

## Comparación estadística entre valores terrestres y satelitales de la velocidad media anual del viento

---

Ing. Daniel Nazario<sup>1</sup>; Ing. Valentín Stefanini<sup>2</sup>; Alumno Brandon Ortiz<sup>3</sup>

### RESUMEN

Este trabajo se realiza con el objeto de aplicar métodos estadísticos para diferenciar el error que se comete cuando se usan estaciones meteorológicas terrestres o estaciones meteorológicas satelitales; tratando de encontrar la diferencia de medidas entre ambas, y llegar a una conclusión válida para aplicar dichos resultados en la confección de mapas eólicos con orografía y rugosidad iguales, usando como base los ya realizados para la provincia de San Luis.

**Palabras clave:** Estadística, Errores, Estaciones Meteorológicas, Terrestres/Satelitales.

### ABSTRACT

*This work is carried out in order to apply statistical methods to differentiate the error that is committed when using terrestrial meteorological stations or satellite*

*meteorological stations; trying to find the difference of measurements between both, and reach a valid conclusion to apply these results in the preparation of wind maps with equal orography and roughness, using as a base those already made for the province of San Luis.*

**Keywords:** *Statistics, Errors, Meteorological, Terrestrial / Satellite Stations.*

### INTRODUCCIÓN:

En el año 2011 se realizó el mapa eólico de la Provincia de San Luis, utilizando como herramienta el software Argentino Map (Open Wind), tomando los datos de estaciones meteorológicas terrestres propias, estaciones meteorológicas instaladas por la Universidad Provincial de la Punta, aeropuerto de Villa Reynolds y el aeropuerto de la ciudad de San Luis. Tiempo después de la elaboración del Mapa Eó-

---

<sup>1</sup>Ingeniero Daniel Nazario. Universidad Nacional de Villa Mercedes-Argentina. elmundial@hotmail.com

<sup>2</sup>Ingeniero Valentín Stefanini, Universidad Nacional de Villa Mercedes-Argentina. stefani-ni28@hotmail.com.ar

<sup>3</sup>Alumno Brandon Ortiz Universidad Nacional de Villa Mercedes-Argentina. elmundial@hotmail.com

lico, se pudo contar con datos de las 56 estaciones meteorológicas terrestres REM (Red de Estaciones Meteorológicas de la Provincia de San Luis), y además se pudo tener acceso a estaciones virtuales satelitales entre ellas la llamada MERRA2<sup>1</sup>.

Utilizando los datos de vientos y direcciones de la REM, así como los datos obtenidos satelitalmente, para un mismo punto geográfico, se realizó con ellos, dos mapas eólicos de la Provincia de San Luis, con la orografía y la rugosidad iguales en ambos.

### **METODOLOGIA**

Para el presente análisis de este trabajo, además de la asistencia a diferentes encuentros, cursos, foros nacionales e internacionales, hicieron posible la obtención de direcciones web que nos permitieron tener acceso a estaciones virtuales satelitales entre ellas la llamada MERRA2.

Como así también se contó con los aportes teóricos impartido por HECTOR FERNANDO MATIOS perteneciente al C.R.E.E Centro Regional Energía Eólica.

### **MATERIALES**

Para la confección del presente trabajo se utilizaron varios softwares específicos del tema eolio como también del tema estadístico.

Entre ellos:

Software eólico: Open Wind, WINDOWGRAPHER, Global MapperV17,

Software de procesamiento de datos SIG (Sistema de Información Geográfica) con todo tipo de información cartográfica y de mapas para profesionales.

Software de estadística IBM-SPSS Estadística y "R" libre

También se utilizaron datos de estaciones meteorológicas de la provincia de San Luis, y datos satelitales.

### **DESARROLLO**

De la figura 1, se observa que, para un mismo punto geográfico de ambos mapas, el valor difiere en su valor medio, por lo que el objetivo que se plantea en este trabajo, es obtener la relación entre el error porcentual existente en cada punto geográfico con respecto a los 2 mapas teniendo como datos: altura, orografía y rugosidad.

---

<sup>1</sup>1Análisis retrospectivo moderno para investigación y aplicaciones. Descripción del proyecto. El análisis retrospectivo moderno para la investigación y aplicaciones, es la versión 2 (MERRA-2) comenzando a proporcionar datos desde 1980 esta versión 2 reemplaza al conjunto de datos MERRA Original debido al avance realizado en el sistema que permite la asimilación del resplandor hiperespectral moderno y observación de microondas, junto con los conjuntos de datos de ocultación GPS-Radio. Avances adicionales tanto en el modelo GEO como en el sistema de GIS que están incluidos en MERRA-2. Junto con las mejoras meteorológicas, MERRA-2 da algunos pasos significativos hacia el objetivo de GMAO de un nuevo análisis de sistema de la tierra. MERRA-2 es la primera reanálisis global a largo plazo para asimilar las observaciones espaciales

