

CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA EÓLICA EN LAS SIERRAS DE HUMAYA - DPTO. AMBATO - CATAMARCA

Sequi, Juan R.⁽¹⁾; Herrera, Rafael⁽²⁾; Gómez, Ulises⁽²⁾; Foresi, Pedro⁽²⁾

⁽¹⁾ Cátedra de Maquinaria Agrícola; Fac. de Ciencias Agrarias - UNCA; Av. Belgrano y Mtro. Quiroga - CP 4700 – Catamarca; Tel-Fax: (03833) 430504; Email: sequi@agrarias.unca.edu.ar. ⁽²⁾ Subsecretaría de Ciencia y Tecnología – Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología; Gobierno de la Provincia de Catamarca. República 838 – CP 4700 - Catamarca; Te: (03833) 437585.

CHARACTERISTICS OF WIND ENERGY IN THE HUMAYA HILLS, AMBATO, CATAMARCA

SUMMARY

The knowledge about wind speed and direction and about monthly and seasonal distribution in a region is useful to determine both its potential use as an optional electric power source and its influence on agricultural and environmental conservation. In the Humaya hills, located in Ambato, Catamarca, wind can be used to produce enough electric power to satisfy the requirements of rural communities. On the other hand, wind can cause out of control fires due to the traditional practices of rangeland burning during late winter to allow the growth of new grass for livestock. This article analyzes the characteristics of the wind on two locations of the Humaya Hills using records of wind speed and direction obtained from the beginning of January until the end of December in 2002. These records are compared with those of Los Varela, a locality in a valley on the same west longitude. The distribution of the speed relative frequency, mathematically adjusted according to Weibull II Probabilistic Theoretical Distribution Model is shown. The meteorological power values were calculated monthly, and the total values seasonally. Wind potentiality as a renewable electric power source and its influence on the burning practices for cleaning and new budding of natural grasses were analyzed, taking into account speed and classified calm periods, as well as frequency according to the compass rose typical directions. High Humaya presents good perspectives to generate electric power for low and medium consumption. High power wind turbines are not recommended in farms of this area because wind speed is barely enough to start these machines. The situation is similar at Low Humaya where the possibility to use wind is more limited, even

though what is produced is important for the rural communities of the region. In Los Varela, expectations to produce electric power are very low. From August to December the risk of fires is high because wind speed is close to 5 ms^{-1} on top and slopes of the Humaya Hills, making it impossible to apply the prescriptive burning methodology used by experts in controlled fire management. Highly flammable material and the wind strength, able to supply enough oxygen and to carry burning material long distances, create the ideal conditions to produce massive and out of control fires.

KEY WORDS: Wind, Energy, Humaya, Catamarca, Argentina

RESUMEN

Conocer la velocidad y dirección del viento en una determinada región y su distribución mensual y estacional permite determinar tanto su potencial aprovechamiento como fuente de energía alternativa como su influencia en la agricultura y la preservación del ambiente. Las Sierras de Humaya, situadas en el Departamento Ambato – Provincia de Catamarca, por su altura sobre el nivel del mar, tienen perspectivas interesantes de contar con vientos capaces de producir energía eléctrica suficiente para atender los requerimientos de las comunidades rurales. Esta ventaja se contrapone con los riesgos de incendios masivos y descontrolados producto de las prácticas tradicionales de quema de los pastizales naturales a la salida del invierno, para producir su rebrote anticipado y colocar allí una mayor carga de ganado.

El presente trabajo analiza las características del viento en dos localizaciones de las Sierras de Humaya, en el Departamento Ambato, a partir de los registros de velocidad y dirección obtenidos desde enero a diciembre inclusive, del año 2002. Los mismos se comparan con los datos eólicos disponibles de Los Varela, localidad situada sobre la misma longitud oeste, pero en el valle intermontano. Se muestra la distribución de la frecuencia relativa de velocidad del viento ajustada matemáticamente aplicando el modelo probabilístico de Distribución Teórica de Weibull II. Se calcularon los valores de energía (potencia meteorológica) para cada mes y los totales por estación del año. Se analiza su potencialidad como fuente de energía renovable y su influencia en las prácticas de quema para limpieza y rebrote temprano del pastizal natural, tomando en consideración las velocidades y calmas clasificadas y la frecuencia de ocurrencia de vientos según las direcciones típicas de la rosa de los vientos.

Se concluye que Humaya Alta, presenta buenas perspectivas para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica, especialmente para consumos bajos y medios. Las granjas eólicas con turbinas de alta potencia no son aconsejadas debido a que las velocidades de viento

escasamente superan los límites de arranque de dichas máquinas. En Humaya de Abajo la situación es similar, pero las posibilidades de aprovechar el viento para generar energía se limitan aún más a las turbinas lentas y para bajo consumos, lo cual no deja de ser importante para los consumos ordinarios de las comunidades rurales de la zona. Los Varela, tiene muy pocas expectativas energéticas.

Entre agosto y diciembre, en las laderas y cumbre de Humaya, los vientos alcanzan velocidades cercanas a los 5 ms^{-1} o la superan, durante la mayor parte del tiempo, tornándose de alto riesgo de incendios ya que se supera los valores recomendados para todos los métodos de quema prescripta que utilizan los expertos en el manejo controlado del fuego. El material altamente combustible que presenta la región en esa época y la energía del viento, capaz de suministrar suficiente oxígeno y transportar material incandescente a largas distancias, generan las condiciones ideales para producir incendios masivos y descontrolados.

PALABRAS CLAVES: Viento, Energía, Humaya, Catamarca, Argentina

INTRODUCCIÓN

Conocer la velocidad y dirección del viento y su distribución en los meses del año es fundamental si se piensa en aprovechar su potencial para generar energía. En las zonas rurales, donde la disponibilidad de energía eléctrica es escasa o nula, la generación eólica puede ser una solución para atender los bajos consumos que requieren las familias, teniendo en cuenta principalmente que se trata de una fuente limpia, renovable y de instalación modular individual, que no requieren inversiones elevadas como ocurre cuando se necesitan los tendidos eléctricos convencionales.

