



**Modelo Digital de Elevaciones de la
República Argentina
MDE-Ar**

- 2014 -

Índice

1.	Introducción.....	3
2.	Misión SRTM	4
2.1.	Especificaciones técnicas de la misión	4
3.	Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina (MDE-Ar)	6
3.1.	Metodología de trabajo	6
3.2.	Descripción de las tareas realizadas.....	6
3.2.1.	Relleno de vacíos	6
3.2.2.	Inclusión de datos de lagos	7
3.2.3.	Filtrado espacial.....	7
3.2.4.	Enmascarado de límites	7
3.3.	Distribución del MDE-Ar	8
3.3.1.	Dimensiones y nomenclaturas de las cartas del IGN	8
3.3.2.	Mapa de zonificación.....	9
3.3.3.	Comprobación del MDE-Ar.....	10
3.3.4.	Precisión del MDE.....	11
3.3.5.	Mapa con la distribución de los puntos utilizados para la validación	11
4.	Resultados	12
4.1.	Resultados sobre el territorio argentino.....	12
4.2.	Resultados provinciales.....	12
4.3.	Mapa con la distribución de las diferencias de altura	27
4.4.	Comparación con SRTM v4.1	28
4.5.	Comparación con ASTER GDEM	28
4.6.	Resultados finales	30
5.	Conclusiones	31
6.	Referencias	32
7.	Bibliografía.....	32

1. Introducción

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) se generan para realizar la representación de la superficie topográfica de la Tierra. Se basan en dividir al territorio en celdas de un determinado tamaño que se agrupan en forma de una grilla ordenada. Cada celda tiene una ubicación georreferenciada, y a la misma se le asigna un valor de altura respecto del nivel medio del mar. De esta manera, los MDE proveen información muy valiosa y precisa sobre las alturas, pendientes y dimensiones del terreno, que se utilizan para la obtención de mapas y modelos tridimensionales de la superficie terrestre.

Los MDE son utilizados en variadas aplicaciones y disciplinas tales como Geodesia, Fotogrametría, Ingeniería Civil, Ciencias de la Tierra y Cartografía, lo cual los convierte en un producto de alta demanda por un amplio espectro de usuarios. En virtud de esta demanda, el IGN desarrolló una línea de producción para generar un MDE para la República Argentina. Este modelo se nutre principalmente de información proveniente de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

Las aplicaciones de un MDE son variadas, por ejemplo:

- Generación de curvas de nivel.
- Generación de mapas de pendiente.
- Creación de mapas en relieve.
- Planificación de vuelos en tres dimensiones.
- Rectificación geométrica de fotografías aéreas o de imágenes satelitales.
- Reducción de las medidas de gravedad, también denominada corrección de terreno o topográfica.
- Proyectos de grandes obras de ingeniería.
- Trazados de perfiles topográficos.
- Cálculos de volúmenes.
- Análisis de riesgos ambientales.

Los métodos para generar los MDE son variados. A continuación se enumeran los principales:

- Altimetros transportados por aviones o satélites que permiten determinar las diferencias de altitud entre la superficie terrestre y el vehículo que transporta el altímetro.
- Interferometría de imágenes radar, que consisten en un sensor RADAR que emite un impulso electromagnético y lo recoge tras reflejarse en la superficie terrestre, conociendo el tiempo de retardo del pulso y su velocidad, puede estimarse la distancia entre el satélite y el terreno.
- A través de software específicos, que a partir de curvas de nivel, se generan los MDE. En estos casos, las curvas de nivel surgen a partir de levantamientos topográficos convencionales o restitución fotogramétrica.

2. Misión SRTM

La misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) fue un proyecto internacional llevado a cabo en cooperación entre la U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA), el German Aerospace Center (DLR), la Agencia Espacial Italiana (ASI) y la U.S. National Geospatial Intelligence Agency (NGA).

El objetivo principal de la misión SRTM fue obtener un modelo digital de elevaciones global de alta resolución y calidad uniforme, a partir de datos recolectados con la técnica de interferometría radar de apertura sintética.

Los datos InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), fueron obtenidos en once días (11 al 22 de febrero de 2000) por dos sistemas de radar – banda-C (SIR-C) y banda-X (X-SAR) – montados en el transbordador espacial Endeavor.

2.1. Especificaciones técnicas de la misión

Cada sistema de radar consiste de dos antenas recolectando datos por interferometría, separadas entre sí alrededor de 60 metros.

Se trabajó con dos bandas. Por un lado, el Jet Propulsion Laboratory (JPL) dependiente de la NASA, generó un modelo digital de elevaciones entre las latitudes 56° S y 60° N, operando en banda C en modo ScanSAR, cubriendo un ancho de faja de 225 km. El DLR operó un sistema en banda X con un ancho de faja de 50 Km.

Si bien no pudo obtenerse una cobertura continua en banda X debido a la limitación de ancho de barrido, esta banda arrojó menor ruido que la banda C para una misma observación, por lo que los errores aleatorios de elevación de dicha banda fueron menores (poco más de la mitad que los de la banda C). Esto puede verse en los valores especificados en la Tabla 1, en la columna de precisión vertical relativa (Burgos, 2012).