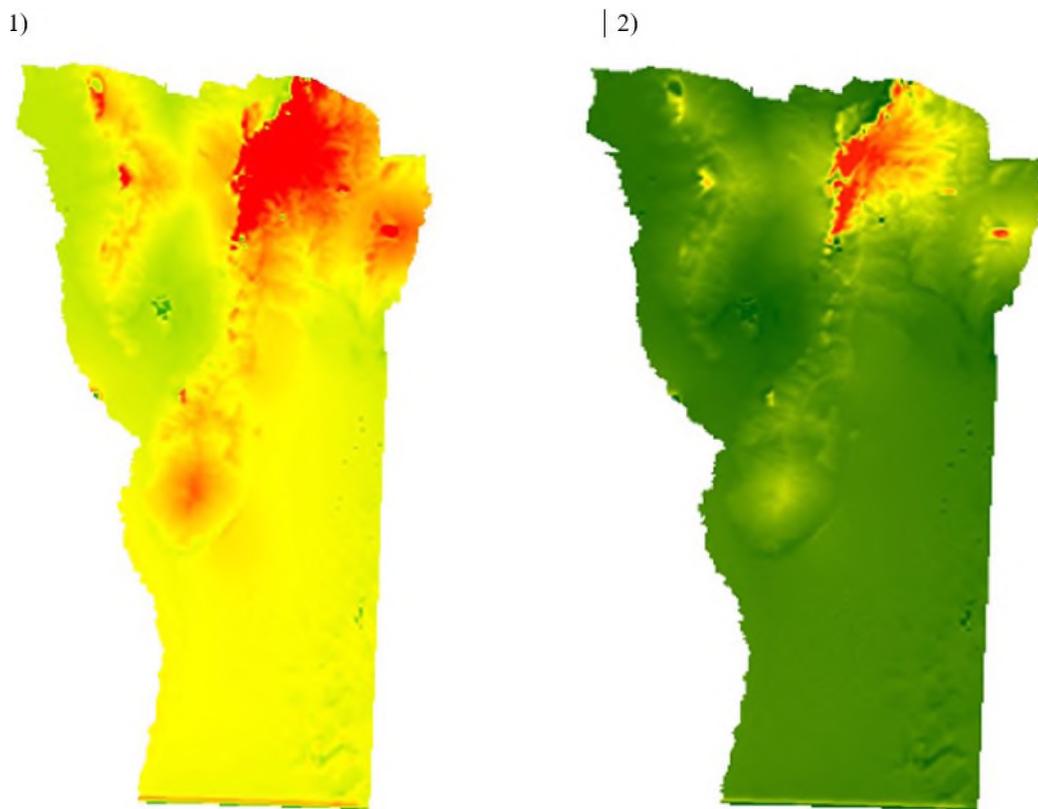


Figura 1: Mapa de vientos con: 1) estaciones meteorológicas terrestres, 2) MERRA-2

La potencia por unidad de área perpendicular a la dirección del viento es:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 A$$

Donde:

P: Potencia por unidad de área perpendicular a la dirección del viento Watt

$\rho$ : Densidad del aire kg/m<sup>3</sup>

V: velocidad del viento m/seg.

A: área perpendicular m<sup>2</sup>

Para el análisis de los errores medios, tal cual se planteará anteriormente, se decidió la utilización del Software estadístico IBM-SPSS (en su versión demo, que es

perfectamente operativa para el objetivo de este trabajo).

Con una simple observación visual de las Figuras 1 y 2, se puede notar la diferencia entre los valores de cada uno de los mapas de vientos en cuanto a sus valores, evidenciados por la colorimetría de ambos.

En el presente análisis de los datos de velocidad y dirección de los vientos, se toma como base los valores medios anuales con un vasto historial (18 años), observándose que el porcentaje de error es similar aproximado del 11,7 % (+-), en varios puntos.

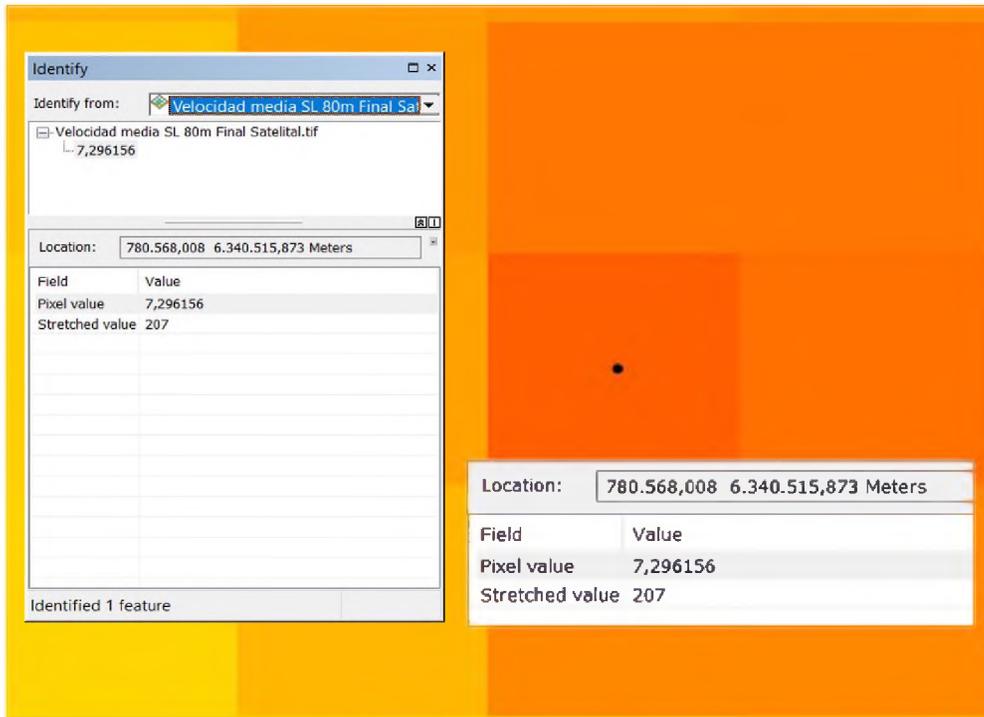


Figura 2: Punto geográfico y valor de la velocidad media del viento dado por una estación meteorológica determinada.