Si el potencial eólico es importante, se puede incluso pensar en instalaciones mayores, tales como las granjas eólicas, que se están imponiendo fuertemente en el mundo a partir de la necesidad de suplir o suplementar la escasez de petróleo o de disminuir el consumo de combustibles fósiles, ante los serios peligros de contaminación ambiental del planeta.

Como factor agroclimático, su conocimiento analítico y cuantitativo constituye, además, un aporte importante para definir prácticas agrícolas y desarrollar estrategias de manejo agrosilvopastoril.

Tanto en la toma de decisiones para controlar o aprovechar sus efectos y diseñar estrategias de acción que tengan al viento como uno de sus protagonistas, como para las posibilidades y métodos de cultivo, los requerimientos hídricos en relación al desecamiento del suelo, los riesgos erosivos, el manejo del fuego en pastizales naturales, la contaminación

ambiental por agroquímico y sus efectos en las poblaciones y en la biodiversidad, entre otros, están estrechamente vinculados con la cuantía y comportamiento del viento en la región.

En las Sierras de Humaya, situadas en el Departamento Ambato – Provincia de Catamarca, es común la práctica de quemar el pastizal y el arbustal natural a la salida del invierno, para producir su rebrote anticipado y colocar allí una mayor carga de ganado. Esta práctica viene de antes de la Conquista, aunque los nativos lo usaban con fines no ganaderos. Importantes áreas de bosque nativo se fueron transformando en abras de pastizales a partir de esta práctica que se extiende a gran parte de la región montañosa catamarqueña y del NOA.

La quema no planificada y sin control comúnmente produce incendios masivos que alteraran la estructura del ecosistema, afectando seriamente el suelo, el microclima y fundamentalmente la dinámica del agua, en una región con fuertes pendientes y lluvias concentradas. Para evitar esta situación, es fundamental planificar las quemas, es decir, se deben implementar “quemadas prescriptas”, controladas por personal calificado, con un monitoreo permanente de la temperatura de la llama y del suelo, la humedad del material combustible, la velocidad del viento y la humedad relativa del aire (Dentoni, 2003; Moscovich y Kunst, 1996).

Gran parte de la legislación y normativa existente en el país para el uso prescripto o racional del fuego, estipulan su aplicación con viento inferior a los 20 Km/h. ($5,5 \text{ ms}^{-1}$), una temperatura del aire inferior a los $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa ambiente superior al 30%.

Lo expuesto amerita la importancia de conocer las características del viento, fundamentalmente su variabilidad temporal y espacial, en un área donde no se tienen registros a nivel de la cumbre serrana y sobre la ladera oriental. Para ello se requiere mediciones continuas y sistematizadas de la velocidad media y de la dirección predominante. La determinación de la potencia meteorológica, distribuida a lo largo del período de mediciones, permitirá conocer su real posibilidad de aprovechamiento como fuente de energía renovable y proporcionará la información básica para la selección de las turbinas eólicas y el dimensionamiento integral del módulo energético. Los datos georreferenciados y procesados estadísticamente, con tratamiento digital de imágenes para la geografía en estudio y detallados en mapas eólicos, constituyen además, una herramienta valiosa para optimizar la productividad y las prácticas de manejo en las explotaciones agropecuarias, promover el uso racional y controlado de los recursos naturales y proteger la salud ambiental.

El presente trabajo analiza las características del viento en dos localizaciones de las Sierras de Humaya, en el Departamento Ambato, a partir de los registros de velocidad y dirección obtenidos desde enero a diciembre inclusive, del año 2002. Los mismos se comparan con los datos eólicos disponibles de Los Varela, localidad situada sobre la misma longitud oeste, pero al nivel del valle intermontano. Se muestran los valores de energía (potencia meteorológica)

para cada mes y agrupados según las estaciones del año. Se analiza su potencialidad como fuente de energía renovable y su influencia en las prácticas de quema para limpieza y rebrote temprano del pastizal natural, tomando en consideración las velocidades y calmas clasificadas y la frecuencia de ocurrencia de vientos según las direcciones de la rosa de los vientos.

MATERIAL Y METODO

Las Sierras de Humaya forman parte de un grupo de sierras localizadas al norte del paralelo de 28° de latitud Sur, orientadas en dirección norte-sur y situadas entre los dos cordones principales que limitan el Valle Central: las sierras de Alto-Ancasti y Ambato-Manchao. Al este de Humaya se encuentran las Sierras de Balcozna-Lampazo-Graciana, formando entre ambas un valle surcado por el Río de Los Puestos. La Cuesta de Humaya, orientada en dirección este-oeste y con una extensión de 11 Km, se inicia en la localidad de Los Varela, en dicho valle intermontano y trepa las sierras hasta la cumbre, también conocida como “Altos de Humaya” (Figura N° 1).