Tabla 1.- Especificaciones del Modelo Global SRTM (90% de confianza)

Parámetro	Banda C	Banda X
Sistema		
Longitud de onda	5,6 cm	3,1 cm
Frecuencia	5,3 GHz	9,6 GHz
Ancho de barrido	225 Km	50 Km
Producto		
Precisión vertical relativa	10 m	6 m
Precisión vertical absoluta	16 m	16 m
Precisión horizontal relativa	15 m	15 m
Precisión horizontal absoluta	20 m	20 m
Resolución espacial	1" (~30 m)	1" (~30 m)
Datum vertical	EGM96	WGS84
Datum horizontal	WGS84	WGS84

Fuente: USGS, 2005a; Wagner, 2003

Las bandas C y X fueron procesadas de manera independiente. La primera banda fue distribuida públicamente, con resolución espacial de 1" de arco (~30 m) para Estados Unidos y reducida a 3" (~90 m) para el resto del mundo. Luego la NGA post-procesó el MDE de banda C creado por el JPL, y es responsable de las distintas versiones circulantes (Burgos, 2012).

3. Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina (MDE-Ar)

3.1. Metodología de trabajo

Como se mencionó anteriormente, a través de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), la NASA logró generar un MDE de alta resolución que cubre casi la totalidad de la superficie terrestre (desde los 60 grados de latitud norte hasta los 60 grados de latitud sur).

A partir de un convenio con la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), el IGN recibió el modelo de Argentina con resolución de ~30 metros por píxel. A partir de este modelo, se obtuvo otro de ~45 metros por píxel, que se generó aplicando las siguientes tareas:

- Relleno de vacíos.
- Inclusión de datos en las zonas de lagos.
- Filtrado espacial.
- Enmascarado de límites.

3.2. Descripción de las tareas realizadas

Todas las tareas fueron ejecutadas mediante scripts desarrollados en el lenguaje Python®, utilizando los objetos provistos por ESRI® para ArcGIS®, exceptuando el filtrado espacial que se realizó con el software ERDAS®

3.2.1. Relleno de vacíos

La primera tarea realizada fue la eliminación de vacíos, también denominada *void fill*. Ésta se llevó a cabo utilizando los datos corregidos del modelo SRTM v4.1 (Jarvis et al., 2008), y el software de gestión de datos geográficos ArcMAP®.

Para realizar el reemplazo de datos se utilizó una sentencia condicional, reemplazando los vacíos (valor -32767) por el valor correspondiente del modelo SRTM v4.1. Para realizar el condicional, se utilizó la herramienta "Single Output Map Algebra", utilizando la siguiente sentencia:

CON (isnull(usgsDEM), Arg_DEM, usgsDEM)

Siendo la sintaxis "CON (Condición, Resultado Verdadero, Resultado Falso)". El nombre "usgsDEM" corresponde al nombre del MDE a corregir (formato .dt2) y "Arg_DEM" corresponde al nombre del MDE derivado del SRTM v4.1.

3.2.2. Inclusión de datos de lagos

Seguidamente se realizó el reemplazo de los valores altimétricos correspondientes a la elevación de los espejos de agua en el MDE, se utilizó una sentencia condicional con la herramienta "Single Output Map Algebra":

CON (isnull(Lagos), Salida_Huecos, Lagos)

El nombre de "Lagos" corresponde al MDE que contiene la información de altimetría de los lagos, y "Salida_Huecos" corresponde al modelo corregido en el procedimiento anterior (3.2.1).

3.2.3. Filtrado espacial

Luego se realizó un proceso que permite el filtrado de los valores de pixel del MDE que no corresponden con su entorno. Para ello se aplicó el método de convolución utilizando la siguiente matriz de filtrado:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

El filtrado fue realizado utilizando la función convolución del software ERDAS®, utilizando el procesamiento por lotes, o *batch processing*, automatizando así el filtrado de todos los modelos.

3.2.4. Enmascarado de límites

Una vez filtrados los modelos se aplicó una máscara que permite eliminar los valores que se encuentran fuera del territorio Nacional. Esta operación se realizó utilizando la herramienta "Single Output Map Algebra", utilizando la sentencia:

CON(isnull(mascara), -32767, carta)

Siendo la variable "mascara" la máscara utilizada, y "carta" el MDE corregido que se está enmascarando. Lo que realiza este algoritmo es colocar el valor "-32767" en los lugares donde la máscara es nula, es decir fuera de los límites nacionales.

3.3. Distribución del MDE-Ar

El Modelo Digital de Elevaciones se generó para toda la extensión del territorio argentino. Sin embargo, para su descarga, fue recortado con el tamaño de las cartas del IGN escala 1:100.000.

3.3.1. Dimensiones y nomenclaturas de las cartas del IGN

De acuerdo a la escala, las hojas tendrán las siguientes dimensiones:

Escala 1: 500.000

Las hojas a esta escala tienen 3° grados de longitud por 2° grados de latitud.

Están limitados por el norte y por el sur por paralelos pares y como meridiano central, el de la faja a la cual pertenece.

La nomenclatura que es denominada “característica de la hoja”, se forma por cuatro números de los cuales, los dos primeros indican el valor del paralelo central de la hoja y los dos siguientes el de su meridiano central, que es el de faja. Por ejemplo: 3563, indica el paralelo de 35° latitud Sur y el meridiano de 63° longitud Oeste.

Escala 1: 250.000

Las hojas a esta escala tienen 1° 30’ minutos de longitud por 1° en latitud.

Cada una de ellas comprende una superficie igual a la cuarta parte de la superficie de la carta 1:500.000.

Se las nombra con números romanos del I al IV según el sentido de la escritura corriente.

