

**CARACTERIZACION DEL RECURSO EOLICO EN EL EXTREMO NORTE  
DE LA SUBCUENCA DEL RIO LOS PUESTOS - DPTO. AMBATO -  
CATAMARCA**

*Sequi, Juan R.<sup>(1)</sup>; Gómez, Ulises<sup>(2)</sup>; Herrera, Rafael<sup>(2)</sup>*

<sup>(1)</sup> 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

<sup>(2)</sup> Subsecretaría de Ciencia y Tecnología – Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología; Gobierno de la Pcia. de Catamarca; República 838 – CP 4700 - Catamarca; Te: (03833) 437585.

**CHARACTERIZATION OF AEOLIC RESOURCES IN THE NORTHERN END  
OF LOS PUESTOS RIVER BASIN IN AMBATO, CATAMARCA.**

***SUMMARY***

It was recorded a remarkable increase on the interest for wind as renewable alternative power source for its utilization in low, medium and big scale. USA and European countries such as Germany, Holland and Spain have significantly multiplied the installed power and show a spectacular advance in technological development of engines and power generators equipment. However, not all the regions have winds of significant quantity and quality in order to be used in a rental and competitive form respect to the traditional powers. In order of fact, to know its availability and distribution along the year is one of the first objectives in order to adopt it as an alternative and to plane its use. The mountainous regions such as our province, have in general good availabilities but simultaneously require a more depth study, precisely considering he numerous circulating channels that settle following the topographical accidents. The characteristics of the wind, its availability and possibility of use are specified in this work for the region of the subcuena of Río Los Puestos in Ambato County – Province of Catamarca, considering the recorded values during consecutive three years at Colpes which were compared with the values of Los Varela at 15 km north of distance. The monthly speeds means and its station and yearly variations are analyzed. The classified curves of speed and the classified curves of calm for the month of minus eolic availability. The monthly, yearly and station power distributions are detailed

and the possibility of use with slow and rapid turbines is analyzed. The directional predominance of wind and its relation with the mean recorded speeds are analyzed at last.

**KEY WORDS:** Energy, Eolic, Catamarca, Argentina

### **RESUMEN**

En los últimos 10 años, se registró un notable aumento en el interés por el viento como fuente de energía renovable alternativa para su aprovechamiento a pequeña, mediana y gran escala. Países como Alemania, Holanda y España en Europa y los Estados Unidos, no solo han multiplicado significativamente su potencia instalada sino que además, han mostrado un avance espectacular en el desarrollo tecnológico de las máquinas y equipos generadores de energía. Sin embargo, no todas las regiones presentan vientos en cantidad y calidad suficiente como para ser utilizado en forma rentable y competitiva respecto de las energías tradicionales. Por ello, conocer su disponibilidad y distribución a lo largo del año constituye uno de los primeros objetivos para poder adoptarla como alternativa y planificar su aprovechamiento. Las regiones montañosas, como es el caso de nuestra provincia, por lo general se relacionan con buenas disponibilidades, pero exige simultáneamente un estudio más pormenorizado, precisamente por los numerosos canales de circulación que se establecen siguiendo las sinuosidades del terreno. En el trabajo se especifican las características del viento, su disponibilidad y factibilidad de aprovechamiento, para la región norte de la subcuenca del Río Los Puestos, en el Dpto. Ambato – Pcia. de Catamarca, considerando los valores registrados durante tres años consecutivos de medición en Colpes y comparados con valores referentes de Los Varela, localidad situada a 15 Km. al norte de la primera. Se analizan las velocidades medias mensuales, y su variación estacional y anual. Se muestran las curvas de velocidades clasificadas y la curva de calmas clasificadas para el mes de menor disponibilidad eólica. Además se detalla la distribución energética mensual, estacional y anual, analizando su factibilidad de aprovechamiento a partir de turbinas lentas y rápidas. Por último se analiza la predominancia direccional del viento y su relación con las velocidades medias registradas.

**PALABRAS CLAVES:** Energía, eólica, Catamarca, Argentina

## **INTRODUCCIÓN**

La preocupación constante por la agotabilidad de las fuentes energéticas no renovables, el alza de los precios del Petróleo -ocurrida particularmente en la década del 70-, los altos riesgos de la energía nuclear, en especial sus residuos radiactivos y el fuerte impacto ambiental que está produciendo el uso intenso y abusivo de los combustibles fósiles, influyó para que las sociedades más desarrolladas del mundo concentraran su atención en la búsqueda de nuevas fuentes alternativas para su abastecimiento energético. En efecto, en numerosos foros internacionales se levantan permanentemente estridentes voces en reclamo de un mayor uso de energías limpias, tales como la solar y la eólica, para evitar la proliferación de las emisiones causantes de la lluvia ácida, el deterioro de la capa de ozono, el efecto invernadero y el consabido cambio climático.

Por ello, no debería extrañar el avance espectacular de la eólica, no solamente en cuanto a potencia instalada sino también en los logros alcanzados en el plano de la investigación y el desarrollo de tecnologías de producción de aerogeneradores. En algo más de diez años, las turbinas han pasado de ser diseños simples y artesanales, de escasa potencia y limitada disponibilidad, a desarrollos tecnológicos de alta potencia y gran eficiencia de conversión.