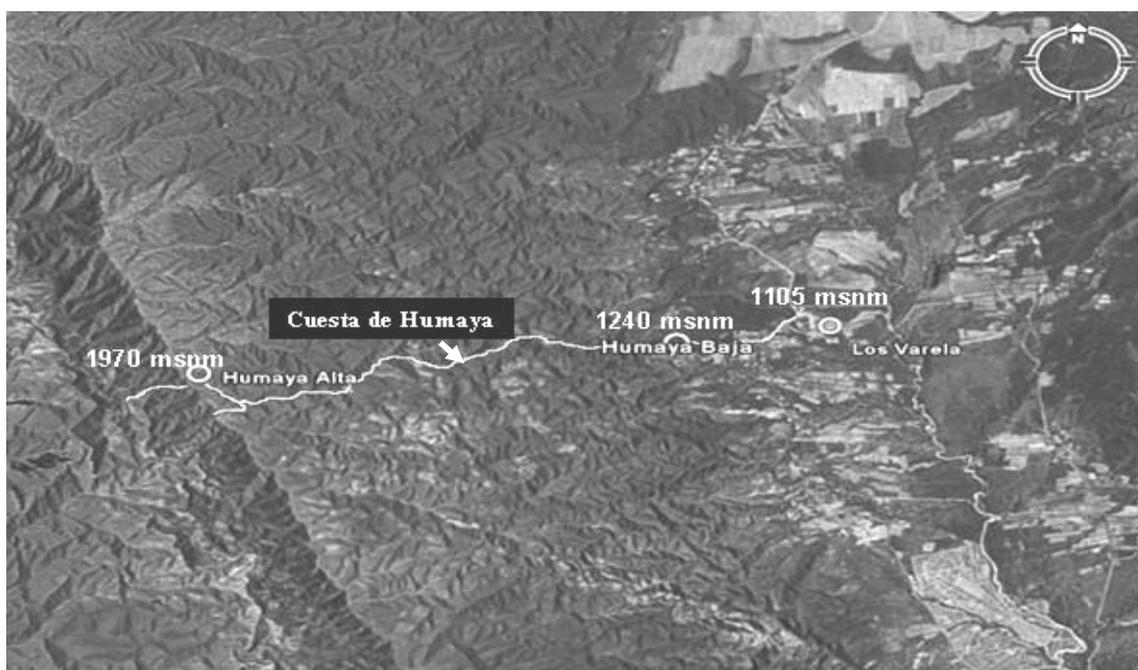


FIGURA N° 1: Vista satelital de la Cuesta de Humaya y la localización de las tres (3) estaciones registradoras: Humaya Alta (1970 msnm); Humaya de Abajo (1240 msnm) y Los Varela (1105 msnm). Dpto. Ambato - Catamarca

Desde el punto de vista fitogeográfico, las Sierras de Humaya permiten diferenciar tres niveles: un primer nivel, entre los 700-800 y los 1500 msnm., que presenta una fisonomía de bosque (Bosque Serrano), de mayor densidad en las laderas del este y hacia el sur, en razón de

un microclima más húmedo. Entre los 1500 y los 1800 msnm., encontramos un nivel de tipo arbustal-pastizal, de base gramínea. Por encima de ese nivel, tenemos el pastizal de altura, desapareciendo casi totalmente las leñosas y la vegetación consiste en una asociación de gramíneas (de la Orden y Quiroga, 1997; Quiroga et al, 2001).

Para conocer las características del viento en distintos niveles de altitud sobre el nivel del mar, se instalaron dos estaciones anemométricas de registro de velocidad y dirección. La primera, identificada en adelante como “*Humaya Alta*”, se instaló en la cumbre, sobre los 27° 56' 11" Latitud sur y 65° 56' 46" de Longitud Oeste, y a 1970 msnm. La segunda estación, que la identificamos como “*Humaya de Abajo*”, se instaló en un espacio abierto sobre el faldeo de la “Cuesta de Humaya”, en las coordenadas 27° 55' 54" Latitud Sur y 65° 53' 01" Longitud Oeste, a 1240 msnm; La temperatura media anual para el período de medición fue de 16 °C y 17 °C respectivamente según datos inéditos proporcionados por la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCa), registrados en la Estación de El Bolsón, localidad ubicada dentro del área considerada.. El régimen pluviométrico promedio anual de Los Varela es de 506,13 mm y de 789,98 mm para Humaya Alta (Palmieri et al, 2005). Ambas estaciones empezaron a funcionar en forma regular a partir del mes de enero de 2002.

Para comparar las características del viento en las distintas alturas de las sierras con las condiciones del valle del Río Los Puestos, se tomaron los registros de una estación ubicada en Los Varela, situada en las coordenadas: 27°56'54" Latitud Sur y 65°52'06" Longitud Oeste y a 1105 msnm (Sequi et al., 1999). Las variables climáticas (temperatura, humedad relativa, régimen pluviométrico, presión atmosférica) en el año 1996 y el 2002 son las normales para la región, por lo que se consideró que las condiciones de viento también lo son. Como se observa, las tres localizaciones están situadas prácticamente sobre la misma longitud (65° 53’).

Las estaciones anemométricas instaladas son marca BAPT, modelo EVD-1B, con sensor de velocidad modelo SV-1, de tres copelas troncocónicas, de 50 mm de diámetro, con vértice semiesférico y ± 0.2 m/s o 2 % de exactitud y sensor de dirección de viento modelo SD-1, que registra según las 16 direcciones establecidas en la rosa de los vientos.

Los datos de velocidad media horaria fueron procesados estadísticamente agrupando los valores en rangos de 1 m/s de amplitud, determinándose para cada mes completo de medición, sin datos faltantes la frecuencia de ocurrencia de cada rango de velocidad. Posteriormente los histogramas fueron ajustados matemáticamente con la función de distribución teórica de Weibull II (Mattio y Ponce, 1998), cuya expresión es:

$$f(V) = \frac{K}{C} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} \text{Exp} \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad \text{siendo} \quad K = \left[\frac{\sigma}{\mu} \right]^{-1,086} \quad C = \frac{\mu}{\Gamma \left[1 + \frac{1}{K} \right]}$$

K = parámetro de forma **σ** = Desv. Estándar **Γ** = Función Gamma.
C = parámetro de escala **μ** = Velocidad media del período considerado

La energía teórica máxima o potencia meteorológica por unidad de tiempo y de área, (Área = 1m²) del aire en movimiento se calculó a partir de los datos reales aplicando la expresión:

$$P_m = \frac{1}{2} \delta V^3$$

P_m = Potencia meteorológica (W/m²)

δ = Densidad del aire (Kg/m³)

V = Velocidad del flujo de aire (m/s)

También podemos calcular la distribución de energía eólica mensual a partir de la función de densidad de probabilidad (f(v)), cuya expresión es:

$$Pm = \frac{1}{2} \delta A \int_0^{\infty} V^3 f(v) dv$$

Los sensores se ubicaron a 10 metros de altura desde el nivel de piso, siguiendo las normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En razón de que los aerogeneradores con eje horizontal de rotación de las palas se ubican a una altura igual o mayor de 30 m, se calculó la velocidad media a ese nivel aplicando la siguiente relación (Sedefian, 1979; Mattio y Ponce, op cit.):

$$\frac{V_{m(z)}}{V_{m(r)}} = \left[\frac{Z}{r} \right]^{\alpha}$$

V_{m(z)} = Velocidad media a la altura (Z) de extrapolación (m/s).