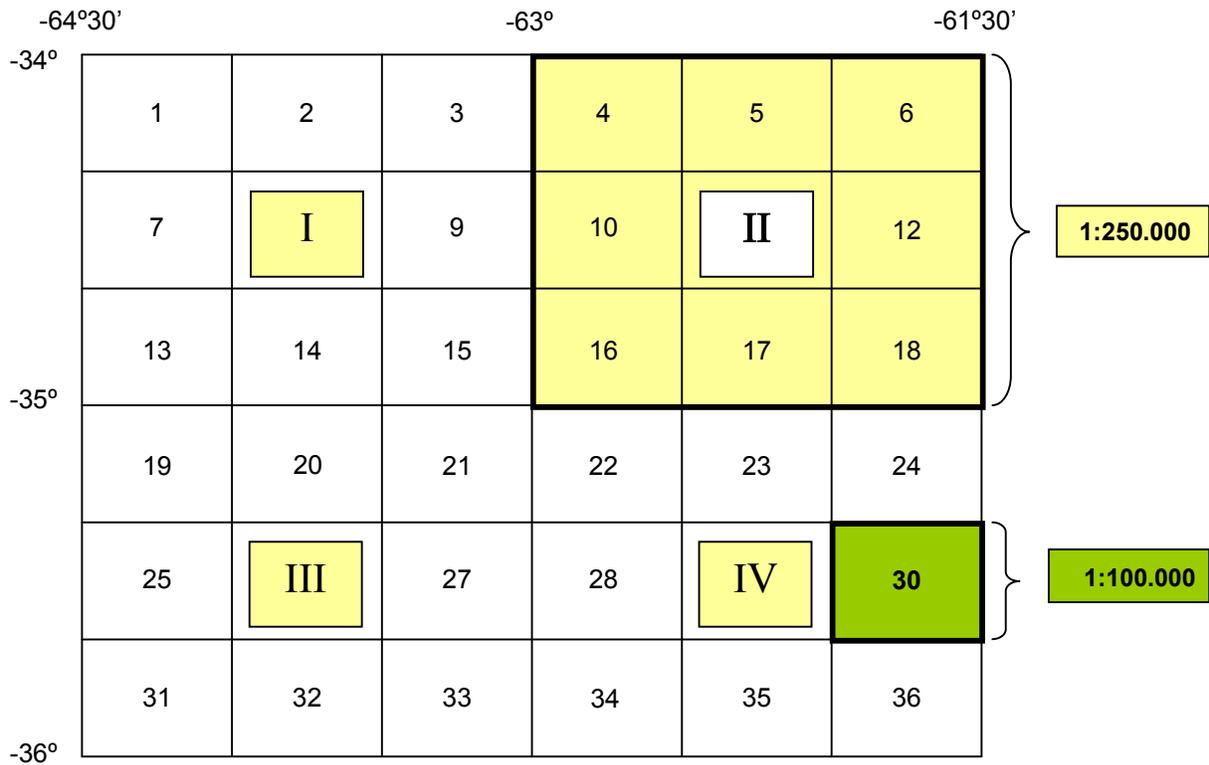
La característica de la hoja esta formada por los 4 dígitos de una hoja 1:500.000 de la que forma parte, y a continuación separada por un guión, el número romano que le corresponde por el orden que ocupa dentro de aquella. Por ejemplo: 3563-II.

Escala 1: 100.000

Las hojas a esta escala tienen 30’ minutos de longitud por 20’ minutos de latitud. La carta a escala 1:500.000, se la divide en 36 cartas a escala 1:100.000.

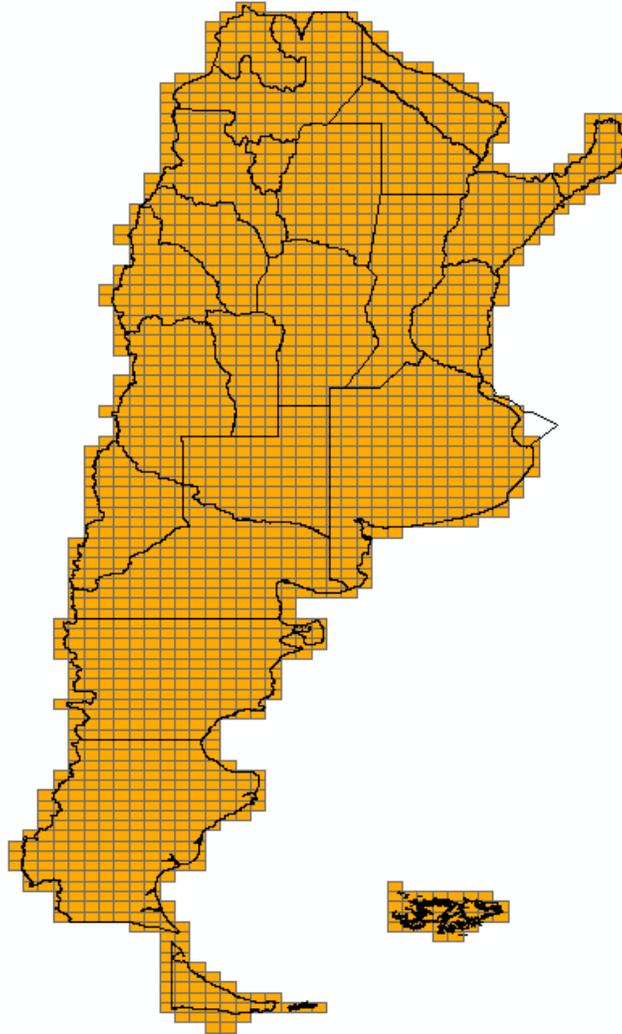
La nomenclatura esta formada por la de una hoja 1:500.000 de la que forma parte, y a continuación separada por un guión, se le asigna el número de orden que le corresponde por el lugar que ocupa ella. Entonces, se las numera del 1 al 36 en sentido de la escritura corriente. Por ejemplo: 3563-30.

