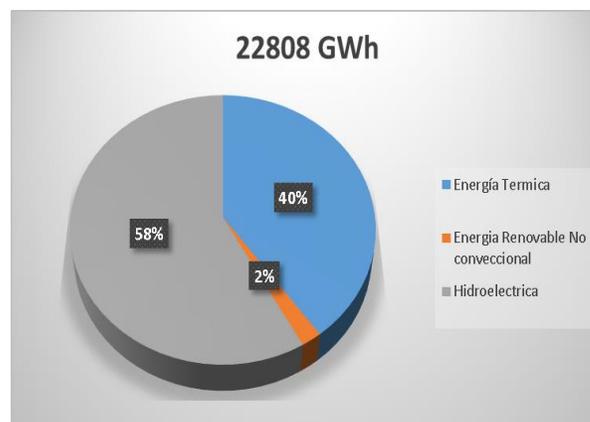


Fig. 1 Generación Eléctrica en el Ecuador, 2015

Desde esta perspectiva podemos decir, que en el país existe la necesidad de realizar estudios más detallados de evaluación del potencial del recurso renovable en el Ecuador continental, con el fin de incrementar el porcentaje de participación de las fuentes renovables en la matriz energética. Considerando lo antes planteado, la realización de nuevos estudios de evaluación de potencial de recursos contribuirán al desarrollo de proyectos de energización que permitan lograr la meta planteada por el estado.

Dentro de este contexto, el sector correspondiente al Campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior del Litoral (ESPOL) representa un caso de interés local debido a la orografía y microclima que posee [5] para el desarrollo de metodología de estimación del potencial eólico en el Ecuador.

II. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La ESPOL se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil; el campus Gustavo Galindo se encuentra en el Km. 30½ de la Vía Perimetral cuenta con un aproximado de 700 hectáreas [5, 6], de las cuales 600 son consideradas bosque protector juntos al área protegida de la Prosperina que colindan con el cerro Azul y el cerro Blanco, correspondiente a la cordillera Chongon-Colonche, Fig. 1.



Fig 1. Campus “Gustavo Galindo” ESPOL

Topografía del Campus Gustavo Galindo

El campus Politécnico “Gustavo Galindo tiene un dominio topográfico, que presentan altura desde la cota de 30 m hacia el este hasta llegar a cotas de 450m en el lindero oeste, donde se observan las mayores elevaciones de terreno. [6]Las principales formaciones geológicas son Calentura, Cayo y Guayaquil. Las formaciones antes descritas descansan sobre la formación y pertenece a la época Mezoica. [5]. La información digital de la elevación del terreno se generó por medio del portal electrónico ASTER Global Digital Elevation Map Announcement, con una resolución aproximada de 30m, Fig 2.

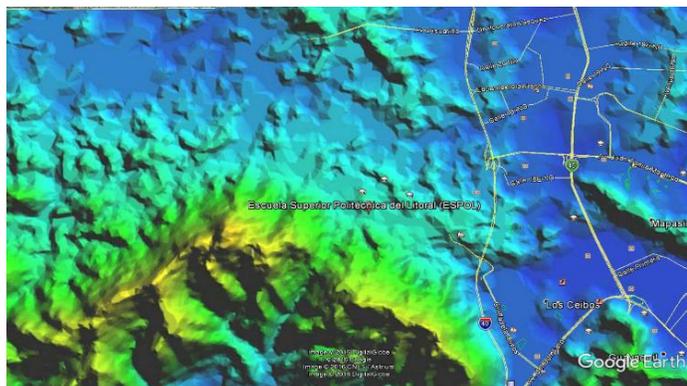


Fig 2. Elevación Digital de Terreno de la ESPOL

Especificaciones de la Estación Meteorológica

Los datos de viento fueron tomados de la Estación Meteorológica ubicada en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción en el campus Gustavo Galindo de la ESPOL desde el 2008, ubicada en las coordenadas 2°07'32”S y 79°50'48”O. La adquisición de datos se realiza cada segundo y luego son promediados a valores diez-minutales.