Precisamente por esta razón, durante la década del 90, la potencia instalada se ha multiplicado 10 veces en Europa, desde 473 MW en 1990 a más de 4500 MW a fines de 1997. Dinamarca, Alemania y España son los países que lideran en esta materia. Amparados por un marco legal adecuado, que propicia el desarrollo de estas fuentes alternativas, han logrado el establecimiento de una fuerte industria nacional de turbinas eólicas y han generado más de 25000 puestos de trabajo asociados con este rubro.

En nuestro país hay que destacar el trabajo que se viene realizando especialmente en la región patagónica, por ser la que mayor disponibilidad de viento presenta. El Centro Regional de Energía Eólica (C.R.E.E.) es pionero en la investigación y aprovechamiento de esta energía, contando con instalaciones de mediano y gran porte en su área de influencia. En el resto del país, si bien hay estudios de viento en varias localizaciones, todavía el aprovechamiento del recurso eólico es incipiente. Las políticas nunca acompañaron, en gran medida, las instancias de aprovechamiento de las fuentes alternativas y ello se traduce en una dispersión de esfuerzos a partir de grupos aislados, con escaso o nulo apoyo para su crecimiento y desarrollo.

Catamarca, por ser una provincia con una geografía montañosa en el 75 % de su superficie territorial, tiene buenas perspectivas de viento, en cantidad y calidad suficiente, en especial, para abastecimiento energético través de pequeñas unidades generadoras para uso más bien doméstico, rural o urbana, o bien para otras aplicaciones tales como: electrificación de

viviendas aisladas y servicios públicos; suministro eléctrico a pequeñas instalaciones agrícolas e industriales; bombeo de agua; sistemas de riego; iluminación de invernáculos o granjas; refrigeración; sistemas de ordeños; desalinización y depuración de agua en plantas de pequeña dimensión; telecomunicaciones; señalizaciones; repetidoras y emisoras de radio, televisión y telefonía; alarmas, etc. Sin embargo, el avance tecnológico reciente en materia de turbinas rápidas, permite visualizar un campo promisorio para emprendimientos energéticos de mayor envergadura, aprovechando los vientos con velocidades entre 5 m/s y 8 m/s que se registran en las cimas de los cordones montañosos de Ancasti y Ambato. Mas allá del aprovechamiento energético, conocer las características del viento tiene un gran valor agroclimático y agroecológico, por las posibilidades agrícolas de los valles intermontanos, de gran auge actual para productos diferenciados propios de las economías regionales y fundamentales para el manejo racional del fuego en la quema de pastizales naturales de las extensiones de serranía dedicada a ganadería.

Toda posibilidad de incentivar el aprovechamiento de este recurso parte de un conocimiento cabal del viento disponible. El mayor inconveniente o desventaja para utilizar la energía eólica surge de la variabilidad del viento y del elevado costo de los aerogeneradores necesarios para convertir eficientemente la energía cinética del flujo de aire en movimiento en energía eléctrica o mecánica, lo que encarece el precio del KW-h. Esta cuestión se hace mas notable en las zonas con relieve montañoso, donde se forman "corredores" eólicos que es necesario detectar y evaluar en cuanto a su potencial aprovechamiento.

En el año 1993 comenzó un trabajo de relevamiento de la velocidad y dirección del viento en el cordón montañoso del cerro Ancasti, (Sequi et al., 1993), (Gómez et al., 2003) y a partir de 1995 se iniciaron las mediciones en el cerro Ambato, mas precisamente en el área correspondiente a la subcuenca del Río Los Puestos, Departamento Ambato, siempre con la intención de confeccionar mapas eólicos, ya que el potencial energético presenta grandes irregularidades precisamente por su relieve orográfico. Estos mapas darían una idea cierta de la velocidad, continuidad y estabilidad del viento para esta zona en particular y, especialmente, la densidad de potencia o la máxima potencia que puede obtenerse por unidad de área barrida por el viento.

En la localidad de Los Varela, ubicada al norte de la subcuenca, en las coordenadas: 27°56'54" Latitud Sur y 65°52'06" Longitud Oeste, para un período de dos años consecutivos comprendidos entre el 01/04/94 y el 31/03/96, se determinó una media de velocidad de 3,18 m/s, donde el 69 % de los datos se agrupan dentro del rango de velocidades comprendido entre los 2 m/s y los 5 m/s (Sequi et al., 1999). En Colpes, localidad ubicada a solo 15 Km. al Sur de Los Varela, los valores registrados entre el 01/04/95 hasta el 31/03/96, fueron mucho mas promisorios. El

48% de los registros superó los 5 m/s. El agrupamiento mayoritario de los valores de velocidad se encuentra dentro del intervalo que va desde los 4 m/s a los 6,99 m/s, con una media aritmética anual de 5,07 m/s, (Sequi et al., 2003).

Esta disponibilidad de viento, especialmente por registrarse en un valle intermontano, resultó de mucho interés ameritando un seguimiento por lo menos por un período de tres años consecutivos a fin de observar su comportamiento anual y estacional.