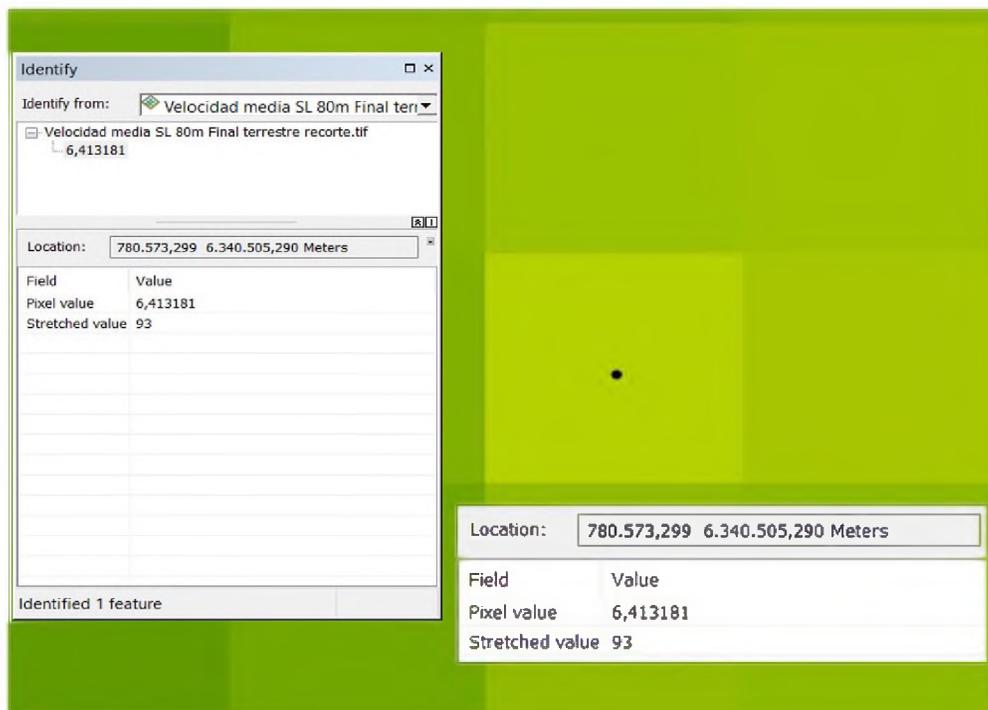


Figura3: Punto geográfico y valor de la velocidad media del viento, de igual coordenada del anterior, obtenido del MERRA-2.

Como se mencionó anteriormente se decidió utilizar el software IBM-SPSS para análisis estadístico, procediendo de la siguiente manera:

- **Prueba t de Student**

Se aplicó la prueba T de Student para dos muestras Relacionadas.

Usado cuando es de interés comparar la velocidad media de vientos anuales usando la misma muestra, pero tomada en 2 circunstancias distintas.

Por lo que aquí interesa comparar las diferencias entre 2 variables (Terrestre y Satelital) numéricas de un mismo punto geográfico.

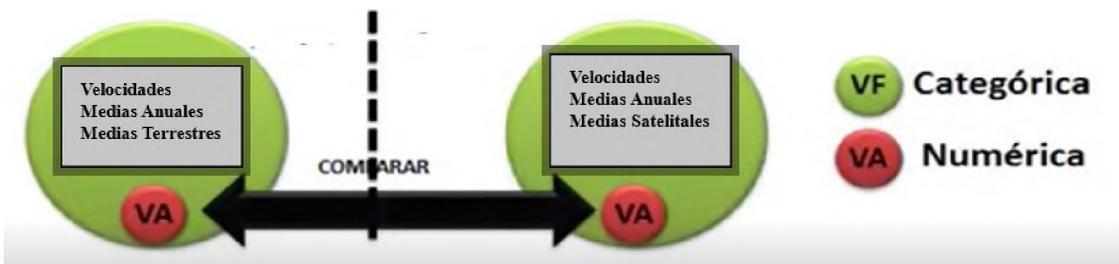


Figura 4: Característica de aplicación de "T" Student

- **Prueba de Hipótesis**

Se tomó 15 mediciones en los mismos puntos geográficos con el mismo historial y frecuencia, en diferentes lugares de los mapas eólicos en cuestión.

- **Hipótesis de la investigación**

Se planteó la hipótesis, en base a la siguiente pregunta: ¿Existe una diferencia significativa entre las medidas de Viento (velocidad y dirección) Terrestres y Satelitales? Resultando:

*Hipótesis Nula:*

H0 = No hay diferencia significativa en las medias de las Velocidades Terrestres y las Velocidades Satelitales. Esta hipótesis es que no existen relación entre las variables.