Hoja 3563 a escala 1:500.000



3.3.2. Mapa de zonificación

El Modelo Digital de Elevaciones es presentado en tamaño de las hojas en escala 1:100.000, para todo el territorio argentino, de acuerdo al siguiente gráfico:



3.3.3. Comprobación del MDE-Ar

La resolución espacial determinada para el modelo se refiere al tamaño de píxel del MDE. La resolución del MDE-Ar tiene un valor de aproximadamente 45m.

Para calcular la precisión altimétrica del MDE-Ar generado, se realizó la comparación de los valores de las alturas de puntos de la base de datos altimétrica del IGN con los valores resultantes del MDE, es decir, $H_{base\ de\ datos} - H_{MDE-Ar}$. Es decir, se evaluó la diferencia entre los valores oficiales de altura publicados por el organismo y el valor de altura definido por el modelo.

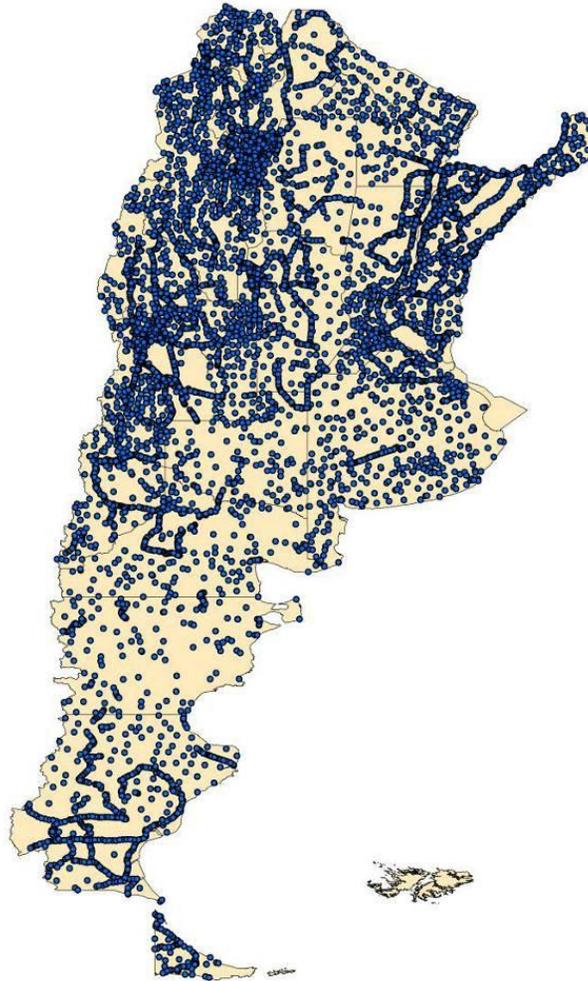
Observación: Las alturas del modelo SRTM son ortométricas y su nivel de referencia coincide con el modelo gravimétrico terrestre EGM96.

3.3.4. Precisión del MDE

La **precisión** está vinculada con el grado de dispersión del conjunto de valores obtenidos en la comprobación mencionada anteriormente. Cuanto menor es la dispersión, mayor la precisión.

El mejor estimador para este tipo de análisis es el **desvío estándar**, que representa el grado de dispersión de los valores respecto del promedio y es un índice de la precisión. Indica cuánto tienden a alejarse los valores del promedio, en una distribución.

3.3.5. Mapa con la distribución de los puntos utilizados para la validación



4. Resultados

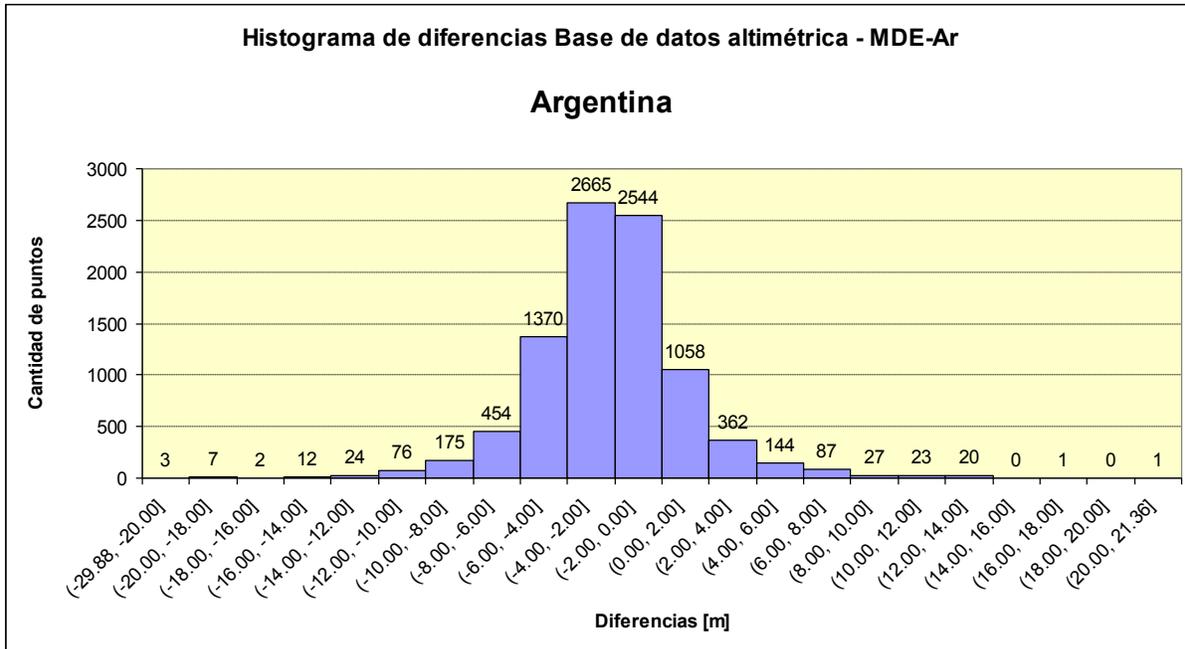
4.1. Resultados sobre el territorio argentino