Fig 3. Estación meteorológica FIMCP- ESPOL

La serie temporal de Viento corresponde al periodo de Mayo del 2008 hasta julio del 2014, con un total de 349,513 registros. En la tabla 1, se presenta en detalle la información por cada año existente en la serie temporal. [7]

TABLA 1.
DESCRIPCIÓN DE LA SERIE TEMPORAL DE VIENTO ESPOL - FIMCP

Años	Número de Datos	Calma	Rango de Velocidad (m/s)
2008	52378	561 (1,07%)	0,0 - 13,4
2009	52378	561 (1,07%)	0,0 - 13,4
2010	61249	2002 (3,27%)	0,0 - 12,2
2011	52465	3713 (7,08%)	0,0 - 13,0
2012	52609	5943 (11,3%)	0,0 - 16,3
2013	52465	10910 (20,79%)	0,0 - 13,0
2014	25969	9608 (37,0%)	0,0 - 11,0

III. MODELO EMPLEADO

El programa WASP se desarrolló en el Risø National Laboratory de Dinamarca, permite analizar series de datos correspondiente a modulo y dirección del viento para posteriormente elaborar un atlas del recurso eólico empleando modelos de apantallamiento, rugosidad y de topografía. Se inicia construyendo a partir de los datos de una estación meteorológica el denominado Observed Wind Climate (OWC) o viento generalizado, eliminando de la serie temporal los efectos causados por la rugosidad de terreno, la presencia de obstáculos cercanos o la topografía local. [8]

Las condiciones específicas de la zona son estimadas a partir de los parámetros de la distribución Weibull K y C para 5 condiciones de rugosidad del terreno (0.000 m, 0.030 m, 0.100 m, 0.400 m, 1.500 m), 5 alturas de referencia (10m, 25m, 50m 100m y 200m) y 12 sectores azimutales respectivamente, en función de los datos de la serie temporal de viento. [9]

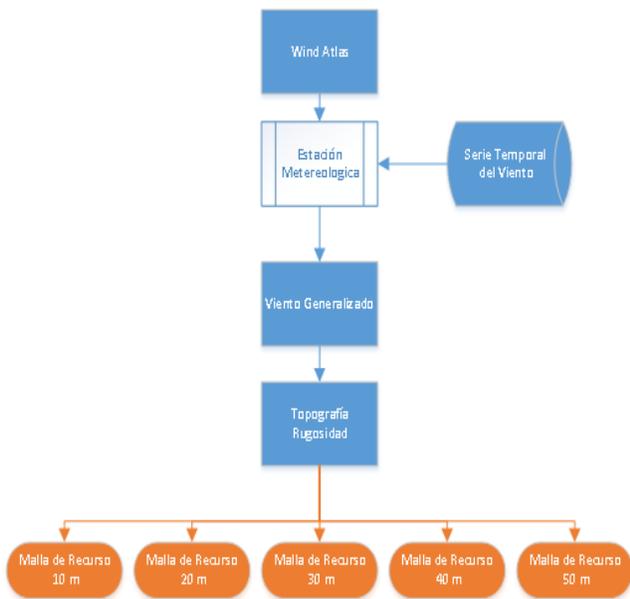


Fig.4. Esquema de Configuración de WASP

La Figura 4, se presenta un diagrama de funcionamiento del modelo WASP [10], que se resume en:

1. Procesamiento y Generalización de la serie de datos de viento.
2. Extrapolación horizontal y vertical del viento generalizado a las condiciones de rugosidad, topografía y obstáculos locales

Adicionalmente se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- ✓ El punto de la estación meteorológica, de donde se obtienen los datos de viento, y el zona de estudio son presentan el mismo régimen de vientos.
- ✓ Las series temporales de la estación meteorológica deben ser fiables, es decir, debe haber suficiente concordancia con la realidad.
- ✓ La serie temporal de datos de magnitud y dirección del viento debe ser representativa del clima de la región.

En relación con esto último, existen un conjunto de expresiones teóricas que permiten determinar los perfiles de velocidad de viento para diferentes niveles de referencia. El programa WASP utiliza la ley de potencial de Hellman [8] [11], para relacionar la velocidad del viento en alturas distintas al contar con la velocidad para cierto nivel de referencia: Esta ley se expresa como [12] [13]:

$$\left[\frac{V}{V_o} \right] = \left[\frac{h}{h_o} \right]^\alpha \frac{v}{v_o} = \left(\frac{H}{H_o} \right)^\alpha \quad (1)$$

Donde V es la velocidad a la altura H, V₀ es la velocidad a la altura referencial, nuestro caso será de 10 metros y α es el coeficiente de fricción (2) que está en función del coeficiente de rugosidad del terreno donde se esté midiendo el viento