*Hipótesis Alternativa:*

H1= Hay una diferencia significativa en las medias de las Velocidades Terrestres y las Velocidades Satelitales.

Planteadas para un nivel de confianza del 99% ( $\alpha=0,01$ ).

		OBJETIVO COMPARATIVO			PRUEBAS PARAMÉTRICAS
Variable Aleatoria		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			NUMÉRICA
Variable Fija		NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓMICA	ORDINAL	
Estudio Transversal	Un grupo	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste Binomial	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
	Dos grupos	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X <sup>2</sup> de Homogeneidad	U Mann-Withney	T de Student (muestras Independientes)
	Más de dos grupos	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste	X <sup>2</sup> Bondad de Ajuste	H Kruskal-Wallis	ANOVA con un factor INTERSujetos
Estudio Longitudinal	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras Relacionadas)
	Más de dos Medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetidas (INTRASujeto)

Tabla 1: Esquema de métodos a aplicar cuando se desea realizar una comparación estadística

- Calculo del P-Valor** prueba de Chapiro Wilk para muestras pequeñas menores a 30, lo que debería dar un  $p\text{-valor} \leq 0,01$ .  
 Se calcula el **p-valor**, pero antes se verifica el supuesto de normalidad usando la

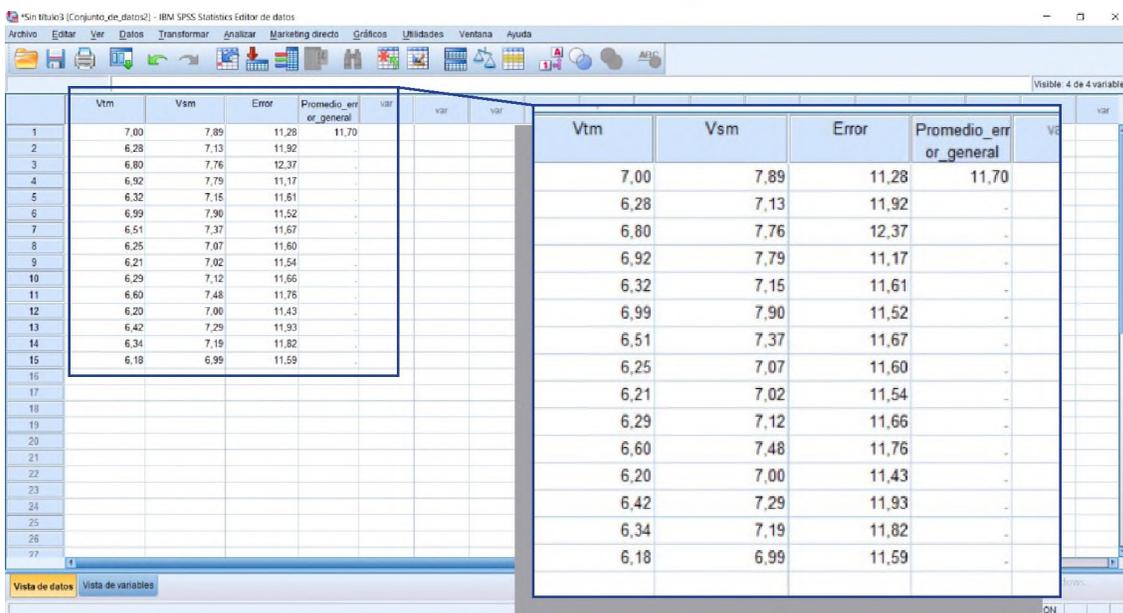


Figura 5: Resultados obtenidos del uso de software

Se cuenta con una base de datos de 15 valores numéricos de Vtm (Velocidad Terrestre media anual) y Vsm (Velocidad Satelital media anual) respectivamente, con su diferencia porcentual entre ellas en ese mismo punto y el error medio de todos sus valores.

Explorar		16-AUG-2018 16:59:38
Salida creada		
Comentarios		
Entrada	Conjunto de datos activo	Conjunto de datos
	Filtro	
	Ponderación	
	Segmentar archivo	
	N de filas en el archivo de datos de trabajo	15
Manejo de valor perdido	Definición de ausencia	Los valores perdidos definidos por el usuario para variables dependientes se tratan como perdidos.
	Casos utilizados	Los estadísticos se basan en casos sin valores perdidos para ninguna de la variable dependiente o factor utilizado.
Recursos	Tiempo de procesador	00:00:00,91
	Tiempo transcurrido	00:00:00,84