Número de puntos comparados: **9055**

Máxima diferencia positiva: **+21 metros**

Máxima diferencia negativa: **-30 metros**

Desvío estándar: **3.23 metros**



4.2. Resultados provinciales

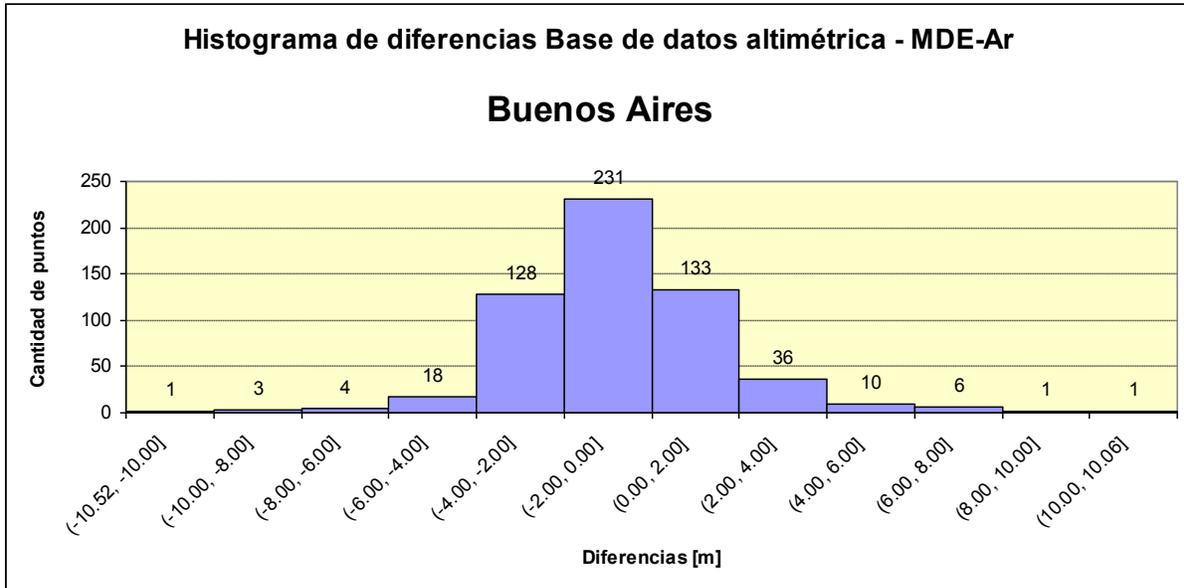
Buenos Aires

Número de puntos comparados: **572**

Máxima diferencia positiva: **+10 metros**

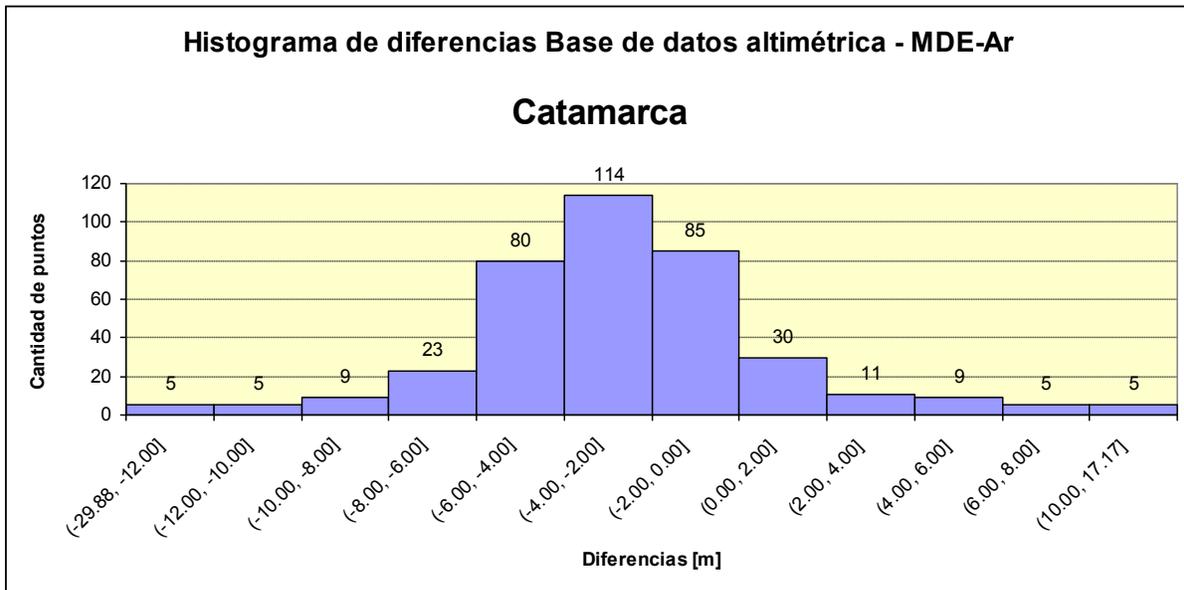
Máxima diferencia negativa: **-11 metros**