IV ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA SERIE TEMPORAL

En la práctica, aunque el comportamiento de los datos, pueden ser ajustados a diferentes tipos de curvas, la expresión analítica más usada en estudios de energía eólica para representar la probabilidad de distribuciones de viento, P(V), es la distribución Weibull. [14], se trata de una distribución de dos parámetros [14] [15], cuya expresión es:

$$P(v) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} c \cdot \exp\left(-\frac{v}{c}\right)^k \quad (2)$$

P_(v): representa la probabilidad estadística de que ocurra una determinada velocidad de viento

C: es el denominado factor de escala, cuyo valor es cercano a la velocidad media en el emplazamiento

k: es el denominado factor de forma.

Una variable de interés estadístico y de descripción preliminar del recurso es la velocidad media, estimada para un punto a partir de la distribución de Weibull construida. Asimismo, es fundamental estimar el potencial eólico disponible de un lugar como la potencia media eólica por unidad de superficie para un tiempo suficientemente largo (al menos un año), en nuestra caso, la serie presenta registro desde el 2008 hasta el 2014. En la Figura 4 se muestra la distribución de los datos por medio el histograma de frecuencia de velocidad y su respectivo ajuste Weibull. De este análisis se determina que el factor de escala C = 2,3 m/s y el factor de forma k = 1.25, la velocidad media es 2.15 m/s y la densidad de potencia media anual de 23W/m²

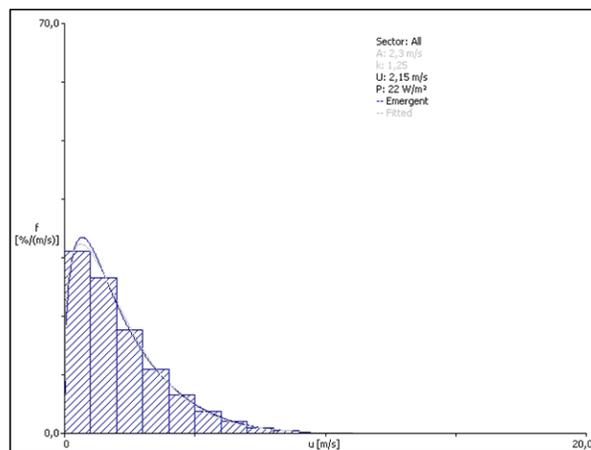


Fig.5 Histograma de Velocidad y distribución Weibull

La dirección del viento como se observa en la figura 6 presenta un flujo de viento predominante proveniente del sur -oeste. Esto guarda relación con los vientos alisios del Sur en donde el Anticiclón del Pacífico y la interacción ocasional de la Vaguada del Sur, generan una un flujo del suroeste a lo largo del perfil costero del Ecuador.

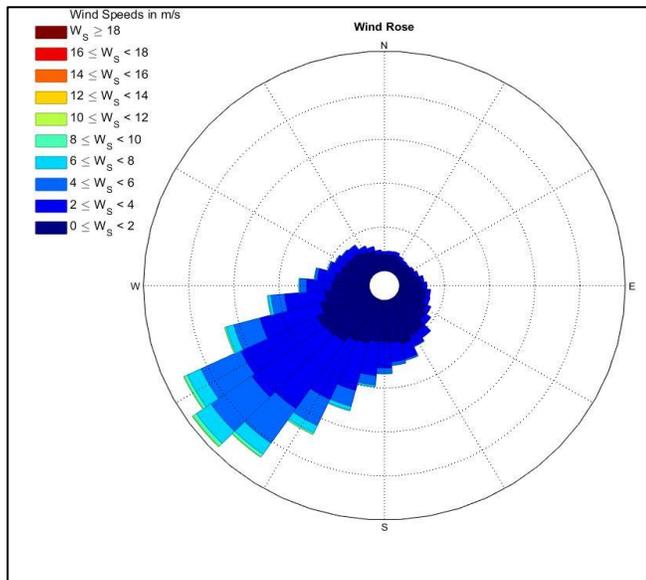


Fig. 6. Rosa de Vientos

V. RESULTADOS

A partir del Atlas de Viento generado considerando el viento generalizado, construido a partir de los datos de la serie temporal de la Estación Meteorológica se obtiene los parámetros característicos que describen el potencial eólico a diferentes alturas referenciales. En la tabla 2, se presentan el resumen para diferentes longitudes de Rugosidades de referencia.