Tabla 2: Nota generada por el software sobre su utilización



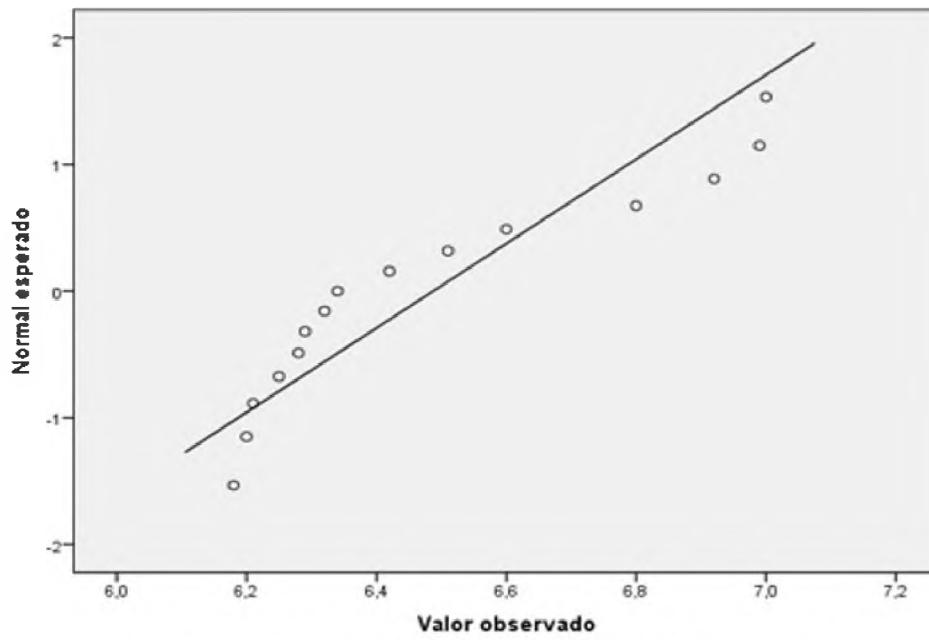


Figura 6: Grafico Q-Q normal terrestre

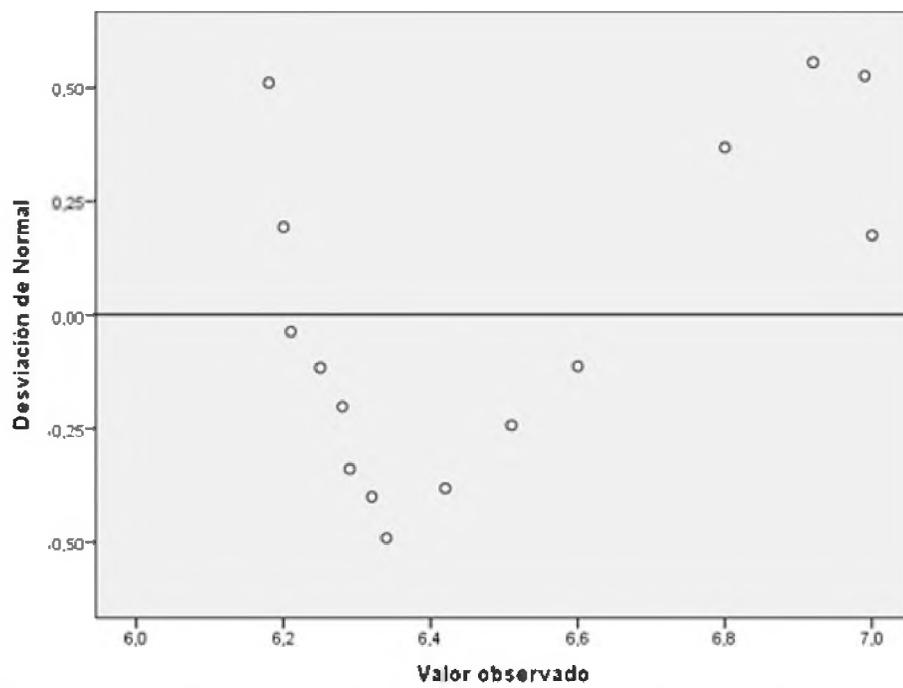
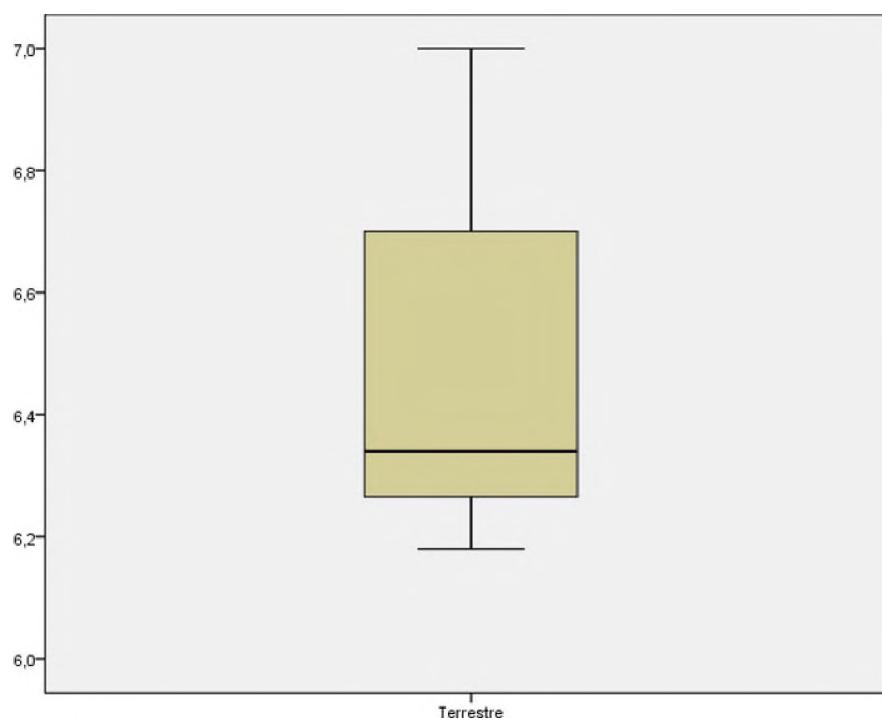