V_{m(r)} = Velocidad media a la altura de referencia (m/s)

Z = Altura a la cual se va a extrapolar (m).

r = Altura de referencia (m).

α = coeficiente de rugosidad del terreno.

Para la estación “*Humaya Alta*”, por estar ubicada en una zona con características fisiográficas y de vegetación similares a la cumbre de las Sierras El Alto-Ancasti, se tomó como coeficiente de rugosidad $\alpha = 1/10$, valor calculado empíricamente a partir de sensores instalados a 10 m y 30 m, en La Aguadita; Dpto. Ancasti – Catamarca (Gómez et al, 2003). Para “*Humaya de Abajo*” se tomó como coeficiente de rugosidad $\alpha = 1/7$, valor comúnmente aceptado para alturas entre 1,5 m y 120 m, durante condiciones estables.

A los fines del estudio, el año se dividió en las cuatro estaciones tomando como otoño a los meses de abril, mayo y junio; invierno a los meses de julio, agosto y septiembre; la primavera concentra los meses de octubre, noviembre y diciembre y el verano se integra con los meses de enero, febrero y marzo.

También se registró la dirección predominante del viento. Cada $22,5^\circ$ se ha fijado una dirección por lo cual se presentan 16 distintas direcciones, es decir, las típicas de la rosa de los vientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

El cuadro N° 1 muestra, para el período medido y para las tres estaciones anemométricas, la velocidad media mensual y anual a 10 m y 30 m de altura sobre nivel de piso, el valor modal de velocidad y la desviación estándar.

Para *Humaya Alta* y *Humaya de Abajo*, entre agosto y diciembre se verifican las velocidades medias más altas. Los Varela, si bien también registra sus medias elevadas, tiene una distribución mensual más homogénea. Para las dos primeras localizaciones, diciembre sobresale como un mes muy ventoso ($5,7 \text{ ms}^{-1}$ y $5,3 \text{ ms}^{-1}$), mientras que el resto de los meses están muy cercanos a la media anual ($4,6 \text{ ms}^{-1}$ y $4,1 \text{ ms}^{-1}$), salvo el mes de marzo. Sin embargo, si se comparan los valores modales de diciembre y agosto de las dos estaciones, se puede verificar que este último presenta una mayor cantidad de horas con valores de 4 ms^{-1} , es decir, tiene una mayor regularidad de viento con velocidades altas. Esta característica también se presenta similar para octubre y noviembre en *Humaya Alta*, pero no tanto para *Humaya de Abajo*, posiblemente porque, debido a su localización más “encajonada” entre los dos cordones serranos, sufre la influencia distorsiva que ejerce el complejo sistema orográfico oriental de la Sierra de Balcozna-Lampazo-Graciana y la propia ladera oriental de las Sierras de Humaya. En *Humaya Alta*, al estar más libre de “encajonamientos”, hay una mayor regularidad a lo largo de todo el año. En Los Varela, el valle constituye un “corredor” que direcciona y conduce el viento, produciendo un flujo de viento continuo pero de baja velocidad con respecto a las anteriores. En este sentido, podemos confirmar el notable aumento de la velocidad del viento en función de la altitud sobre el nivel del mar.

CUADRO N° 1: valores de velocidad media a 10m y a 30m de altura, mensual, estacional y promedio anual. Valor mas frecuente de velocidad (moda) y desviación estándar, para cada mes, estación y al año. Humaya Alta y Humaya de Abajo: Año 2002. Los Varela: Año 96 – Dpto. Ambato – Catamarca.

En las tres localizaciones, tomando desde julio a diciembre (invierno y primavera), se registran los valores estacionales de velocidad media más elevados, sin diferencias significativas

Meses	Humaya Alta				Humaya de Abajo				Los Varela			
	Media 10 m	Media 30 m	Moda 10 m	DS 10 m	Media 10 m	Media 30 m	Moda 10 m	DS 10 m	Media 10 m	Media 30 m	Moda 10 m	DS 10 m
Enero	4,6	5,1	4,1	1,47	4,0	4,7	3,7	1,46	3,1	3,7	3,2	1,39
Febrero	4,2	4,7	3,9	1,40	3,8	4,4	3,4	1,40	3,1	3,6	2,8	1,37
Marzo	3,7	4,1	2,8	1,53	3,2	3,7	2,5	1,54	3,1	3,6	2,8	1,40
Verano	4,2	4,6	2,8	1,51	3,7	4,3	2,7	1,51	3,1	3,6	2,8	1,39
Abril	4,1	4,6	3,6	1,56	3,2	3,7	2,9	1,36	3,2	3,8	2,6	1,29
Mayo	4,5	5,0	3,2	2,51	4,3	5,0	3,7	2,05	3,2	3,7	2,8	1,27
Junio	4,6	5,1	2,8	2,75	4,6	5,4	2,8	2,75	3,4	4,0	2,8	1,45
Otoño	4,4	4,9	3,6	2,36	4,0	4,7	3,4	2,12	3,3	3,8	2,8	1,34
Julio	4,3	4,8	2,4	2,19	4,1	4,8	3,7	1,36	3,6	4,2	2,4	1,56
Agosto	4,8	5,4	4,0	2,01	4,1	4,8	4,1	1,51	3,6	4,2	3,6	1,44
Septiembre	4,9	5,5	3,2	1,91	4,1	4,8	3,3	1,54	3,2	3,8	3,1	1,38
Invierno	4,7	5,2	3,2	2,06	4,1	4,8	3,7	1,47	3,5	4,1	2,4	1,47
Octubre	4,8	5,4	3,9	1,98	4,0	4,7	3,1	1,61	3,5	4,1	2,8	1,38
Noviembre	4,9	5,5	3,9	1,62	4,1	4,8	2,6	1,62	3,3	3,9	2,8	1,43
Diciembre	5,7	6,4	3,9	1,92	5,3	6,2	3,9	1,89	3,3	3,9	2,4	1,23
Verano	5,1	5,8	3,9	1,89	4,5	5,2	3,1	1,80	3,4	3,9	2,8	1,35
Anual	4,6	5,1	3,6	2,01	4,1	4,8	3,7	1,77	3,3	3,9	2,8	1,40

entre *Humaya Alta* y *de Abajo* (0,4 y 0,3 ms⁻¹ entre los promedios de cada estación), aunque con una mayor diferencia con respecto a Los Varela.