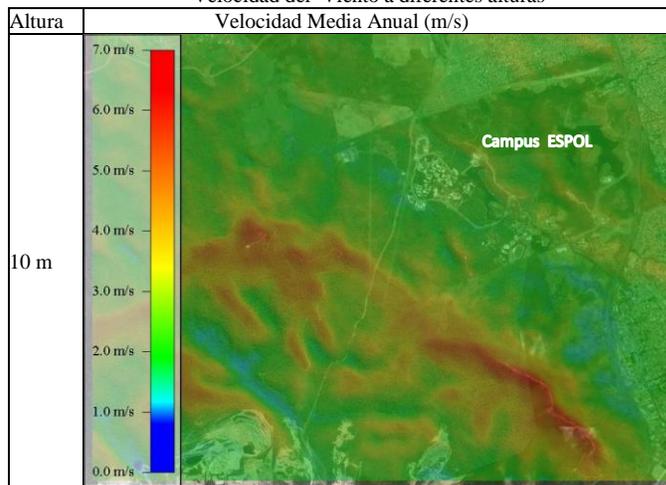
Tabla 2. Resumen del Análisis del Viento Generalizado a diferentes alturas y rugosidades

Altura	Parámetro	0,00 m	0,03 m	0,10 m	0,40 m	1,50 m
10 m	Weibull C [m/s]	5,2	3,5	3,1	2,4	1,6
	Weibull k	1,73	1,59	1,59	1,58	1,58
	Velocidad Media [m/s]	4,6	3,17	2,75	2,14	1,42
	Densidad de Potencia [W/m ²]	134	49	32	15	4
25 m	Weibull C [m/s]	5,6	4,2	3,8	3,1	2,4
	Weibull k	1,74	1,66	1,65	1,63	1,63

	Velocidad Media [m/s]	4,99	3,8	3,39	2,81	2,15
	Densidad de Potencia [W/m ²]	169	79	57	33	15
50 m	Weibull C [m/s]	5,9	4,9	4,5	3,8	3,1
	Weibull k	1,75	1,76	1,74	1,71	1,71
	Velocidad Media [m/s]	5,27	4,39	3,98	3,4	2,76
	Densidad de Potencia [W/m ²]	198	114	86	55	30
100 m	Weibull C [m/s]	6,2	5,9	5,4	4,6	3,9
	Weibull k	1,7	1,81	1,82	1,81	1,83
	Velocidad Media [m/s]	5,54	5,22	4,76	4,13	3,48
	Densidad de Potencia [W/m ²]	239	184	139	92	54
200 m	Weibull C [m/s]	6,4	7,3	6,6	5,8	4,9
	Weibull k	1,59	1,78	1,79	1,78	1,8
	Velocidad Media [m/s]	5,78	6,49	5,89	5,14	4,4
	Densidad de Potencia [W/m ²]	296	364	271	181	112

A continuación, se muestra en las tablas 4 y 5 la representación grafica en una resolución espacial de 50m de las variables de velocidad de viento medio anual, densidad de potencia media anual para el campus de la ESPOL para diferentes niveles de altura de referencia.