Nuestra hipótesis es que, por las condiciones de estrechamiento natural que presenta en valle en el área de Colpes y hacia el Sur, se origina un importante corredor de viento que permite aprovechar la energía eólica como un medio alternativo de abastecimiento de energía eléctrica a mediana escala para la población rural y como aprovechamiento directo en bombeo de agua para microemprendimientos rurales.

En el presente trabajo se evalúa las características del viento, su disponibilidad y factibilidad de aprovechamiento, para la región norte de la subcuenca del Río Los Puestos, en el Dpto. Ambato – Pcia. de Catamarca, a partir de los valores registrados durante tres años consecutivos de medición en Colpes y comparados con valores referentes de Los Varela, localidad situada en la misma región. Se analizan las velocidades medias mensuales, y su variación estacional y anual. Se muestran las curvas de velocidades clasificadas y la curva de calmas clasificadas para el mes de menor disponibilidad eólica. Además se detalla la distribución energética mensual, estacional y anual, analizando su factibilidad de aprovechamiento a partir de turbinas lentas y rápidas. Por último se analiza la predominancia direccional del viento y su relación con las velocidades medias registradas.

#### ***Localización Geográfica:***

Los valores de velocidad y dirección de viento corresponden a la región centro-norte de la subcuenca del Río Los Puestos, en el Departamento Ambato, Provincia de Catamarca, que se extiende entre los paralelos 27°54' y 28°03' de Latitud Sur y los meridianos 65°45' y 65°55' de Longitud Oeste. Se trata de un valle intermontano longitudinal, con orientación norte-sur, delimitado por las cumbres de la Sierra de Humaya al Oeste; las cumbres de Balcozna-Lampazo al Este y la divisoria que se constituye en los Altos de Singuil por el Norte (Báez, 1993). Según la cartografía planialtimétrica de la región (Leiva Méndez, 1993), las alturas sobre el nivel del mar de los cordones montañosos varían entre 1.040 m hacia su límite Sur y los 2.278 m al Noroeste sobre la Sierra de Humaya. La temperatura media anual es de 17 °C, 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.

La estación registradora se ubicó en Colpes, en las coordenadas: 28°03'48" Latitud Sur y 65°49'00" Longitud Oeste, registrándose los valores de velocidad y dirección de viento por un

período comprendido entre Abril de 1995 y Marzo de 1998. La primera estación había sido instalada en Los Varela, situada en las coordenadas: 27°56'54" Latitud Sur y 65°52'06" Longitud Oeste, registrándose los datos entre Abril de 1994 y Marzo de 1996.

### MATERIAL Y MÉTODO

Las estaciones de registro y almacenamiento de velocidad y dirección de viento instaladas son marca BAPT, modelo EVD-1B, con sensores 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. Pueden medir en un rango de 0 a 60 m/s, con un umbral de funcionamiento menor a 0,4m/s y un radio de giro de 97 mm. Los sensores de dirección de viento son modelo SD-1, con registro según las 16 direcciones establecidas en la rosa de los vientos.

La estación trabaja con un contador autónomo interno que contabiliza los pulsos emitidos por el anemómetro y cada minuto los transforma en velocidad de viento (en metros por segundo), con un decimal de aproximación. Este valor obtenido se transfiere a un display y se almacena en un registro. Al cabo de una hora, el procesador calcula el promedio ponderado con los valores promedios de cálculo y el valor obtenido se cuantifica en una determinada "clase diaria", que se almacena en el registro correspondiente al día y hora en curso. Se obtiene así una matriz de 24 valores de velocidad de viento, que corresponden respectivamente a cada una de las 24 horas del día, lo que permite luego proceder a cualquier análisis estadístico de los datos.

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 la frecuencia de ocurrencia de velocidad. Posteriormente, a partir de las frecuencias relativas se construyeron los Histogramas de Distribución de Frecuencia Relativa mensual, estacional y anual. 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 = 1m<sup>2</sup>) del aire en movimiento lo podemos calcular directamente a partir de los datos reales aplicando la expresión:

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

$P_m$  = Potencia meteorológica (W/m<sup>2</sup>)

$\delta$  = Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = 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 World Meteorological Organization (WMO) y atendiendo a que esa es la altura a la cual se ubican generalmente los pequeños y medianos aerogeneradores. Sin embargo, atendiendo a que también pueden utilizarse aerogeneradores cuyo eje horizontal de rotación de las palas se ubica a una altura superior (30 m), se calculó la velocidad media a ese nivel. Para conocer los valores de velocidad a diferentes alturas se puede aplicar la 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).

$\alpha$  = coeficiente de rugosidad del terreno.

En este caso, por estar los sensores instalados sobre un terreno poco ondulado y libre de interferencias que pudieran producir perturbaciones en la masa de aire a nivel del anemómetro,

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. Como los registros de velocidad y dirección comenzaron en Marzo de 1995, a los fines del estudio se toma como período anual los valores comprendidos entre el 01/04 del año en cuestión y el 31/03 del año calendario siguiente.

