

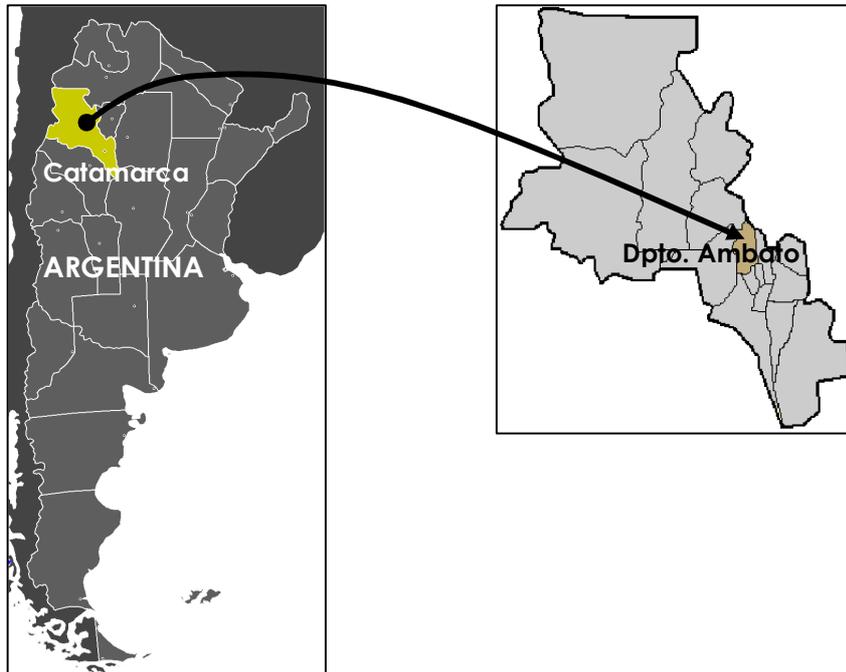


LAS CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO EN LA
REGIÓN CENTRAL DE LA PCIA. DE CATAMARCA – ARGENTINA
EL VIENTO EN LAS SIERRAS DE HUMAYA - DPTO. AMBATO

Documento técnico aportado por la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCa) y la Subsecretaría de Ciencia y Tecnología de la Pcia. de Catamarca (MECCYT).

Ing. Juan Ramón SEQUI
Ing. Rafael René HERRERA
Ing. Domingo Ulises GOMEZ
Ing. Pedro David FORESI

UBICACION GEOGRAFICA



La importancia de conocer el comportamiento del viento

Conocer la velocidad y dirección del viento y su distribución según 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 *granjas eólicas*, que se están imponiendo fuertemente en el mundo a partir de la necesidad de suplir 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.

En las zonas serranas 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 española, 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 en general 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, particularmente en una región como ésta, con fuertes pendientes y lluvias concentradas. Para evitar esta situación, es fundamental planificar las quemas, es decir, se deben implementar “quemas 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.

Gran parte de la legislación y normativa existente en el país para el uso prescripto o racional del fuego, estipulan su aplicación con vientos inferiores a los 20 Km/h ($5,5 \text{ ms}^{-1}$), una temperatura del aire inferior a los 23 °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 documento de divulgación técnica identifica 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.

Localización Geográfica:

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 de la Provincia de Catamarca: 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 Kms, se inicia en la localidad de Los Varela, en el citado valle intermontano y trepa las sierras hasta la cumbre, también conocida como “Altos de Humaya”.

Para conocer las características del viento se instalaron dos estaciones anemométricas de registro de velocidad y dirección, ubicadas a dos niveles distintos de altitud sobre el nivel del mar. 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 (Figura N° 1).