Tabla 4. Velocidad del Viento a diferentes alturas



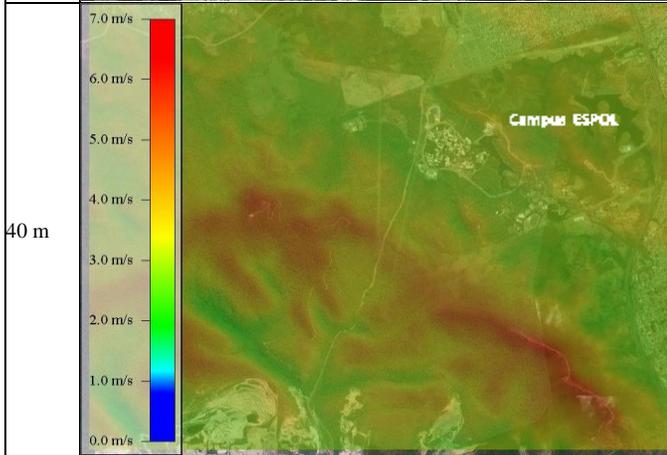
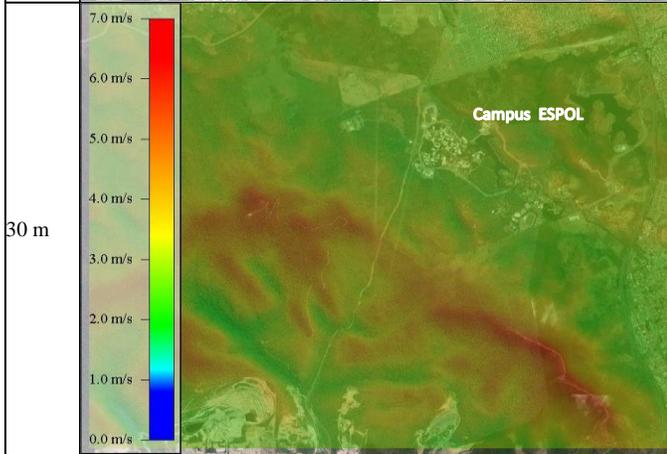
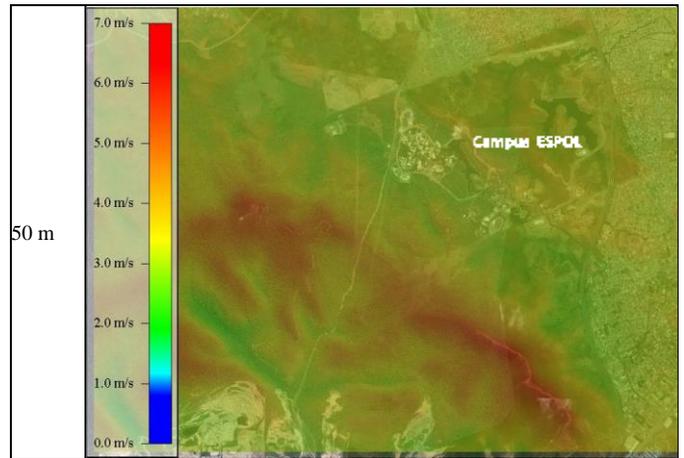
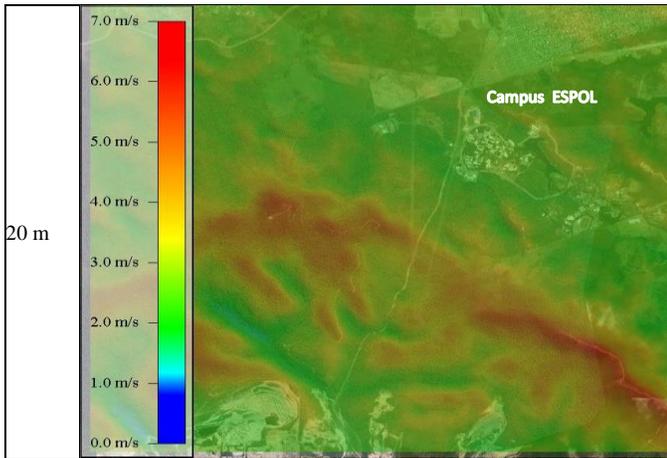
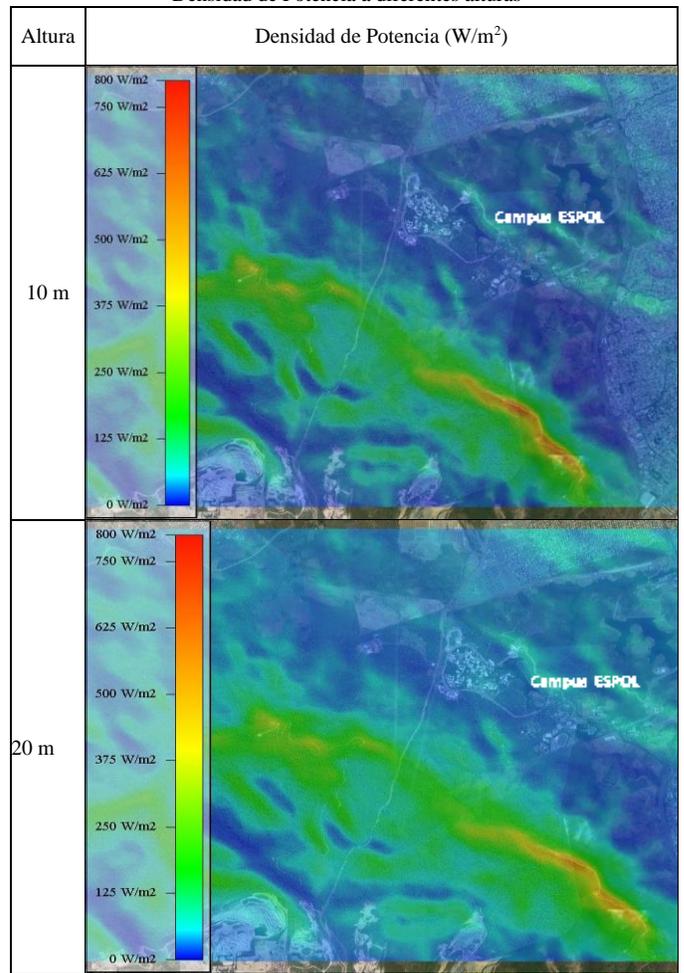