También se registró la dirección predominante del viento. Cada 22,5° 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 los valores de velocidad media mensual ocurrida a lo largo del período total de mediciones, con su respectiva desviación estándar. Es notable la regularidad que muestra el viento no solo durante el año sino también entre los diferentes años de registro. Entre la velocidad media máxima (5,53 m/s) registrada en Agosto de 1997 y la mínima (4,52 m/s) registrada en Marzo de 1996, hay una escasa diferencia de 1,01 m/s, es decir menos que el valor mínimo de Desv. Est. (1,46 m/s) ocurrido en Octubre del 97, Diciembre del 96 y Marzo del 96.

Marzo es por lo general el mes de menor disponibilidad de viento, al igual que Enero y Mayo, por esa razón, el Verano es la estación del año con menor posibilidad de aprovechamiento. En cambio Agosto se presenta como el mes de mayor velocidad media, salvo en 1995 donde fue superado levemente por Octubre.

En los tres años de registro, la velocidad media anual superó los 5 m/s, siendo el período 97/98 el de mayor registro (5,18 m/s). En general el viento existente se sitúa en la escala 3 y 4 de Beaufort (Le Gourrieres, 1983), considerado de interés para las máquinas eólicas lentas, pero no se descarta su factibilidad de uso por las eólicas rápidas, las cuales arrancan con velocidades comprendidas entre 4,5 y 5 m/s.



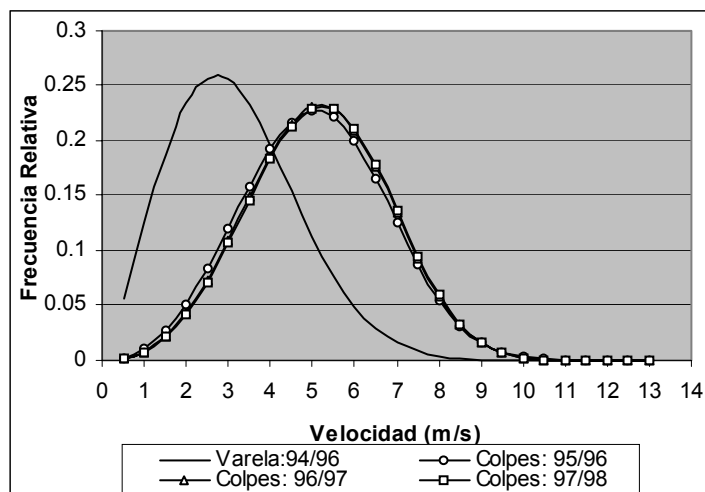
**CUADRO N° 1:** Velocidad media del viento mensual, estacional y anual registrada a 10 m y a 30 m sobre el nivel de piso, esta última calculada a partir de la primera, con su correspondiente desviación estándar, para cada año de medición. Colpes. Período 95/98.

MESES / ESTACION	Vm (m/s)						Desv. Est. (m/s)		
	95		96		97		95	96	97
	10 m	30 m	10 m	30 m	10 m	30 m	10 m	10 m	10 m
ABRIL	5,16	6.04	5,23	6.12	5,24	6.13	1,54	1,48	1,61
MAYO	4.83	5.65	4,92	5.76	4,89	5.72	1.49	1,52	1,53
JUNIO	5,30	6.20	5,33	6.24	5,36	6.27	1,89	1,88	1,91
<b>OTOÑO</b>	<b>5,16</b>	<b>6.04</b>	<b>5,10</b>	<b>5.97</b>	<b>5,16</b>	<b>6.04</b>	<b>1,66</b>	<b>1,64</b>	<b>1,70</b>
JULIO	5,20	6.08	5,41	6.33	5,37	6.28	1,82	1,74	1,69
AGOSTO	5,27	6.17	5,44	6.36	5,53	6.47	1,75	1,71	1,72
SEPTIEMBRE	5,04	5.90	5,24	6.13	5,25	6.14	1,69	1,72	1,69
<b>INVIERNO</b>	<b>5,17</b>	<b>6.05</b>	<b>5,36</b>	<b>6.27</b>	<b>5,39</b>	<b>6.31</b>	<b>1,76</b>	<b>1,73</b>	<b>1,70</b>
OCTUBRE	5,37	6.28	5,29	6.19	5,35	6.26	1,68	1,51	1,46
NOVIEMBRE	5,14	6.01	5,30	6.20	5,20	6.08	1,63	1,58	1,48
DICIEMBRE	5,02	5.87	5,02	5.87	5,12	5.99	1,58	1,46	1,51
<b>PRIMAVERA</b>	<b>5,18</b>	<b>6.06</b>	<b>5,20</b>	<b>6.08</b>	<b>5,23</b>	<b>6.12</b>	<b>1,64</b>	<b>1,54</b>	<b>1,49</b>
ENERO*	4,76	5.57	4,77	5.58	4,84	5.66	1,53	1,48	1,56
FEBRERO*	5,17	6.05	5,27	6.17	5,35	6.26	1,76	1,79	1,80
MARZO*	4,52	5.29	4,65	5.44	4,67	5.46	1,46	1,50	1,51
<b>VERANO*</b>	<b>4,83</b>	<b>5.65</b>	<b>4,89</b>	<b>5.72</b>	<b>4,94</b>	<b>5.78</b>	<b>1,61</b>	<b>1,61</b>	<b>1,65</b>
<b>ANUAL</b>	<b>5,07</b>	<b>5.93</b>	<b>5,15</b>	<b>6.03</b>	<b>5,18</b>	<b>6.06</b>	<b>1,68</b>	<b>1,64</b>	<b>1,64</b>

\* Los valores corresponden a los años 96, 97 y 98 respectivamente

Los valores de velocidad media mensual, estacional y anual, calculados en base a la ecuación ya referenciada, superan en un 100 % los 5,5 m/s a una altura de 30 m, lo cual lo torna interesante para aprovechamiento energético.