Desvío estándar: **2.33 metros**



Catamarca

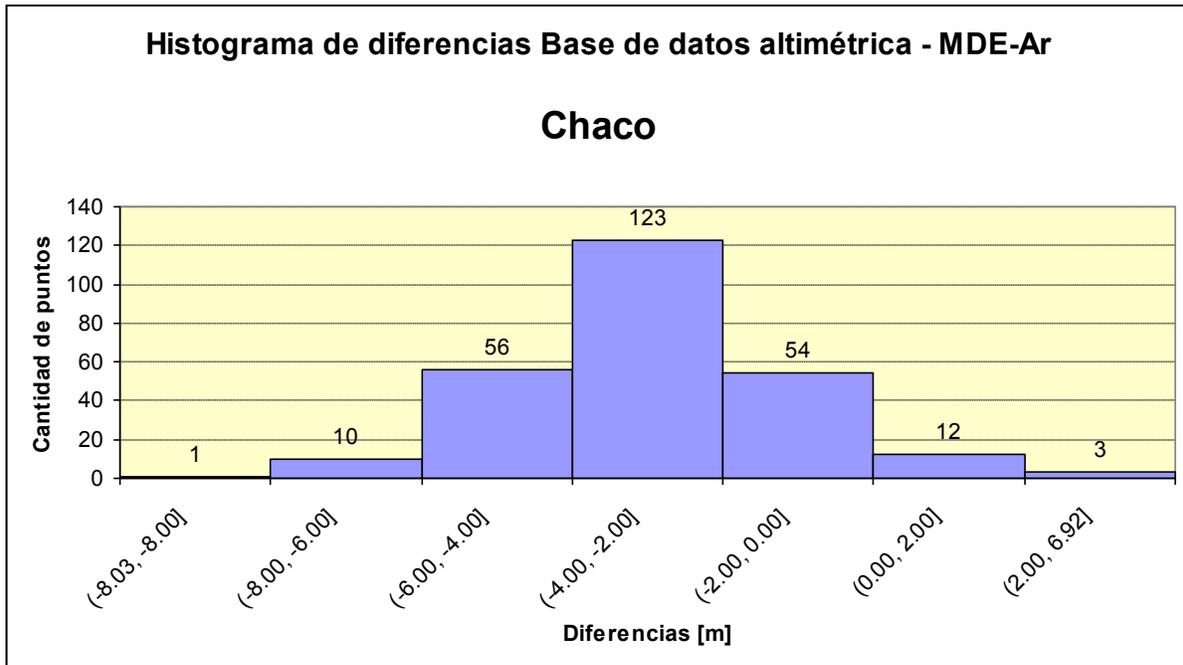
Número de puntos comparados: **381**
 Máxima diferencia positiva: **+17 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-30 metros**
 Desvío estándar: **4.10 metros**



Chaco

Número de puntos comparados: **259**
 Máxima diferencia positiva: **+7 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-8 metros**