Figura 7: Grafico Q-Q normal sin tendencia de terrestre



*Figura 8: Grafico Caja y bigotes terrestre*

### Satelital

*Satelital Stem-and-Leaf Plot*

*Frequency Stem & Leaf*

1,00 6 . 9

10,00 7 . 0001111234

4,00 7 . 7789

*Stem width: 1,00*

*Each leaf: 1 case(s)*

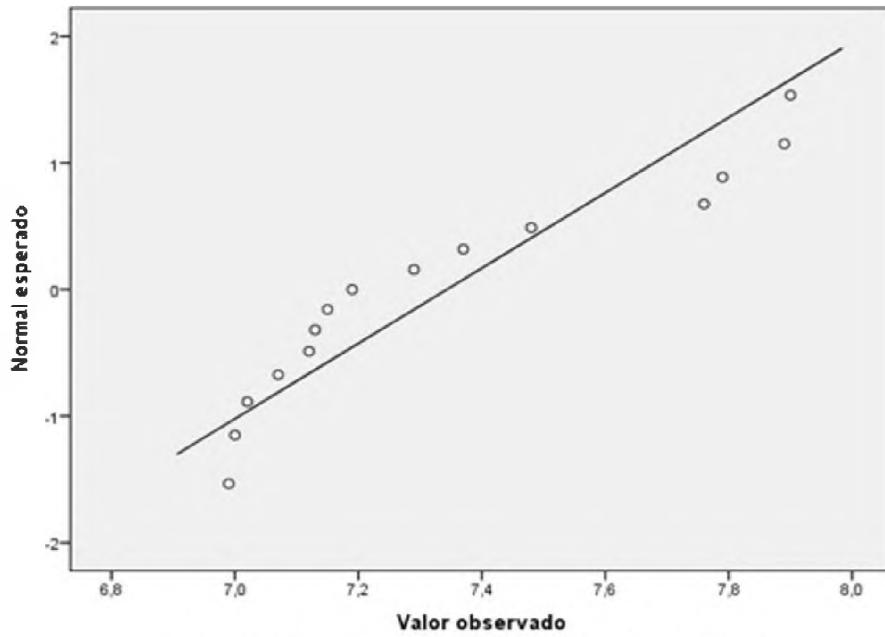


Figura 9: Grafico Q-Q normal satelital

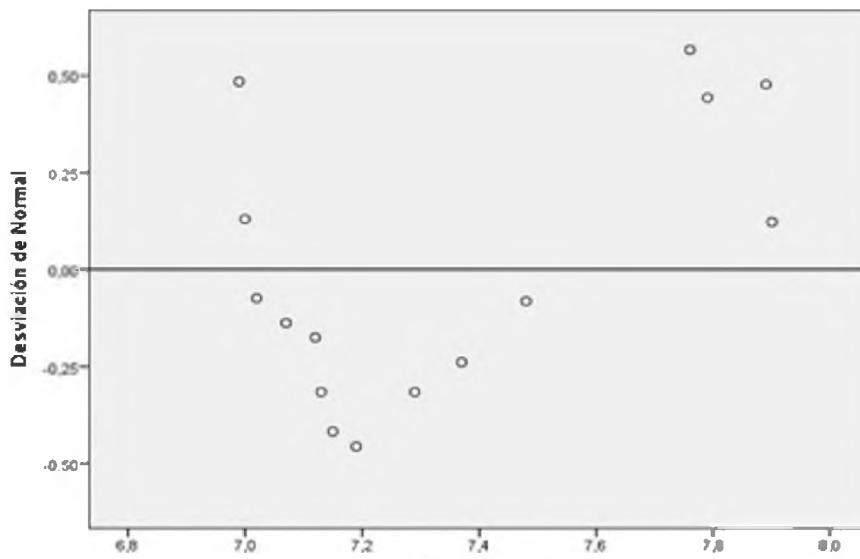


Figura 10: Grafico Q-Q normal sin tendencia del satelital

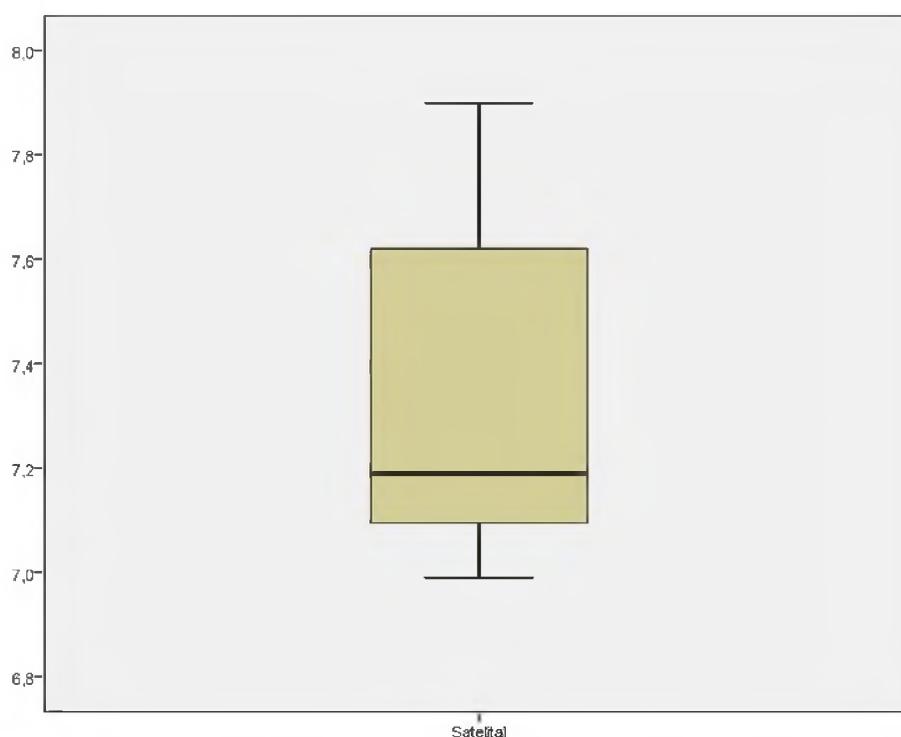


Figura 11: Grafico de caja y bigotes satelital

Prueba T

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Satelital	7,3433	15	,33619	,08680
	Terrestre	6.4873	15	,30001	,07746

Tabla 7: Estadística de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Satelital & Terrestre	15	,997	,000

Tabla 8: Correlación de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	Satelital - Terrestre	,85600	,04306	,01112	,83215	,87985	76,969	14	,000

Tabla 9: Prueba de muestras emparejadas

En base a los resultados obtenidos anteriormente, se verifica si existe o no, una diferencia significativa entre Vtm y Vsm.

Se comprueba si se cumple el supuesto de normalidad, entre ellas. Empleando el software SPSS se obtuvo las gráficas con todos los datos validos en un 100%, también los estadísticos descriptivos, las medias de

Vtm y Vsm, lo que evidencio una diferencia significativa. Usando el método de Chápiro Wilk para muestras pequeñas menores a 30 datos, donde los valores de la tabla son mayores al alfa = 0,01, tomado, por lo que se acepta que la Hipótesis Nula H0 es = 0 - mayor que 0,01, es decir que provienen de una distribución normal.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Terrestre	,222	15	,046	,843	15	,014
Satelital	,209	15	,076	,851	15	,018

Tabla 10: Prueba de normalidad

Siguiendo con el analisis, realizamos el T Student en SPSS para 2 muestras relacionadas (Vtm; Vsm) los resultados son Muestras Estadisticos.

Par 1		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
		Satelital	7,3433	15	,33619
Terrestre	6,4873	15	,30001	,07746	

Tabla 11: Estadística de muestras emparejadas

Observo la media de Vtm y la media de Vsm y las velocidades medias Satelitales son mayores que las Terrestre, luego verifico si estas medidas son significativas o no? En la tabla de prueba para muestras relacionadas, se observa que la significancia es de "0,000