Los meses de Febrero y Junio son los que presentan mayor dispersión, pero en general la diferencia entre las Desv. Est. de todos los meses evaluados durante el período de mediciones no es significativa, lo cual muestra también la regularidad que tiene el viento en ese sector.



**FIGURA 1:** Distribución de la frecuencia relativa de velocidad de viento, por rangos de 1 m/s, aplicando el modelo probabilístico de Weibull II, a los datos registrados en Los Varela (período 94/96) y Colpes (período 95/98).

Si comparamos los valores registrados en Colpes con los obtenidos en Los Varela (período 94-96), ambas dentro del mismo corredor y separadas aproximadamente 15 Km., vemos que el viento incrementa en un 61 % su velocidad al pasar por la primera. Es decir hay un aumento de la velocidad de la masa de aire de 3,18 m/s, promedio del período (Los Varela), a 5,13 m/s, promedio en Colpes. Ello podemos observarlo en la Figura N° 1 donde se grafica la frecuencia relativa de velocidad aplicando la función de Distribución Teórica de Weibull II, para ambas localizaciones.

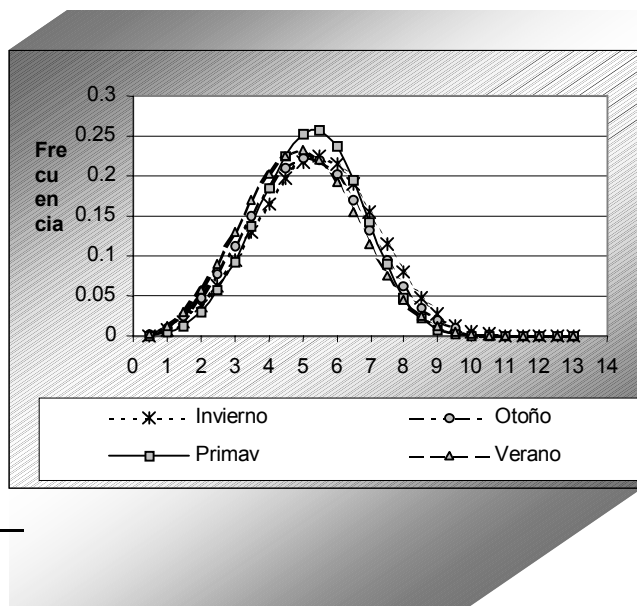
Evidentemente hay un aumento de la velocidad del viento al pasar por el estrechamiento natural del valle, ocurrido entre la Sierra de Humaya al Oeste y las sierras de Balcozna-Lampazo al Este, lo cual también demuestra la variabilidad de la velocidad dentro del mismo corredor.

El cuadro N° 2 muestra los valores K y C calculados para la determinación de la función de Distribución Teórica de Weibull II.

**CUADRO N° 2:** Valores del parámetro de forma (K) y del parámetro de escala (C) para el cálculo del modelo probabilístico de Weibull II.

MESES / ESTACION	K			C (m/s)		
	95	96	97	95	96	97
OTOÑO	3.3836	3.4723	3.3394	5,68	5,74	5,75
INVIERNO	3.2230	3.4147	3.5014	5,76	5,97	6,01
PRIMAVERA	3.4870	3.7491	3.9103	5,82	5,84	5,77
VERANO*	3.2973	3.3417	3.2900	5,38	5,45	5,50
ANUAL	3.3013	3.4649	3.4869	5,65	5,74	5,77

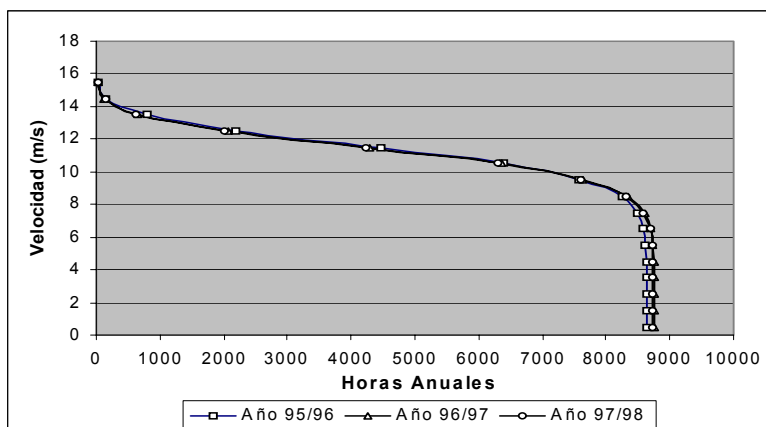
La figura N° 2 muestra la variación estacional de la frecuencia relativa de ocurrencia de velocidad de viento en Colpes, para todo el período considerado, aplicando la función de



**FIGURA 2:** Distribución de la frecuencia relativa de velocidad de viento, por rangos de 1m/s y por estación, aplicando modelo probabilístico de Weibull II, a los datos registrados en Colpes (período 95-98).