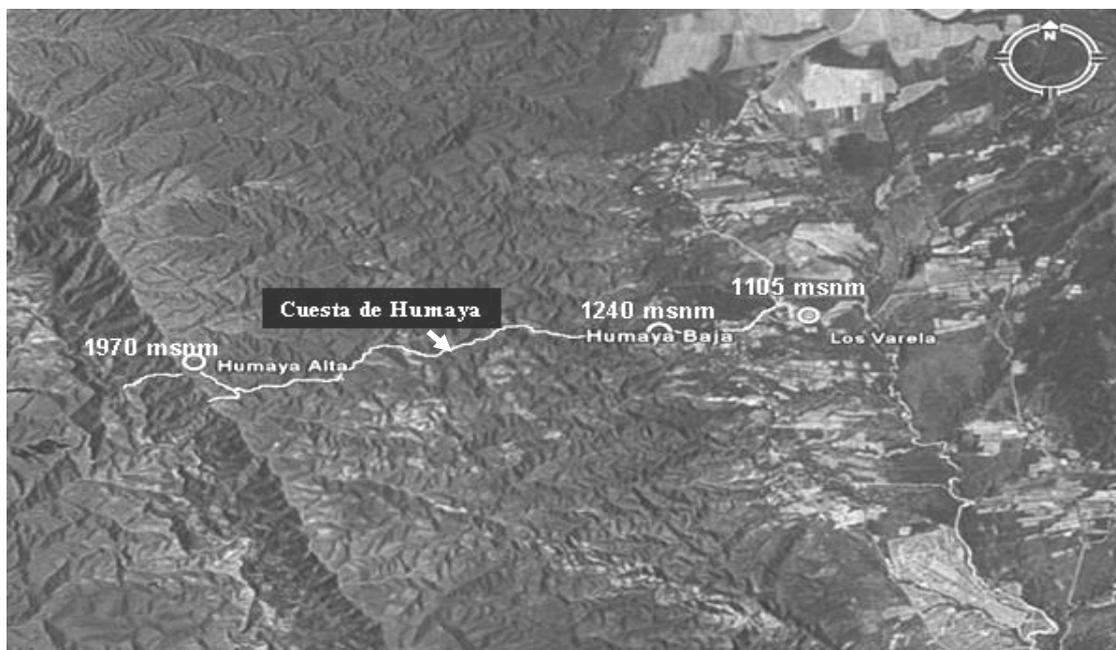


FIGURA N° 1: Vista satelital de la Cuesta de Humaya y la localización de las dos (2) estaciones registradoras: Humaya Alta (1970 msnm); Humaya de Abajo (1240 msnm). Se localiza también la localidad de Los Varela (1105 msnm). Dpto. Ambato - Catamarca

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.

Equipamiento de medición y metodología de cálculo

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.

La energía teórica máxima o potencia meteorológica por unidad de tiempo y de área, (Área = 1m^2) 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/m^2)

δ = Densidad del aire (Kg/m^3)

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:

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

$V_{m(z)}$ = 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.

Valores de Velocidad media mensual, estacional y anual; valor modal mensual, estacional y anual; desviaciones estándar con respecto a las velocidades medias.

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

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. - Dpto. Ambato - Catamarca.

Los valores registrados y almacenados en la memoria respectiva de cada estación se recolectan aproximadamente cada 60 a 70 días, para ser procesados de acuerdo con los programas informáticos seleccionados. El equipo de trabajo dispone de diseños propios basados en programas como el SPSS para Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA), para determinar, en primera instancia, los estadísticos

de posición y los valores característicos de dispersión: Varianza y Desviación estándar. En todos los casos los datos se procesan según el procedimiento del European Wind Atlas (EuWA).

Luego de agrupar los datos de velocidad media horaria en rangos de 1 m/s de amplitud, se procede a calcular la frecuencia absoluta y relativa de velocidad, para cada mes del año y con ello se construye el **Histograma de Distribución de Frecuencia Relativa** del período considerado (mensual, estacional, anual), para los valores de velocidad registrados a 10 metros sobre el nivel del piso.

Los valores discretos del histograma son transformados en una función continua, ajustándola matemáticamente con la Función de Distribución Teórica de Weibull II, con lo cual se tiene la probabilidad estadística de que ocurra una determinada velocidad (V).

A continuación se detalla información resultante del procesamiento de los datos obtenidos en ambas estaciones de medición eólica, durante el período considerado.

Histograma de Distribución de Frecuencia Relativa para todo el período de medición, ajustado matemáticamente con la Función de Distribución Teórica de Weibull II.