La figura N° 2 muestra la variación mensual de la frecuencia relativa de ocurrencia de velocidad de viento en las dos localizaciones más elevadas, para todo el período considerado, ajustada por la función de Distribución Teórica de Weibull II.

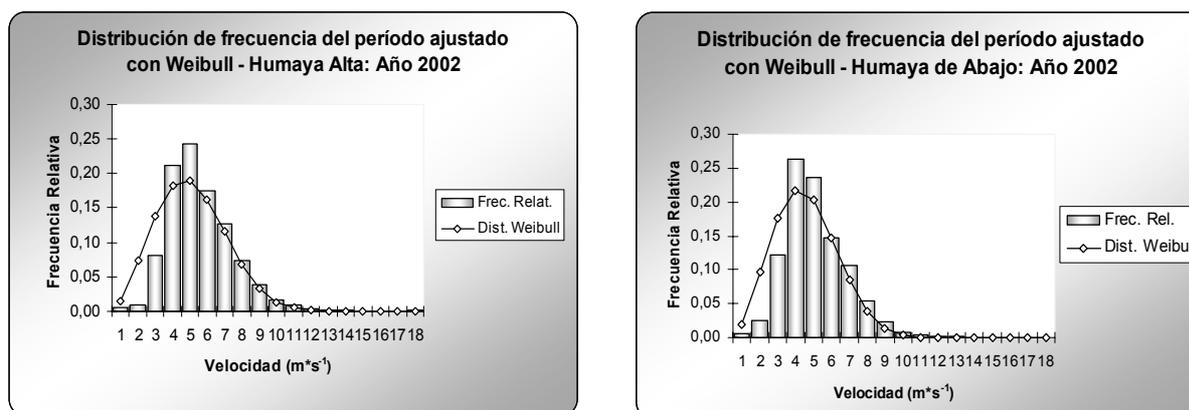


FIGURA N° 2: Histograma de Distribución de Frecuencia Relativa anual, ajustada matemáticamente con la función de Weibull II, para ambas estaciones registradoras. Humaya Alta y Humaya de Abajo – Año 2002.

En el caso de *Humaya Alta*, sobre un total de 8.756 horas correspondientes al período medido, el 90,5 % registraron una velocidad superior a los $3,5 \text{ ms}^{-1}$. En tanto que el 45 % de los valores supera los $5,5 \text{ ms}^{-1}$. Esto muestra la existencia de vientos continuos, con buenas perspectivas para producir energía eólica pero con alto riesgo para el ecosistema, ya sea por procesos erosivos y fundamentalmente por los riesgos de incendios cuando se practica la tradicional quema de renovación.

Desde el punto de vista agroecológico, estos registros muestran la peligrosidad de realizar quemas de pastizales si no son controladas (quema prescripta) y guiada por personal calificado. Cuando se pretende erradicar o controlar leñosas, se requiere de alta intensidad de fuego, como para destruir el cambium de la planta. En estos casos, la quema no puede realizarse con vientos que superen los 4 ms^{-1} . Como puede observarse, entre agosto y noviembre, época en la que los productores locales realizan la quema, los valores promedio de velocidad alcanzan prácticamente los 5 ms^{-1} . En ese período, más del 75 % de los valores registrados superan los $4,5 \text{ m}$. diciembre, mes en el cual todavía se suelen ver quemas en los cerros, el 86 % de los registros supera los $4,5 \text{ ms}^{-1}$.

Los registros indican que en la cumbre de las Sierras de Humaya, los vientos son continuos en la época de quema y prácticamente se puede considerar que no existen períodos de calmas importantes, puesto que en agosto y septiembre solo un 3 % y 2,4 % respectivamente de las horas presentan velocidades inferiores a 3 ms^{-1} , mientras que en noviembre y diciembre los valores son de 1,3 % y 0,7 %.

En *Humaya de Abajo* la situación no es muy diferente. El 84,6 % de los valores registrados en el período medido registra una velocidad superior a $3,5 \text{ ms}^{-1}$ y el 34,8 % presenta valores superiores a $5,5 \text{ ms}^{-1}$. Es evidente que tiene buenas perspectivas para producir energía para bajo

consumos. Las eólicas rápidas tendrían poco rendimiento por la escasa disponibilidad de vientos superiores a 5 ms^{-1} .

En cuanto a los riesgos de producir incendios por quema no prescrita, desde agosto a noviembre, alrededor del 60 % de las velocidades registradas superan los $4,5 \text{ ms}^{-1}$. En diciembre, el 81 % supera ese valor. Los períodos de calmas son mayores a este nivel, puesto que de agosto a septiembre, un 15 % de las horas presentan velocidades inferiores a 3 ms^{-1} , mientras que en diciembre baja al 5 %.

A los 1240 msnm donde se midió la velocidad y dirección del viento, la vegetación corresponde al tipo de bosque serrano. Las laderas expuestas al Este y Sur, debido a un microclima más húmedo, presentan un bosque más denso hasta una mayor altura. Además de árboles de buen porte como orco quebracho, quebracho blanco, viscote, molles, etc., existe un piso importante de arbustos y pastos (De La Orden y Quiroga, op cit). Al final del invierno, con un régimen pluviométrico pobre, este material es fuertemente combustible. Entre mayo y noviembre la suma de lluvia caída, promedio de 14 años completos, es de 134 mm, es decir, el 37 % del régimen anual. El régimen del invierno es de solo 6,1 mm (Palmieri, op cit).