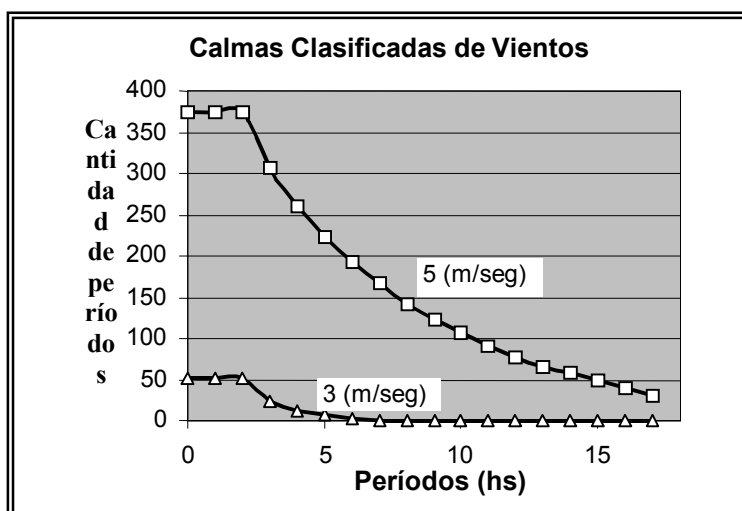
Distribución Teórica de Weibull II. Una vez mas se comprueba la fuerte regularidad y la escasa dispersión de una estación a otra.

La figura N° 3 muestra la curva anual de las velocidades clasificadas para el período 95/98, donde se puede verificar que en los tres años de mediciones el 90 % de las horas del año se supera los 3 m/s de velocidad promedio horario, mientras que un 50 % de las horas superan los 5 m/s.



**FIGURA 3:** Curvas de velocidades clasificadas por rangos de 1 m/s para cada año. Colpes. Período (1995-1998).

La figura N° 4 muestra la curva de calmas clasificadas para velocidades inferiores a 3 m/s y a 5 m/s en la estación de Colpes, durante los tres años de registro. Se tomó el mes de Marzo de 1996 por ser el mes que registró la menor disponibilidad de viento de todo el período considerado. Considerando un período de calma cuando la velocidad disminuye del límite inferior para el arranque de una turbina (3 m/s para las máquinas lentas y 5 m/s para las rápidas), podemos observar que para el primer caso, tales período son de una duración corta (1 a 2 horas). Muy pocos períodos se registran con una duración superior a 5 horas. En cambio, para un límite de 5 m/s se presenta una importante cantidad de períodos de corta duración y los períodos de calmas de mas de 5 horas de duración también son importantes.



**FIGURA 4:** Curvas de calmas clasificadas, para velocidades de 3 y 5 m/s, correspondiente al mes de marzo/96, por ser el mes de menor registro de viento de la Estación Colpes.

El Cuadro N° 3 muestra los valores de energía para cada mes y estación del período, siempre para una altura de medición de 10 m sobre el nivel de piso. En general, dada la interesante regularidad en la velocidad media mensual, es factible un aprovechamiento constante del recurso. La suma total de energía disponible por cada año del período de medición es un valor interesante para consumos discretos.

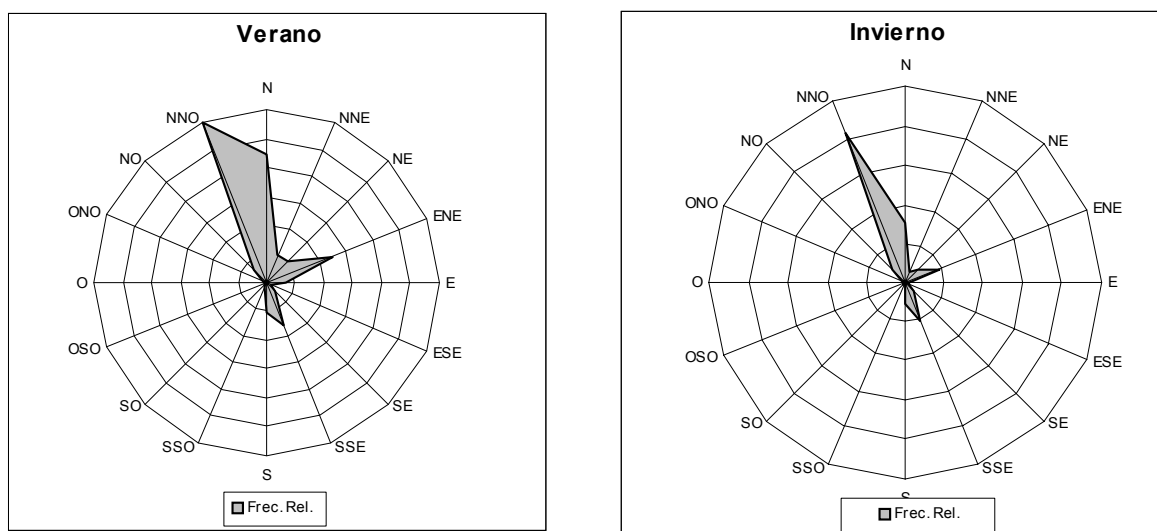
**CUADRO N° 3:** Valores de Energía o Potencia meteorológica mensual, estacional y anual para todo el período de registro. Colpes 1995 - 1998