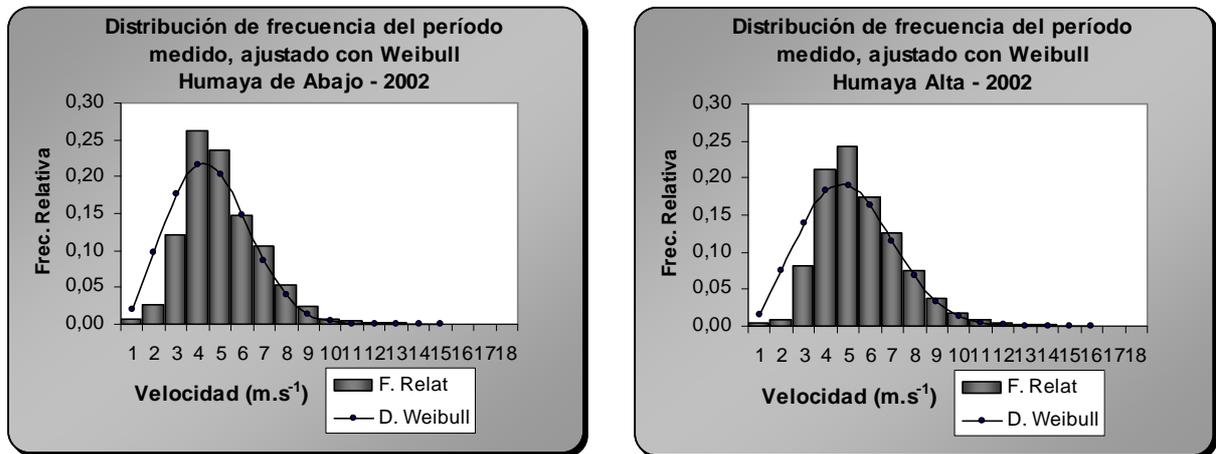


FIGURA Nº 2: Histograma de Distribución de Frecuencia Relativa anual, ajustada matemáticamente con la función de Weibull II, para ambas estaciones registradoras. Humaya Alta y Humaya de Abajo – Año 2002.

Como se puede ver en el cuadro Nº 1 y la Fig. Nº 2, desde julio a diciembre se registran los vientos con velocidad promedio más elevadas, sin diferencias significativas entre *Humaya Alta* y *de Abajo* (0,4 y 0,3 ms⁻¹ entre los promedios de cada estación).

En el caso de *Humaya Alta*, sobre un total de 8.756 horas medidas, el 90,5 % registraron una velocidad superior a los 3,5 ms⁻¹ (12,6 km/h). En tanto que el 45 % de los valores supera los 5,5 ms⁻¹ (19,8 km/h). Esto muestra que hay viento durante todo el año lo cual significa que tiene buenas perspectivas para producir energía eólica. Las máquinas eólicas llamadas *lentas*, como son los molinos americanos, arrancan con velocidades de 2,5 a 3 ms⁻¹ (9 a 10,8 km/h). En cambio las eólicas *rápidas*, conocidos como aerogeneradores de mediana y alta potencia arrancan con velocidades superiores a 5 ms⁻¹ (18 km/h).

Desde otro punto de vista, la existencia de vientos continuos, puede constituir un 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.

En efecto, 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} (14,4 km/h). 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} (18 km/h). En ese período del año, más del 75 % de los valores registrados superan los 4,5 m (16,2 km/h). Diciembre, mes en el cual todavía se suelen ver quemas en los cerros, el 86 % de los registros supera los $4,5 \text{ ms}^{-1}$ (16,2 km/h).

En resumen, 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} (10,8 km/h), 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 $3,5 \text{ ms}^{-1}$ (12,6 km/h) y el 34,8 % presenta valores superiores a $5,5 \text{ ms}^{-1}$ (19,8 km/h). 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} (18 km/h).

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 $4,5 \text{ ms}^{-1}$ (16,2 km/h). 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} (10,8 km/h), 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 ronda los 134 mm, como promedio de los últimos 14 años completos, es decir, el 37 % del régimen anual. El régimen del invierno es de solo 6,1 mm (Palmieri et al, 2005).

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.

Velocidades Clasificadas:

Para determinar las posibilidades de aprovechamiento energético a partir de máquinas lentas y rápidas y para definir las posibilidades de instalar granjas eólicas, es muy importante contar con la cantidad de horas mensuales y anuales que se presentan una velocidad determinada o superior a ella.

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.