Tabla 6.
Densidad de Potencia a diferentes alturas

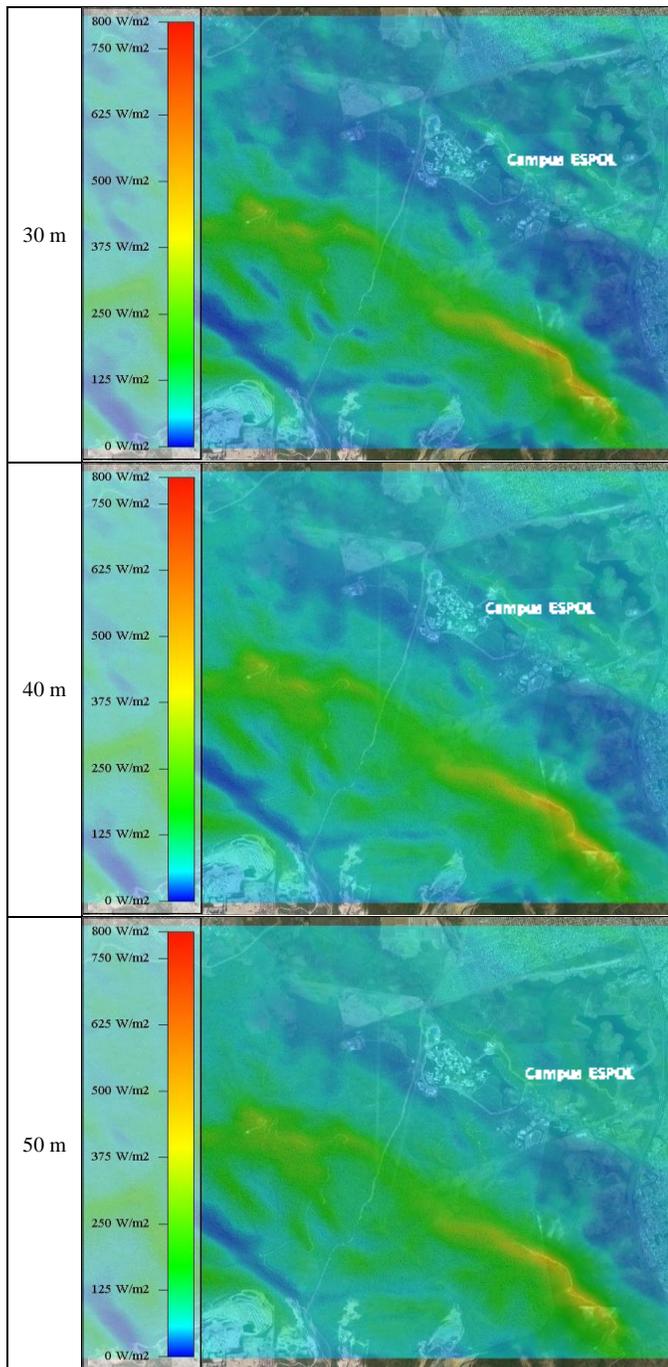


VI. CONCLUSIONES

A continuación, en la tabla 7, se detallan las coordenadas geográficas con los máximos valores estimados de densidad de Potencia en la coordenada UTM (615965,0, 9760550,0)

Tabla 7
Resumen de Resultados

Altura m	Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
10	Velocidad Media (m/s)	2,56	0,8	6,35
	Densidad de Potencia (W/m ²)	53	1	723
20	Velocidad Media (m/s)	2,93	1,23	6,13
	Densidad de Potencia (W/m ²)	66	3	588
30	Velocidad Media (m/s)	3,13	1,57	61
	Densidad de Potencia (W/m ²)	71	6	514
40	Velocidad Media (m/s)	3,31	1,87	5,95
	Densidad de Potencia (W/m ²)	77	10	467
50	Velocidad Media (m/s)	3,45	2,13	5,9
	Densidad de Potencia (W/m ²)	82	15	432



La velocidad media y densidad media anual fueron realizadas a alturas estimadas del buje de aerogeneradores. Asimismo, se observa que presentan una dependencia con la orografía del campus.