Meses / Estaciones	Energía (kW-h*m <sup>-2</sup> )		
	Año 95/96	Año 96/97	Año 97/98
ABRIL	66.46	67.56	70.33
MAYO	56.60	59.64	59.17
JUNIO	78.36	78.89	81.24
<b>OTOÑO</b>	201.42	206.09	210.74
JULIO	75.62	81.28	78.77
AGOSTO	76.48	81.81	85.42
SEPTIEMBRE	64.62	71.88	71.77
<b>INVIERNO</b>	216.72	234.98	235.96
OCTUBRE	79.49	72.54	73.82
NOVIEMBRE	68.61	73.71	67.33
DICIEMBRE	66.40	63.01	66.37
<b>PRIMAVERA</b>	214.49	209.27	207.52
ENERO*	55.95	55.42	58.95
FEBRERO*	69.43	71.09	73.64
MARZO*	38.14	51.79	51.17
<b>VERANO*</b>	163.53	178.30	183.77
<b>ANUAL</b>	796.16	828.64	837.99
* Los valores corresponden a los años 96, 97 y 98 respectivamente			

También se analizó la dirección del viento durante todo el período registrado en la estación Colpes. El cuadro N° 4 especifica la frecuencia porcentual en que el viento se manifestó en esa dirección. De las 16 direcciones típicas de la rosa de los vientos se tomaron las direcciones predominantes para cada estación del año y el valor numérica expresa el promedio de los tres años de medición. Como puede observarse, el viento se manifiesta en estas direcciones el 75 % del tiempo tanto en primavera como en verano y en un 79 % para el otoño e invierno. Esto puede verse con mas claridad en la figura N° 5, donde se muestra la distribución de frecuencia de dirección para el invierno, estación de mayor disponibilidad de viento y para el verano por ser la de menor disponibilidad.

**CUADRO N° 4:** Direcciones predominantes, por estación, en las que se presentó el viento y los valores de frecuencia en cada una de ellas. Colpes – Período 95/98.

Dirección Estaciones	NNO (%)	N (%)	ENE (%)	SSE (%)	Total (%)
Primavera	35.2	17.3	14.7	8.5	75.7
Verano	31.1	23.1	13.2	8.2	75.6
Otoño	43.3	17.2	6.4	12.8	79.7
Invierno	41.8	16.7	10.2	10.7	79.4
Prom.	38	19	11.1	10.1	77.6



**FIGURA N° 5** distribución de frecuencia de dirección para el verano e invierno, promedio para los tres años de medición. Colpes – Período 95/98.

El cuadro N° 5 revela la velocidad media que tuvo el viento cuando se presentó en cada una de las direcciones predominantes y por estación del año. El valor expresa el promedio de los tres años de medición.

**CUADRO N° 5:** Velocidades medias, promediadas por estación para el período considerado, según las direcciones predominantes. Colpes – Período 95/98.

<b>Dirección</b> <b>Estaciones</b>	<b>NNO</b> (m/s)	<b>N</b> (m/s)	<b>ENE</b> (m/s)	<b>SSE</b> (m/s)
Primavera	4.8	5.1	5.9	6.3
Verano	4.5	4.8	5.7	5.1
Otoño	4.4	5.3	6.3	5.7
Invierno	4.7	5.0	6.1	5.5
Prom.	4.6	5.1	6.0	5.7

Como se observa, los vientos mas fuertes se dan en las direcciones ENE y SSE, mientras que en la dirección NNO, si bien tiene el mayor porcentaje de ocurrencia, las velocidades son muy inferiores.

### **CONCLUSIONES**

El extremo norte de la subcuenca del Río de los Puestos presenta vientos moderados, clasificados 3 y 4 en la escala de Beaufort (flojo-fresco), con una importante uniformidad a lo largo de todo el año. Esto pudo comprobarse luego de medir y evaluar su velocidad y dirección durante dos años consecutivos en Los Varela y tres años en Colpes. Esta última localización, mostró vientos con una velocidad superior en un 61 % respecto de Los Varela (5,13 m/s vs. 3,18 m/s), debido al efecto Venturi que se produce por el estrechamiento del Valle entre la Sierra de Humaya y las sierras de Balcozna-Lampazo, lo cual pone en evidencia que las características del viento pueden variar notablemente en cortos espacios cuando se trata de territorios montañosos y esto amerita una evaluación mas minuciosa del recurso.

Si bien hay variaciones entre los registros de una estación y otra, la variación mensual en cada una de ellas es poco significativa. Para el caso particular de Colpes, que se analiza en este trabajo, hay una variación de 1,01 m/s entre la velocidad media máxima y la mínima registrada durante todo el período de tres años. Esto permite, según su disponibilidad, un aprovechamiento estable y permanente como fuente alternativa de energía. En ambas localizaciones, las máquinas lentas como los molinos americanos, pueden funcionar durante todo el año, con buena disponibilidad energética para la zona de Colpes. Las máquinas rápidas, tienen menos perspectivas,

pero teniendo presente el avance tecnológico logrado en el desarrollo de tales turbinas en los años recientes, no deben descartarse, especialmente si tenemos en cuenta que las velocidades medias mensuales calculadas a 30 m de altura (altura mínima de instalación del eje horizontal de giro de las palas), superan en un 100 % los 5,5 m/s durante todo el año.