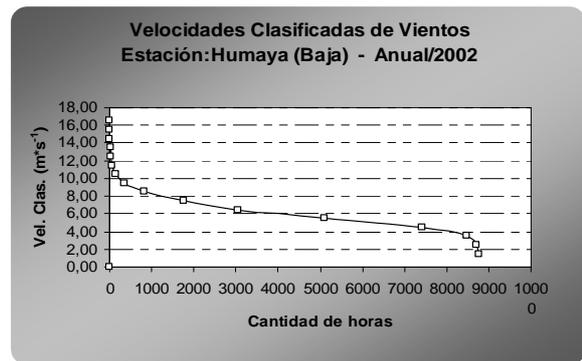
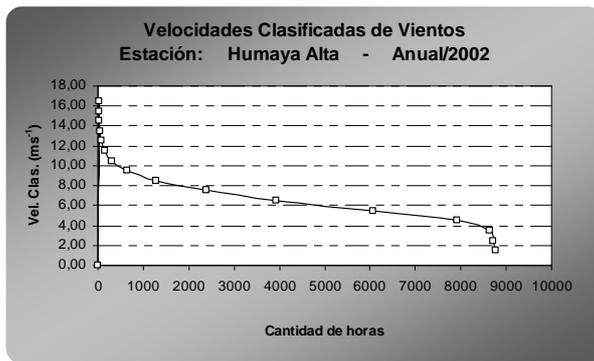


FIGURA N° 3: Curva de velocidades clasificadas por rangos de 1 ms^{-1} para el período de medición. Humaya Alta y Humaya de Abajo: Año 2002.

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 $4,5 \text{ ms}^{-1}$.

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.

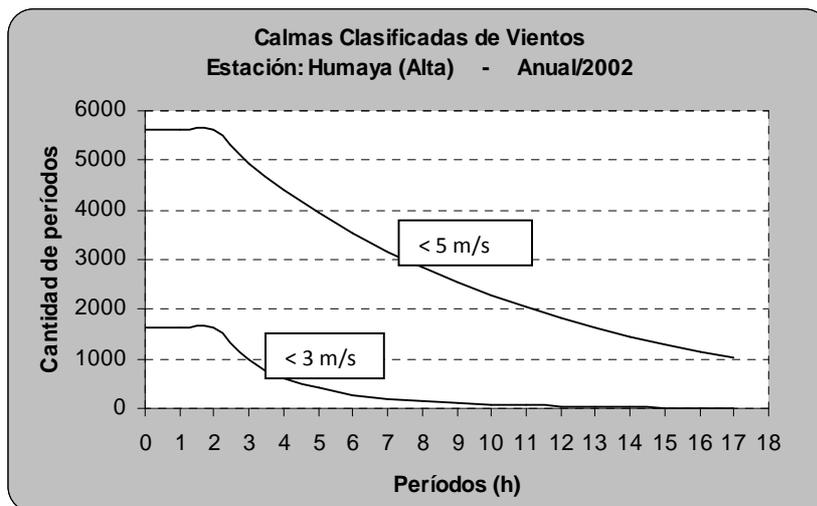


Figura N° 4: Períodos de calmas, clasificados por horas de duración, donde la velocidad media horaria es inferior a 3 ms^{-1} y a 5 ms^{-1} , por ser consideradas límites para el arranque de las turbinas lentas y rápidas respectivamente. Humaya de Arriba: Año 2002. Dpto. Ambato -

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 $5,5 \text{ ms}^{-1}$.

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.

Distribución del viento en las 24 horas del día

Como se puede observar en las Figuras N° 5 y 6, tanto para Humaya Alta como para Humaya de Abajo, el viento comienza a aumentar su velocidad entre las 9 hs y 10 hs de la mañana para alcanzar su velocidad máxima entre las 14 hs y las 16 hs. Luego comienza a descender para alcanzar una velocidad promedio cercana a $3,5 \text{ ms}^{-1}$ alrededor de la 20 hs.