A partir, de los valores obtenidos por medio de las simulaciones, se concluye que el potencial de energía del viento no sustentaría el desarrollo de proyectos de generación eólica a gran escala, en la práctica la mayoría de aerogeneradores con potencias mayores de 1KW están diseñados a velocidad de arranque superior a 5/ms. Sin embargo, las condiciones existentes son muy favorables para proyectos de microgeneración distribuida.

Asimismo, los resultados obtenidos demuestran claramente la influencia de la geografía de la zona en la estimación del potencial eólico, por ende, futuros trabajos deberán centrarse en la validación de los datos de terrenos en especial en los puntos máximos de estimación de recurso.

Sobre la base de las ideas expuestas, es importante considerar que la variación del perfil vertical de la velocidad del viento y que la extrapolación vertical del potencial eólico se basa en mediciones realizadas a una sola altura, lo que introduce una incertidumbre en la evaluación de recursos eólicos utilizando WASP. Por tal razón los datos obtenidos en el presente trabajo deben ser considerados referenciales.

VII.REFERENCIAS

- [1] E. R. y. B. CHILQUINGA, «Línea Base de las Tecnologías Energéticas Componente 2: Estado del Arte de las Energías Renovables,» OLADE UNIDI, Quito, 2011.
- [2] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.buenvivir.gob.ec/>.
- [3] M. C. d. S. Estratégicos, «Resumen Balance Energético Nacional 2015,» Guayaquil, 2015.
- [4] J. Peralta y A. Lopez, TESE DE DOUTORAMENTO: Modelamiento Computacional del Recurso Solar y Eólico para aplicación de Sistemas de Energía Renovable, Santiago de Compostela, 2015.
- [5] M. Loor, *Prospeccion Geotecnica de Campo Aplicada a la Construcción de la presa del Proyecto Parque del Conocimiento*, Guayaquil: ESPOL, 2010.
- [6] S. Velasquez, G. Nicola y D. Arroyo, *Estudio y Diseño Preliminar de una Vía de Acceso desde la Vía Perimetral al Campus Gustavo Galindo Velasco para el aprovechamiento del sector Noreste*, Guayaquil: ESPOL, 2002.
- [7] J. Peralta, E. Delgado y I. Sosa, «Análisis y evaluación de la información meteorológica disponible para la prospección del recurso eólico en el perfil costero Ecuatoriano,» *Anales del Congreso XXI Congreso de Ingenieria Española*, 2015.
- [8] D. W. Energy, «Welcome to the world of WAsP by DTU Wind Energy,» 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.wasp.dk/>.
- [9] Meteogalicia y D. A. Technologies, « Creacion de un Atlas de viento costero de alta resolución para Galicia combinando WAsP y las salidas del modelo,» Santiago de Compostela.
- [10] Z. Đuricic y J. Mikulovic, «A model for vertical wind speed data extrapolation for improving wind resource assessment using WAsP,» *Renewable Energy*, pp. 407-411, 2012.
- [11] H. Mathur, *Introduction to Wind Energy Systems*, Springer , 2009.
- [12] M. Bhandari, S. Shrestha y J. New, «Evaluation of weather datasets for building energy simulation,» 2012.
- [13] M. Zhua, Y. Pana, Z. Huangb y P. Xua, «An alternative method to predict future weather data for building energy demand simulation under global climate change,» *Energy and Buildings*, 2016.
- [14] J. G. Bonfils Safari, «A statistical investigation of wind characteristics and wind energy potential based on the Weibull and Rayleigh models in Rwanda,» *Renewable Energy*, 2010.
- [15] J. A. C. González, *Centrales de Energía Renovable*, Pearson Education, 2009.
- [16] M. Baseer, J. Meyer, S. Rehman y M. M. Alam, «Wind power characteristics of seven data collection sites in Jubail, Saudi Arabia using Weibull parameters,» *Renewable Energy*, vol. 102, pp. 35-49, 2016.