Desvío estándar: **1.93 metros**



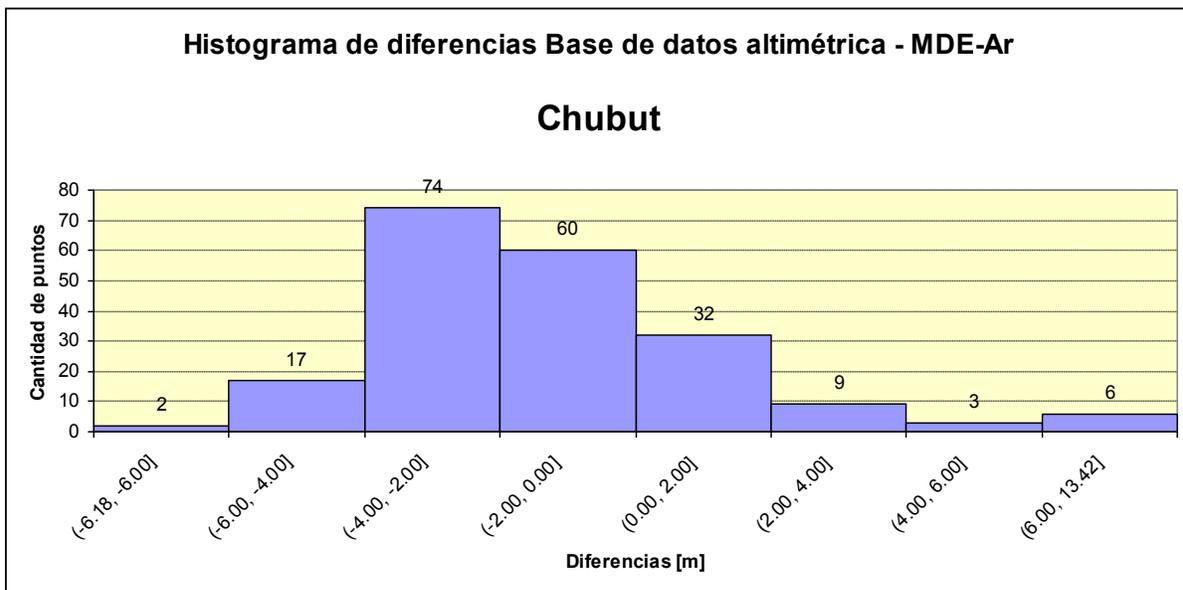
Chubut

Número de puntos comparados: **203**

Máxima diferencia positiva: **+13 metros**

Máxima diferencia negativa: **-6 metros**

Desvío estándar: **2.90 metros**



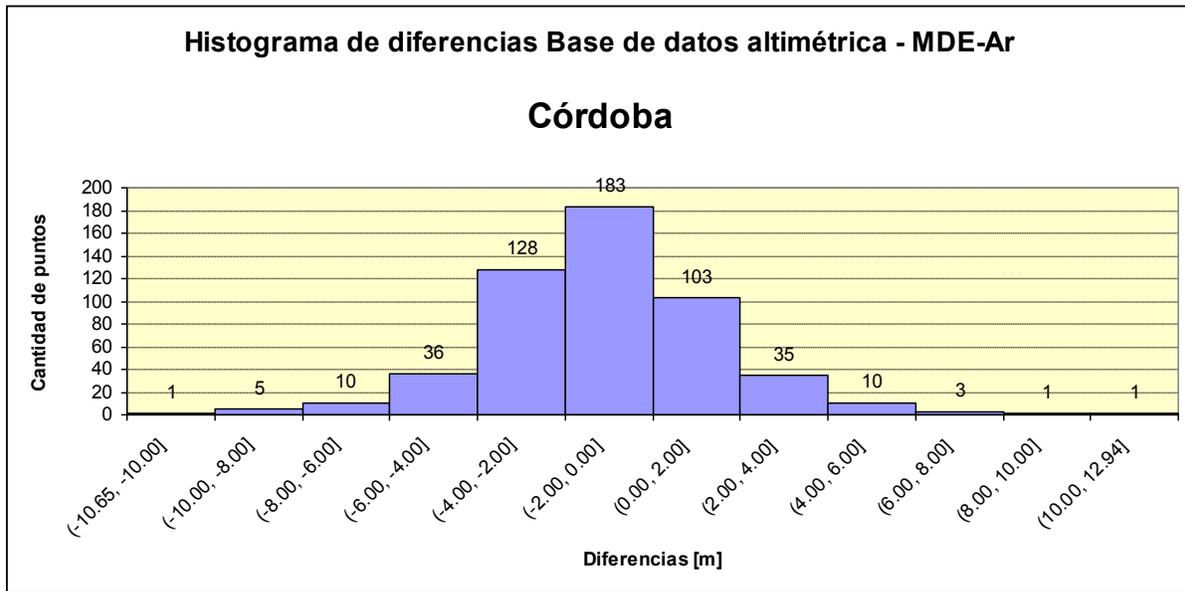
Córdoba

Número de puntos comparados: **516**

Máxima diferencia positiva: **+13 metros**

Máxima diferencia negativa: **-11 metros**

Desvío estándar: **2.60 metros**



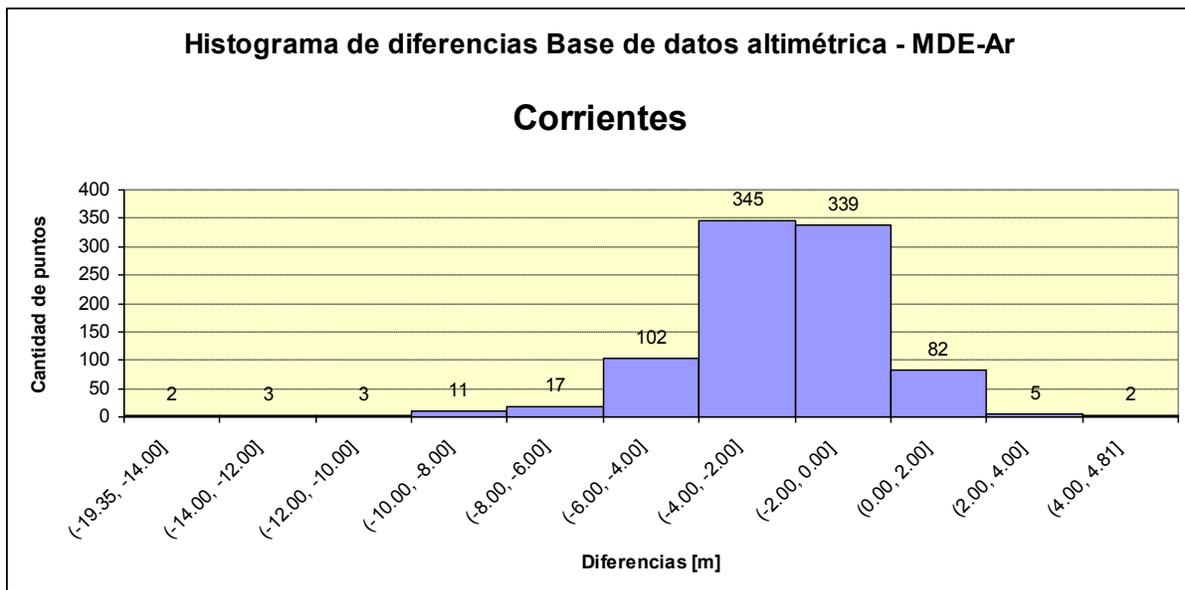
Corrientes

Número de puntos comparados: **911**