Aceptando la referenciada regularidad anual, podemos no obstante decir que Marzo, Enero y Mayo son los meses de mayor calma, por esa razón, el Verano es la estación del año con menor posibilidad de aprovechamiento. En cambio Agosto se presenta como el mes de mayor velocidad media, salvo en 1995 donde fue superado levemente por Octubre.

En Colpes, clasificando las velocidades según la cantidad de horas de ocurrencia, vemos que en el 90 % del tiempo (para los tres años) tenemos vientos con velocidades superiores a los 3 m/s. En cambio solo un 50 % del tiempo involucrado supera los 5 m/s. Ello confirma lo expuesto en el párrafo anterior respecto de las posibilidades de las turbinas lentas y rápidas. Precisamente por ello, es mas complicado prever el almacenamiento de la energía para cubrir, por carencia de viento, los baches de funcionamiento de las máquinas rápidas. Esta cuestión está en relación con la duración de los períodos de calmas, en especial para el mes de menor disponibilidad eólica, notándose que cuando tenemos velocidades bajas (3 m/s), los períodos de calmas son cortos, es decir no pasan de 1 a 2 horas de duración. En cambio tomando en consideración las velocidades de 5 m/s, se presenta una cantidad importantes de períodos (aproximadamente 230) con cinco horas de calma. Durante ese tiempo la máquina no podrá funcionar.

En cuanto a la dirección, predominan los vientos del NNO (38 %) y del N (19 %), aunque desde el punto de vista de su aprovechamiento energético, esto no afecta por el sistema de orientación que poseen las máquinas para posicionar sus palas perpendiculares a la dirección del mismo. En cambio las velocidades mas altas se registran en las direcciones ENE (6 m/s) y SSE (5,7m/s).

Tomando en consideración una disponibilidad energética de 820 Kw-h\*m<sup>2</sup>, promedio anual para todo el período de medición en Colpes, se puede concluir que hay muy buenas posibilidades de aprovechamiento para consumos discretos, tanto para iluminación como para bombeo directo de agua, cuando los requerimientos se limiten a consumo humano o de animales. Se podría utilizar para riego solo en el caso de tratarse de pequeñas huertas familiares, lo cual es de gran valor para las características de la población rural de esa región. Por la variabilidad de la velocidad del viento, dado lo sinuoso del terreno, es importante continuar las mediciones hacia el extremo sur del valle, anexando incluso su apertura hacia el valle central mas allá del Dique Pirquitas.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- *BÁEZ G.*; 1993 - Geomorfología de la Subcuenca del Río Los Puestos - Sistema Integrado Pirquitas. Consejo Federal de Inversiones (CFI) - Gobierno de Catamarca. Secretaría de Ciencia y Tecnología de Catamarca (SECYTCa). Catamarca. Argentina.
- *GÓMEZ, U; HERRERA, R.; SEQUI, J.; MARCHIOLI, J; FERNANDEZ, A.*; 2003; “Potencial eólico en las Sierras de El Alto y Ancasti: 1º etapa: La Aguadita - Dpto. Ancasti – Catamarca”. Actas Congreso Regional de Ciencia y Tecnología –NOA-2003. Univ. Nac. de Catamarca. Catamarca. Argentina. : 58, 59.
- *LE GOURRIERES, D.*; 1983. “Energía Eólica”. Editorial Masson. : 21-28.
- *LEIVA MENDEZ, D.*; 1993. Cartografía de la Subcuenca del Río Los Puestos - Sistema Integrado Pirquitas. Consejo Federal de Inversiones (CFI) - Gobierno de Catamarca. Secretaría de Ciencia y Tecnología de Catamarca (SECYTCa). Catamarca. Argentina.
- *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.
- *SEDEFIAN, L.*; 1979. On the vertical extrapolation of mean wind power density. Journal of Applied Meteorology. 19: 488 – 493.
- *SEQUI, J; MARCHIOLI, J; HERRERA, R; RODRIGUEZ, C*; 1993; "Valores característicos del recurso eólico disponible en un corredor del Cerro Ancasti - Prov. de Catamarca"; Acta XVI Congreso de la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES) - Tomo I, La Plata; Argentina. :709 – 716.
- *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, Nº 1, Año 1999 - ISSN Nº 0329-5184. : 06.01- 06.04.
- *SEQUI, J.; HERRERA, R.; GÓMEZ, U.; MARCHIOLI, J.; FERNÁNDEZ, A., PICO ZOSSI, J.*; 2003; “El potencial eólico anual y estacional en Colpes; Dpto. Ambato – Catamarca – Argentina”. Revista del Centro de Investigación de Zonas Áridas y Semiáridas (CIZAS) - Vol. 4; Núm. 1; ISSN Nº 1515-0453; Facultad de Ciencias Agrarias – UNCa; Catamarca. Argentina. : 33-44.