



XII CONGRESO NACIONAL DE AGRIMENSURA

Agrimensura, más allá del territorio



9, 10 y 11 | OCTUBRE 2019

Hotel Sheraton | Mendoza - Argentina



XII CONGRESO
NACIONAL DE
AGRIMENSURA

9, 10 y 11 | OCTUBRE 2019
Hotel Sheraton | Mendoza - Argentina

GENERACIÓN DE MODELOS DE ONDULACIONES DE LA SUPERFICIE GEOIDAL EN EL ÁREA DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO

Gonzalo Norberto Gerez, José Eduardo Goldar, Carlos Alfredo Gutiérrez y Daniel Alberto Sandez

- Los modelos de ondulación geoidal permiten transformar alturas GNSS en alturas físicas, cuyas precisiones dependen de la exactitud del modelo.



Objetivo: generar modelos de ondulación geoidal para el área de riego de la provincia de Santiago del Estero, con precisión inferior a los 10 decímetros.



XII CONGRESO
NACIONAL DE
AGRIMENSURA

9, 10 y 11 | OCTUBRE 2019
Hotel Sheraton | Mendoza - Argentina

GENERACIÓN DE ONDULACIONES DE LA SUPERFICIE GEOIDAL EN EL AREA DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO

- Método astrogeodésico
- Método gravimétrico
- Método de altimetría satelital
- Método de determinación de coeficientes armónicos esféricos del potencial gravitatorio
- Método combinado
- Método geométrico, también conocido como de diferencia de alturas.





GENERACIÓN DE ONDULACIONES DE LA SUPERFICIE GEOIDAL EN EL AREA DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO

- El método geométrico, interpola el comportamiento del geode entre valores discretos de ondulación de la superficie geoidal (N), observada en puntos convenientemente distribuidos dentro de la zona que se pretende modelar.
- Disponiendo de suficiente densidad de puntos con doble información altimétrica (elipsoidal obtenida con GPS y ortométricas obtenidas a partir de nivelación clásica) con una distribución geográfica conveniente, será posible describir el comportamiento de N entre ellos.
- En este método no se utiliza información alguna del campo gravitatorio terrestre entre los puntos observados.
- La única posibilidad es recurrir a un proceso de interpolación numérica. La función resultante $N(\phi, \lambda)$, es lo que llamamos modelo de ondulación geoidal.





GENERACIÓN DE ONDULACIONES DE LA SUPERFICIE GEOIDAL EN EL AREA DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO

La calidad de un modelo de ondulaciones, expresada por su precisión, para una determinada zona de estudio, depende de tres variables:

- La precisión lograda en la obtención de las alturas que intervienen en el cálculo de la ondulación puntual; 
- La densidad y distribución geográfica de los puntos con ondulación conocida. 

- La calidad de la interpolación





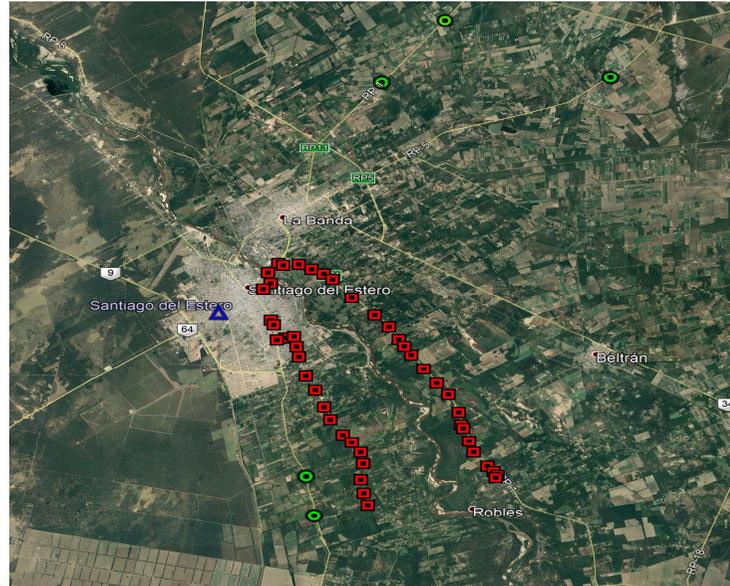
FUENTE DE DATOS

- TOTAL 51 PUNTOS GENERADORES provenientes de diferentes fuentes que se detallan a continuación:
 - 1 Nodal
 - 6 Puntos Fijos pertenecientes a tres líneas de nivelación en el SRVN16 del IGN (RN-Ar IGN)
 - 26 puntos pertenecientes a líneas de nivelación geométrica de precisión vinculadas a puntos de la Red Nacional de Nivelación
 - 17 puntos pertenecientes a una línea desarrollada en el marco del proyecto de ondulaciones del geoide vinculados también a PF de la Red Nacional de Nivelación del IGN.