%", por lo que es menor que 0,01 % nuestro nivel alfa.

El criterio para decidir es:

Si la probabilidad obtenida de P-Valor es menor o igual a alfa, se rechaza H0( Se acepta H1)

Si la probabilidad obtenida P-Valor es mayor a alfa, no rechazo H0, ( Se asepta H0).

Par 1	Satelital - Terrestre	Diferencias emparejadas				t	g'	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior				Superior
		.85800	.04308	.01112	.83215	.87965	78,962	14	.000

Tabla 12: Prueba de muestras emparejadas

**CONCLUSIONES**

Empleando tecnicas estadisticas para la comparacion de los datos medidos, se observo una diferencia significativa en las medias de los valores Vtm ( Velocidad del viento terrestre media) y Vsm ( velocidad del viento satelital media) lo que conduciria a mapas eolicos diferentes.

Con estos resultados y conociendo el error sistematico entre las medidas de los valores medios de Vtm y Vsm que es  $(1-0,883)/2 = 0,0585$  se realizo un nuevo mapa resultante de la combinacion de ambas medias, lo que resulto en la siquiente imagen Raster.

En base a la hoja de calculo mostrada

	A	B	C	D
1	OBJETO	X	Y	Velocidad Media S-T
2	1	674751,5313	6475194,88	6,541585055
3	2	675954,2401	6475194,88	6,948534489
4	3	677158,9489	6475194,88	6,955585957
5	4	678359,8577	6475194,88	6,973169327
6	5	645886,52	6473992,171	6,929510117
7	6	672346,1136	6473992,171	6,937213421
8	7	673548,8225	6473992,171	6,938445091
9	8	674751,5313	6473992,171	6,938462257
10	9	675954,2401	6473992,171	6,941885471
11	10	677158,9489	6473992,171	6,954843521
12	11	678359,8577	6473992,171	6,9756217
13	12	679562,3665	6473992,171	6,998021126
14	13	680765,0753	6473992,171	7,014513969
15	14	681967,7841	6473992,171	7,016027927
16	15	683170,4929	6473992,171	7,013754845
17	16	684373,2017	6473992,171	7,0167994
18	17	685575,9105	6473992,171	7,01316404
19	18	686778,6193	6473992,171	7,00649411
20	19	687981,3281	6473992,171	7,00229644
21	20	645886,52	6472789,463	6,92935323
22	21	647089,2288	6472789,463	6,92937898
23	22	648291,9376	6472789,463	6,9295563
24	23	649494,6464	6472789,463	6,92711877
25	24	650697,3552	6472789,463	6,92300844
26	25	651900,064	6472789,463	6,91915178
27	26	653102,7728	6472789,463	6,90761941
28	27	654305,4816	6472789,463	6,8942809
29	28	655508,1904	6472789,463	6,92618224
30	29	671143,4048	6472789,463	6,92813539
31	30	672346,1136	6472789,463	6,92971181
32	31	673548,8225	6472789,463	6,93088578