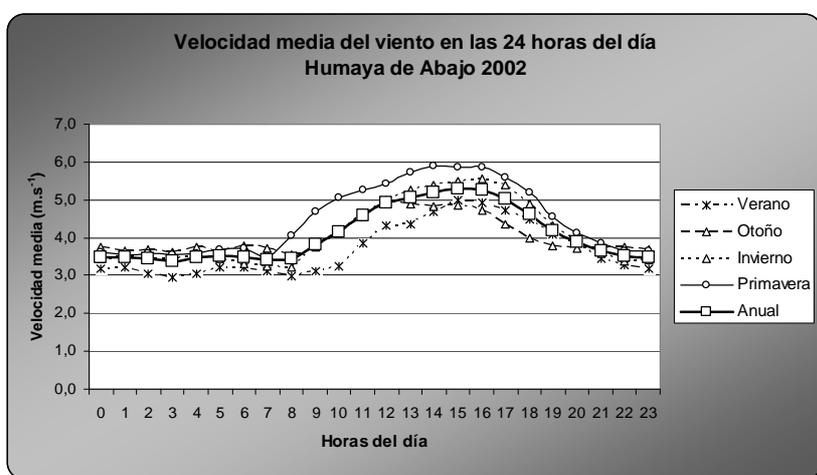


Figura N° 5: Velocidad media (promedio anual) para cada una de las 24 horas del día para Humaya de Abajo - 2002.

Este comportamiento se mantiene independiente de la estación del año, siendo la primavera la que presenta vientos de mayor velocidad, pero sus valores máximos, en general, se repiten entre las 13 hs y las 17 hs.

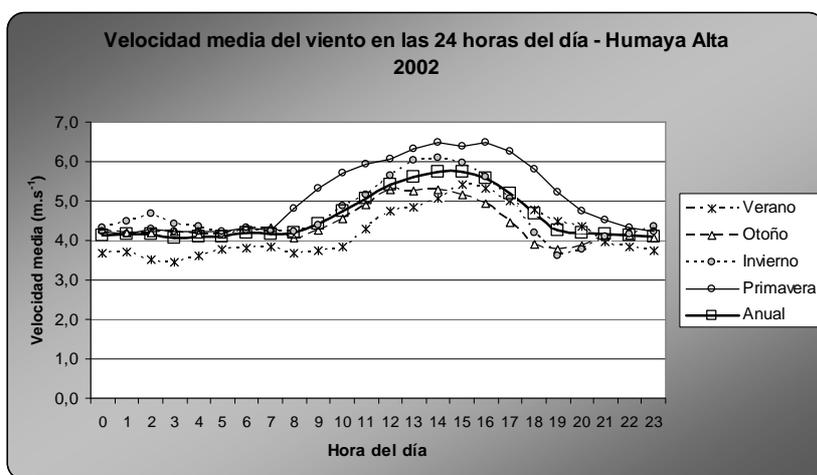


Figura N° 6: Velocidad media (promedio anual) para cada una de las 24 horas del día para Humaya de Alta - 2002.

Energía teórica máxima o potencia meteorológica

Teniendo presente que la potencia meteorológica proporcionada por el viento es proporcional al cubo de la velocidad, se puede calcular la energía por unidad de tiempo y de área, (Área = 1m²) del aire en movimiento, a partir de los datos reales, para posteriormente ajustarla con la función de densidad de probabilidad (Weibull). El cuadro N° 2 muestra los valores de energía o potencia meteorológica para las dos localizaciones, detallando su distribución mensual, estacional y el total anual.

M e s e s	HUMAYA ALTA			HUMAYA DE ABAJO		
	<i>Energía Meteorológica [Kwh*m⁻²]</i>					
	Energía	Estación	Energía	Energía	Estación	Energía
Enero	5 1 , 4 0	Verano	1 4 6 , 1 1	3 6 , 8 8	Verano	1 0 8 , 0 9
Febrero	3 5 , 2 3			2 8 , 1 6		
Marzo	3 1 , 3 8			2 2 , 2 6		
Abril	3 9 , 1 9	O t o ñ o	2 7 2 , 1 0	1 9 , 9 5	O t o ñ o	1 9 6 , 6 1
Mayo	2 4 5 , 4 7			5 0 , 1 5		
Junio	8 8 , 7 0			8 8 , 7 0		
Julio	6 4 , 8 8	Invierno	2 4 8 , 0 3	3 5 , 7 9	Invierno	1 4 0 , 6 0
Agosto	7 0 , 1 3			3 9 , 8 3		
Septiembre	6 5 , 3 1			3 7 , 9 5		
O c t u b r e	6 7 , 4 8	Primavera	2 7 7 , 3 6	3 8 , 9 4	Primavera	1 9 4 , 8 8
Noviembre	5 9 , 6 4			3 8 , 8 0		
Diciembre	9 6 , 9 0			7 9 , 6 6		
Total Anual	943,59		943,59	640,19		640,19

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.