Para eliminar el matorral y favorecer el rebrote del pastizal, sin dañar el fuste de los árboles, una de las técnicas más recomendadas dentro del manejo racional del fuego es la de "fuego en retroceso", pero ella exige velocidades de viento inferior a los 5 Km/h ($1,4 \text{ ms}^{-1}$), lo cual dificulta mucho la oportunidad de aplicarla en la región.

En los Varela, los vientos registrados no tienen mucha importancia para producir energía, solamente pueden aprovecharse para mover máquinas lentas (molinos americanos) y máquinas de baja potencia. Esta situación desfavorable desde lo energético, es una ventaja para manejar más estratégicamente el fuego de limpieza. No obstante, para evitar incendios masivos, siempre se debe planificar la quema y elegir los días en que el viento presenta una velocidad no mayor a los 3 ms^{-1} y es constante en cuanto a su dirección. Esto último no es difícil de lograr en el piedemonte de las Sierras de Humaya que presenta un relieve regular y medianamente ondulado, hasta los 1100 msnm y direccionado por el corredor.

La Figura N° 3 muestra la curva anual de las velocidades clasificadas para el período medido, correspondiente a ambas localizaciones de la Cuesta de Humaya. Como se observa, las velocidades superiores a $3,5 \text{ ms}^{-1}$ suman una cantidad importante de horas, para las dos estaciones registradoras, lo cual indica la posibilidad de aprovechamiento energético.

En general podemos decir que, pasando los 1200 msnm, el viento existente se sitúa en la escala 3 y 4 de Beaufort (Le Gourrieres, 1983), considerado interesante para las máquinas eólicas lentas (molinos americanos) y para algunas eólicas rápidas que, con la nueva tecnología desarrollada en la actualidad, pueden arrancar con velocidades algo menores a $4,5 \text{ ms}^{-1}$.

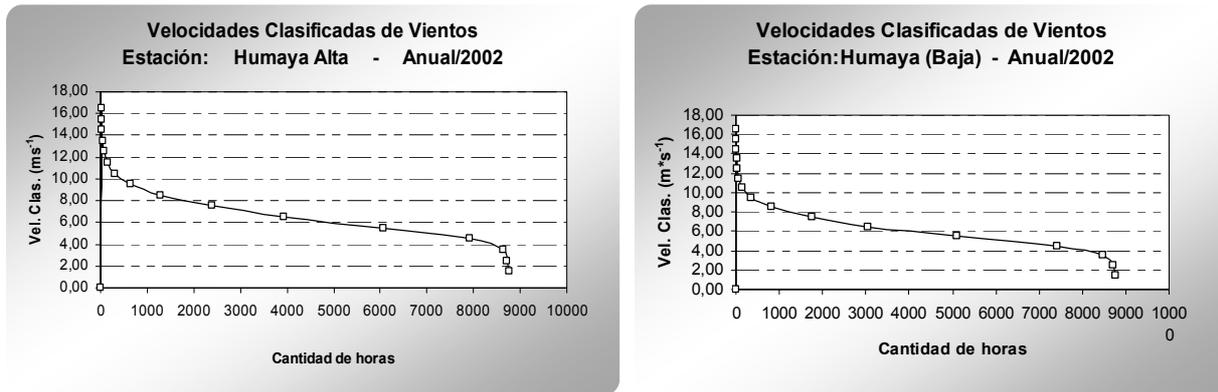


FIGURA N° 3: Curva de velocidades clasificadas por rangos de 1 ms^{-1} para el período de medición. Humaya Alta y Humaya de Abajo: Año 2002.

La Figura N° 4 muestra las curvas anuales correspondientes a los períodos de calma, para un límite inferior de velocidad de 3 ms^{-1} y de 5 ms^{-1} , para *Humaya Alta*, por ser la que tiene mejores perspectivas de aprovechamiento como fuente energética. Cuando la velocidad se hace inferior al valor mínimo de arranque de una turbina, se considera que existe un "período de calma", dentro del cual no se puede generar energía o bombear agua en el caso de los molinos americanos. Teniendo presente la cantidad de períodos de calmas se diseñan los sistemas de acumulación energética. Como observamos, hay muy pocos períodos al año en donde la velocidad se mantiene por debajo de los 3 ms^{-1} por más de 5 horas. Esto muestra las oportunidades de las eólicas lentas. Igualmente, podemos considerar normal para las características del viento en la región, la cantidad de períodos (aproximadamente 4000) en donde la velocidad baja de los 5 ms^{-1} durante 5 horas. Esto también hace interesante la posibilidad de uso de las turbinas rápidas que arrancan con velocidades entre $4,5 \text{ ms}^{-1}$ y $5,5 \text{ ms}^{-1}$.

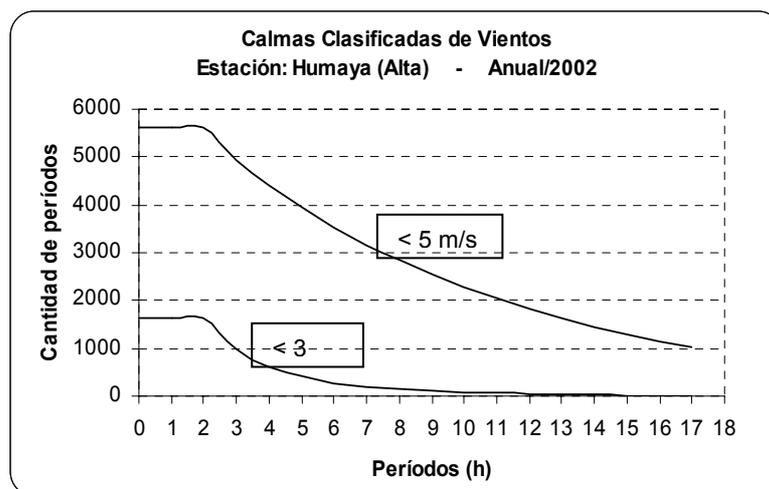


FIGURA N° 4: Períodos de calmas, clasificados por horas de duración, donde la velocidad media horaria es inferior a 3 ms^{-1} y a 5 ms^{-1} , por ser consideradas límites para el arranque de las turbinas lentas y rápidas respectivamente. Humaya de Arriba: Año 2002. Dpto. Ambato – Catamarca.