Tabla 13: Hoja para recalcular los pixeles usados en el nuevo mapa RASTER (52.422 datos)

en la tabla 13, se recalcularon los valores de pixel, y con la ayuda de un software GIS (Geographic Information System), Recordando que el mismo es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión; se

realizo el nuevo mapa de extension Raster.

El resultado del tratamiento anterior con el software GIS, puede verse en la figura 12, el cual permitio convalidar las medidas satelitales a las medidas terrestres, llegando a la conclusion de que se puede usar el mismo metodo conociendo unas pocas instalaciones confiables homologadas y de buena calidad para realizar mapas de recursos eolicos.

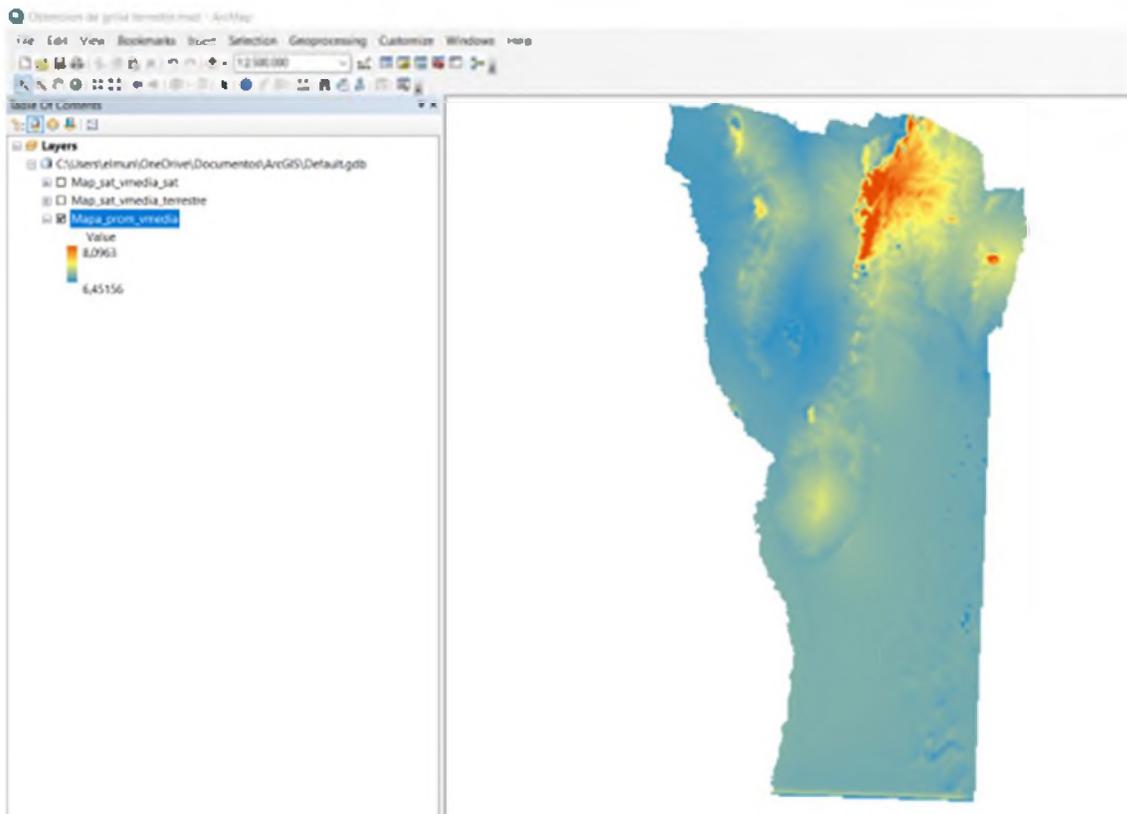


Figura 12: Imagen que nos permite convalidar las medidas satelitales a las medidas terrestres.

---

## REFERENCIAS

- [1] Medición, tratamiento y Análisis de Datos de Vientos Software WINDOGRAPHER DE HECTOR FERNANDO MATIOS C.R.E.E Centro Regional Energía Eólica
- [2] Software Argentina-Map (Open Wind) C.R.E.E del Centro Regional Energía Eólica
- [3] Software Global MapperV17 procesamiento de datos SIG (Sistema de Información Geográfica) con todo tipo de información cartográfica y de mapas para profesionales.
- [4] Software IBM-SPSS Estadística
- [5] Introducción a la Estadística autor Galindo Villardon
- [6] Análisis y diseño de experimentos, Gutiérrez Pulido y De La Vara Salazar - 2ª edic. - 2008
- [7] Arcgis 10.5 - Programa, Manual
- [8] Artículos de Internet y videos varios de Internet