PUNTOS GENERADORES DE MODELOS DE ONDULACIONES GEOIDALES



**Sup. Total del
area de riego
400.000 Has**

Sup. área de
estudio de
este trabajo
50.000 Has



PUNTOS GENERADORES DE MODELOS DE ONDULACIONES GEOIDALES

$$H_{\text{(nivelación)}} = h_{\text{(GPS)}} - N_{\text{(ondulación del geoide)}}$$



Punto	Norte (X)	Este (Y)	N (medido)
184 NODAL	6926835,710	4376326,766	24,790
1 N182	6924468,648	4376788,139	24,718
5 N182	6912790,618	4378936,336	24,773
6 N182	6909851,203	4379427,269	24,692
7 N198	6942360,284	4383001,234	24,705
9 N198	6947050,317	4386587,286	24,666
27 N301	6942890,111	4396133,357	24,462
1	6924972,010	4373745,063	24,836
RBL5	6912791,119	4389816,750	24,440
487	6912965,139	4389911,055	24,190
488	6913240,259	4389696,546	23,980
489	6913646,385	4389338,841	24,470
490	6914683,173	4388527,722	24,440
491	6915516,556	4388255,913	24,460
492	6916484,965	4387912,617	24,490
493	6916737,305	4387787,227	24,300
494	6917674,424	4387645,226	24,960
495	6918999,084	4387035,385	24,530
496	6919844,995	4386354,789	24,650
497	6920908,415	4385595,808	24,610
498	6921959,692	4384871,563	25,120
499	6922599,669	4384470,312	24,980
500	6923112,034	4384153,951	25,000
501	6924040,296	4383579,292	24,150
502	6924913,233	4382749,702	25,080

Punto	Norte (X)	Este (Y)	N (medido)
503	6926204,208	4381419,326	24,440
504	6927588,946	4380302,769	24,820
505	6927987,745	4379792,932	24,520
506	6928329,383	4379091,518	24,910
507	6928691,139	4378349,344	25,300
MISKI	6928613,752	4377458,233	24,750
CURVA	6928753,974	4377183,622	24,790
PUENTE	6928061,113	4376591,277	24,590
AGUIRRE	6927261,331	4376751,939	24,540
PF 2	6924128,932	4376955,443	24,425
PF 3	6923015,817	4377146,446	24,434
PF 4	6923162,682	4377637,636	24,419
PF 5	6923271,896	4378127,662	24,429
PF 6	6922525,640	4378282,002	24,422
PF 7	6921768,270	4378426,810	24,859
PF 8	6920297,839	4378831,411	24,702
PF 9	6919247,561	4379387,712	24,650
PF 10	6917995,539	4379904,298	24,548
PF 11	6917058,216	4380270,906	24,587
PF 12	6915921,759	4381002,116	24,575
PF 13	6915364,989	4381521,866	24,549
PF 14	6914622,908	4382040,573	24,523
PF 15	6913768,749	4382188,382	24,652
PF 16	6912563,460	4382066,501	24,574
PF 17	6911563,542	4382245,638	24,545
PF 18	6910674,738	4382486,565	24,997



METODO DE INTERPOLACION

MÉTODO DE INTERPOLACIÓN	PARÁMETROS ESTÁNDAR DE INTERPOLACIÓN
Triangulación con interpolación lineal	Anisotropía Razón 1 Dirección 0°
Vecino natural	Anisotropía Razón 1 Dirección 0°
Vecino más cercano	Elipse de búsqueda R1=R2 ángulo 0°
Promedios Ponderados por Inversa de la Distancia	Potencia de Ponderación 1 Factor de Suavizado 0 Anisotropía Razón 1 Dirección 0°





GENERACIÓN DE ONDULACIONES DE LA SUPERFICIE GEOIDAL EN EL AREA DE RIEGO DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO

Una modelización estadística general exige una validación a posteriori de sus resultados, y de forma particular la modelización geoestadística requiere de dicha validación.