Esta característica de tener pocos períodos al año, donde la velocidad baja de los 3 ms⁻¹ por más de 3 a 4 horas, muestra los riesgos que se corren cuando se realizan quemas sin control. Se puede iniciar el fuego en condiciones de poco viento, pero, según muestran los registros, a las pocas horas el viento aumenta notablemente su velocidad.

CUADRO N° 2: valores de energía meteorológica ($Kwh*m^{-2}$), calculados sobre velocidades reales medidas a 10 m sobre el nivel de piso, para cada una de las estaciones anemométricas consideradas en el estudio. Dpto. Ambato – Catamarca.

⁽¹⁾ Valores correspondientes al año 2002; ⁽²⁾ Valores correspondientes al año 1996.

M e s e s	HUMAYA ALTA			HUMAYA DE ABAJO			LOS VARELA		
	<i>Energía Meteorológica [Kwh*m⁻²]</i>								
	Energía	Estación	Energía	Energía	Estación	E n e r g í a	Energía	Estación	E n e r g í a
Enero	51,40	V e r a n o	146,11	36,88	V e r a n o	108,09	19,24	V e r a n o	67,19
Febrero	35,23			28,16			16,58		
Marzo	31,38			22,26			18,45		
Abril	39,19	O t o ñ o	272,10	19,95	O t o ñ o	196,61	19,36	O t o ñ o	77,30
Mayo	245,47			50,15			18,85		
Junio	88,70			88,70			24,23		
Julio	64,88	I n v i e r n o	248,03	35,79	I n v i e r n o	140,60	28,81	I n v i e r n o	94,84
Agosto	70,13			39,83			27,89		
Septiembre	65,31			37,95			19,90		
O c t u b r e	67,48	P r i m a v e r a	277,36	38,94	P r i m a v e r a	194,88	25,21	P r i m a v e r a	83,88
Noviembre	59,64			38,80			21,96		
Diciembre	96,90			79,66			20,57		
Total Anual	943,59⁽¹⁾		943,59	640,19⁽¹⁾		640,19	323,20⁽²⁾		323,20

El Cuadro N° 2 muestra los valores de energía meteorológica mensuales y estacionales para cada localización, tomando en cuenta que *Humaya Alta* y *Humaya de Arriba* corresponden al Año 2002 y Los Varela al Año 1996.

La Figura N° 5 muestra la distribución de ocurrencias en las direcciones de la rosa de los vientos para el período registrado y para las tres estaciones anemométricas.

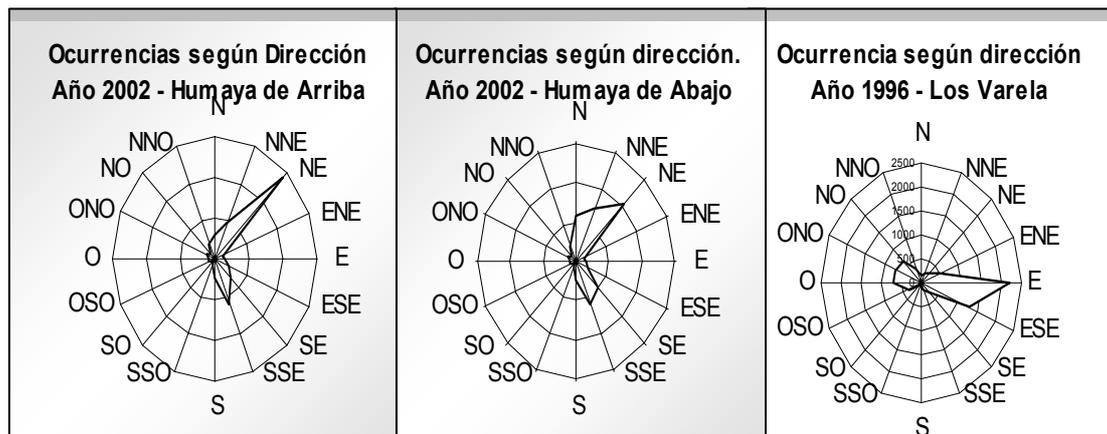


FIGURA N°5: Distribución de la frecuencia (ocurrencia) de dirección de viento según la rosa de los vientos, para cada una de las localizaciones: Humaya Alta y Humaya de Abajo. Año 2002; Los Varela: Año 1996.

Como se observa, *Humaya Alta*, al estar más libre de la influencia de los cordones serranos, presenta la típica dirección NE del viento característico del Noroeste, principalmente el conocido “viento zonda”. La influencia de los cordones montañosos se nota claramente en las otras dos ubicaciones. En *Humaya de Abajo*, el corredor de viento hace que el flujo se desvíe un poco más hacia las posiciones N y NNE. En Los Varela, la baja velocidad media hace que el flujo sufra la influencia del calentamiento de las laderas: oriental de las Sierras de Humaya y occidental de las Sierras de Balcozna-Lampazo-Graciana. La primera, al estar más tiempo bajo la radiación solar, genera una corriente convectiva este-oeste que modifica la dirección NE original del viento. Esto es muy importante para tener en cuenta cuando se planifica una “quema prescrita”.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista energético, *Humaya Alta*, al tener algo más del 90 % de los registros con una velocidad promedio superior a los $3,5 \text{ ms}^{-1}$ (4 ms^{-1} a 30 m de altura sobre el piso) y 45 % con un promedio superior a los $5,5 \text{ ms}^{-1}$ ($6,3 \text{ ms}^{-1}$ a 30 m de altura sobre el piso), presenta buenas perspectivas para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica, especialmente para consumos bajos y medios, tal como ocurre en las zonas rurales. Las turbinas de alta potencia no alcanzarían un alto rendimiento como para aspirar a granjas eólicas de importancia. Sin embargo, el avance tecnológico en este sentido deja abierta muy buenas posibilidades futuras.