Dirección del viento

Resulta importante conocer la dirección predominante del viento, a lo largo del año y las velocidades medias en tal dirección. Para ello, cada estación registradora dispone de un sensor que registra la dirección del viento en forma simultánea con la velocidad. Cada 22,5° se ha fijado una dirección razón por la cual se pueden registrar 16 distintas direcciones, a saber: Norte (N), Nor-noreste (NNE), Noreste (NE), Este-Noreste (ENE), Este (E), Este-Sureste (ESE), Sudeste (SE), Sur-Sudeste (SSE), Sur(S), Sur-Sudoeste (SSO), Sudoeste (SO), Oeste-Sudoeste (OSO), Oeste (O), Oeste-Noroeste (ONO), Noroeste (NO), Norte-Noroeste (NNO).

El cuadro N° 3 muestra el promedio de velocidad del viento, para ambas localizaciones, tomando en cuenta los registros de todo el año y para cada dirección. Igualmente se muestra la cantidad de veces que el viento sopló en esas direcciones, durante el año.

HUMAYA DE ABAJO																
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
Velocidad	4,9	4,2	2,9	3,0	2,6	3,3	4,1	3,2	2,0	1,7	1,9	2,4	2,5	2,4	4,2	4,4
Frecuencia	183	289	846	77	82	133	187	345	135	49	41	57	46	63	51	127
HUMAYA ALTA																
Velocidad	4,8	5,3	4,2	2,9	3,0	2,6	3,3	4,1	4,6	3,2	2,8	1,9	2,4	2,5	2,4	3,7
Frecuencia	345	437	608	77	82	133	282	345	135	49	41	57	46	63	51	127

CUADRO N° 3: Valores de velocidad media (m/s) y cantidad de ocurrencias para cada una de las direcciones de la Rosa de los Vientos, durante todo el período de estudio. Humaya de Abajo y Humaya Alta – Año 2002.

Estos datos también pueden ser graficados, según se muestra en la Figura N° 7. 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 *Humaya de Abajo*, donde el corredor de viento hace que el flujo se desvíe un poco más hacia las posiciones N y NNE.



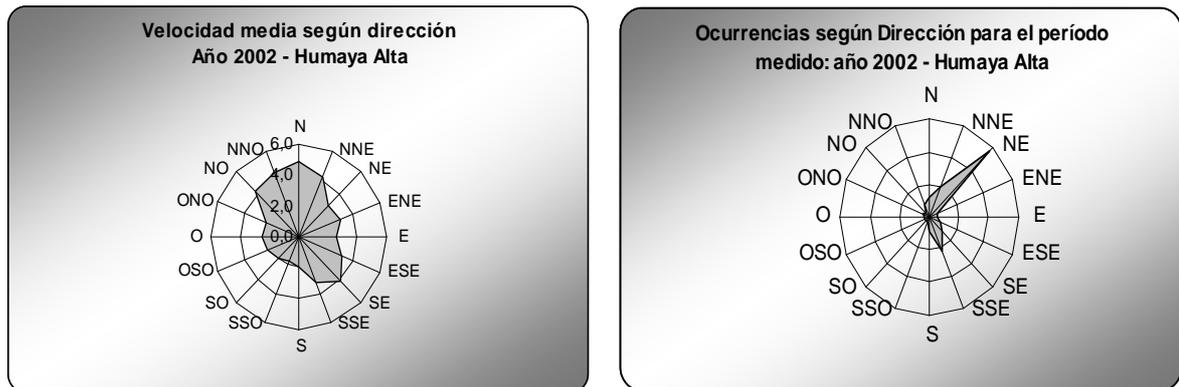


FIGURA 7: Distribución de la Velocidad media y la frecuencia (ocurrencia) de dirección de viento según la rosa de los vientos, para cada una de las localizaciones: Humaya Alta y Humaya de Abajo - Año 2002.

CONCLUSION

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.

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 prescrita 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.

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
- *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.