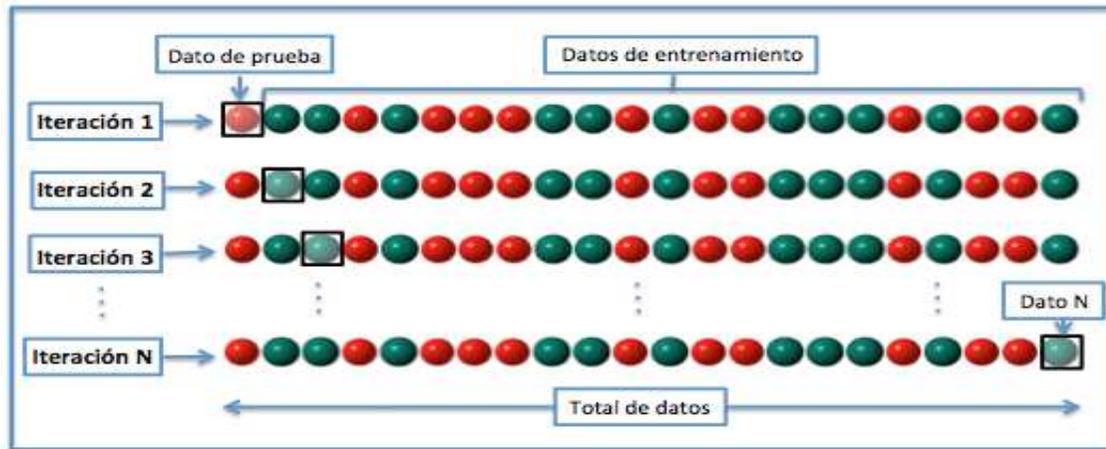
VALIDACIÓN CRUZADA DEJANDO UNO FUERA





VALIDACIÓN CRUZADA DEJANDO UNO FUERA

$$e_{vc} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}$$



$$ec = Vi - Vo$$





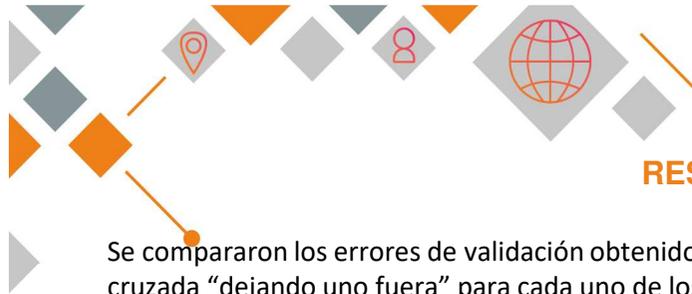
ESTADÍSTICA EN LA VALIDACIÓN DE MODELOS

El reporte de la validación cruzada que entrega software muestra estadísticos tales como:

- Media
- Mediana
- Media geométrica
- Media armónica
- Raíz media cuadrática
- Media intercuartil
- Varianza
- Desviación estándar
- Rango intercuartil
- Diferencia media relativa
- Error estándar
- Coeficiente de variación
- Asimetría, etc.

Los más representativos de los resultados e indicadores de la calidad del modelo evaluado son los que corresponden a la variable modelada Z (ondulación geoidal en este caso) con su correspondiente **coeficiente de variación** u **oscilación**, y **los errores estándar** de los residuales de la estimación.





RESULTADOS

Se compararon los errores de validación obtenidos en cada proceso, es decir el error de validación cruzada “dejando uno fuera” para cada uno de los cuatros modelos, teniéndose en cuenta en primer lugar el error estándar (eZ), luego el error de los residuales (eR) y finalmente el coeficiente de variación (C_v). Este último es una medida de dispersión relativa de los datos, en este caso de los errores de estimación.

Método de interpolación	C _v	eZ	eR
Triangulación con interpolación lineal	0,008	0,030	0,044
Vecino natural	0,008	0,030	0,044
Vecino más cercano	0,010	0,033	0,042
Promedios Ponderados por Inversa de la Distancia	0,022	0,007	0,034





CONCLUSIONES

- Del análisis surge que el método de Promedios Ponderados Por La Inversa de la Distancia con un $e_z + e_R = 0.041$ resulta más recomendable de los cuatro métodos empleados para interpolación de ondulaciones de la superficie geoidal.
- Como grado de confiabilidad del modelo para conversión de alturas se considera en el orden de entre los 15 y 20 centímetros, tomándose como tres veces el error medio del error de interpolación.



¡MUCHAS GRACIAS!

XII CONGRESO
NACIONAL DE
AGRIMENSURA
Agrimensura, más allá del territorio