En *Humaya de Abajo* la situación es similar, aunque los registros de velocidades horarias promedio superiores a $5,5 \text{ ms}^{-1}$ se reducen al 34,8 %. Las posibilidades de aprovechar el viento para

generar energía se limitan aún más a las turbinas lentas y para bajo consumos, lo cual no deja de ser importante para los consumos ordinarios de las comunidades rurales de la zona.

Los Varela, en cambio, tienen muy pocas expectativas energéticas. Esto muestra cómo, en una región de fuerte relieve montañoso, el viento modifica notablemente su velocidad y dirección en cortas distancias. Ello impide transpolar los datos si se pretende fiabilidad en el conocimiento de sus posibilidades energéticas, haciendo necesario contar con registros que cubran los múltiples “corredores” que se generan.

Es importante destacar la presencia de vientos continuos prácticamente a lo largo de todo el año. Esto es más evidente en las localizaciones de mayor altura sobre el nivel del mar. Esta situación debe ser muy tenida en cuenta por los organismos públicos de control ambiental y los productores privados, ante la tradición generalizada de producir quemas de limpieza, especialmente en los faldeos y cumbres serranas. Entre agosto y diciembre, en las laderas y cumbre de Humaya, los vientos alcanzan velocidades cercanas a los 5 ms^{-1} o la superan, durante la mayor parte del tiempo. Se trata de vientos cálidos y secos, conocidos como “zonda”, prevaleciendo las direcciones NNE y NE. Estas condiciones exceden los valores límites recomendados para todos los métodos de quema prescripta que utilizan los expertos en el manejo controlado del fuego.

Noviembre y diciembre son meses de alto riesgo, especialmente este último, donde el 86 % de las horas presentan vientos que superan los $4,5 \text{ ms}^{-1}$. El material altamente combustible que presenta la región en esa época, los largos períodos de sequía propios de la salida del invierno y la energía del viento, capaz de suministrar suficiente oxígeno y transportar material incandescente a largas distancias, generan las condiciones ideales para producir incendios masivos y descontrolados.

Esto debería ser una importante alerta para monitorear la región y autorizar solo aquellas quemas planificadas con anticipación a agosto, utilizando una metodología de eficacia probada y bajo un estricto control de personal entrenado en manejo de fuego.

En los Varela, con un registro de vientos que escasamente supera los 3 ms^{-1} , el fuego puede ser manejado con mayor facilidad, especialmente en el piedemonte de las sierras que presenta un relieve regular y medianamente ondulado, hasta los 1100 msnm y con una dirección previsible dada por el mismo corredor. No obstante, para evitar incendios masivos, siempre se debe planificar la quema y elegir los días en que el viento presenta una velocidad inferior a los 3 ms^{-1} .

BIBLIOGRAFIA

- *DE LA ORDEN, E. A.; QUIROGA, A.*; 1997. “Fisiografía y vegetación de la cuenca del Río Los Puestos. Departamento Ambato. Catamarca”. Revista de Ciencia y Técnica. UNCa. Catamarca N° 4, Año 3, 4: 27-45.
- *DENTONI, M.* 2003. “Meteorología y el manejo del fuego”. Fuego en los ecosistemas argentinos. Ediciones INTA; Santiago del Estero - Argentina. Cap. 3. :27-37
- *GÓMEZ, U; HERRERA, R.; SEQUI, J.; MARCHIOLI, J; FERNANDEZ, A.*; 2003; “Potencial eólico en las Sierras de El Alto y Ancasti: 1° etapa: La Aguadita - Dpto. Ancasti – Catamarca”. Actas Congreso Regional de Ciencia y Tecnología – NOA-2003. Univ. Nac. de Catamarca. Argentina. :58, 59.
- *LE GOURRIERES, D.*1983. “Energía Eólica”. Editorial Masson. :21-28.
- *MATTIO H. F.; PONCE G.*; 1998. “Nociones Generales de Energía Eólica”. Módulo de Energía Eólica – Bibliografía elaborada para la Maestría en Energías Renovables. Salta – Argentina. :102-107.
- *MOSCOVICH, F.; KUNST, C.* 1996. “Planificación de la Quema Prescripta”. Introducción a la Ecología de Fuego y Manejo de Fuego Prescripto. INTA-Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustria-UNSE.
- *PALMIERI, C. N.; OLMOS, L. R.; QUIROGA, A; DE LA ORDEN, E.; CARMA, M. I.*; 2005; “Caracterización hidroclimática de siete localidades del Departamento Ambato. Provincia de Catamarca. Argentina”; Revista del CIZAS. FCA-UNCa. Catamarca: ISSN 1515-0453; Vol VI; Núm. 1 y 2; :07-17
- *QUIROGA, A.; CORREA, R.; WATKINS, P. & OVEJERO, D.* 2001; “Evolución de la fitomasa aérea del pastizal de neblina de la Cumbre de Humaya en condiciones de exclusión del pastoreo”. Revista del CIZAS ISSN 1515-0453 FCA-UNCa. Catamarca; Vol II. :32-39.
- *SEDEFIAN, L.* 1979. On the vertical extrapolation of mean wind power density. Journal of Applied Meteorology. 19: 488 – 493.
- *SEQUI J.; HERRERA R.; MARCHIOLI J.; FERNÁNDEZ, A.*; 1999; “Disponibilidad eólica en Los Varela; Dpto. Ambato – Catamarca; Período: Abril/94 - Marzo/96”. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Vol. III, N° 1: 06.01- 06.04.