Máxima diferencia positiva: **+5 metros**

Máxima diferencia negativa: **-19 metros**

Desvío estándar: **2.16 metros**



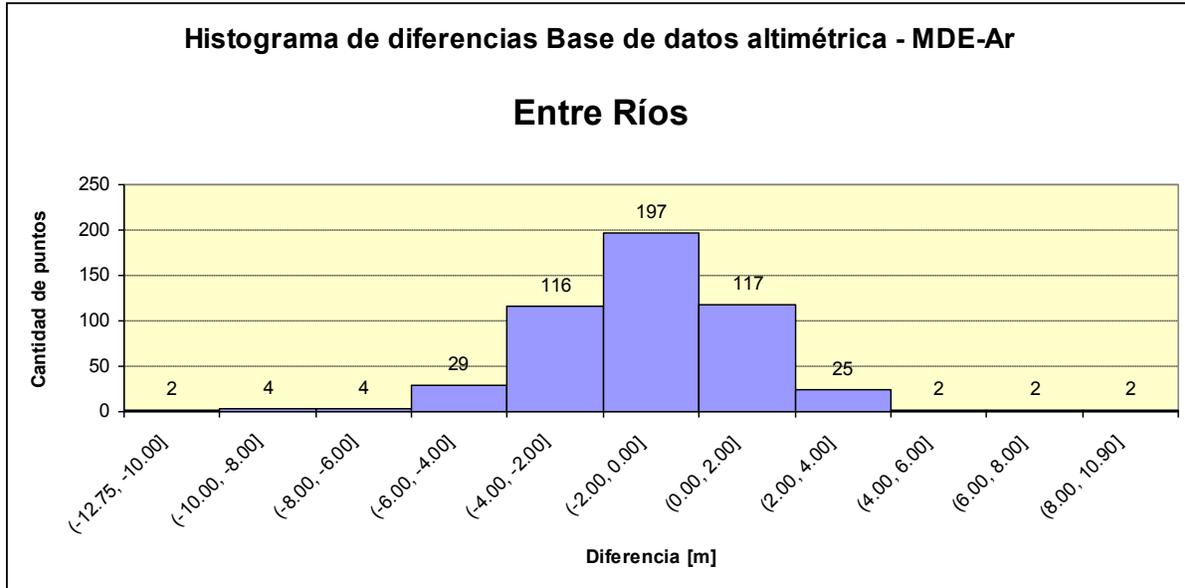
Entre Ríos

Número de puntos comparados: **500**

Máxima diferencia positiva: **+11 metros**

Máxima diferencia negativa: **-13 metros**

Desvío estándar: **2.36 metros**



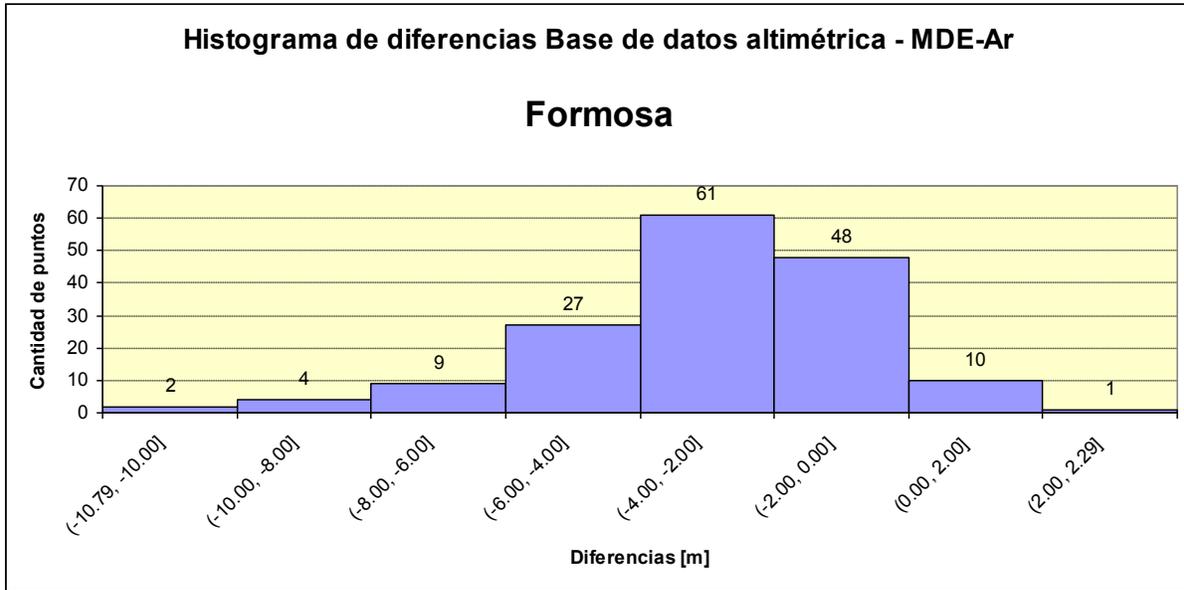
Formosa

Número de puntos comparados: **162**

Máxima diferencia positiva: **+2 metros**

Máxima diferencia negativa: **-11 metros**

Desvío estándar: **2.24 metros**



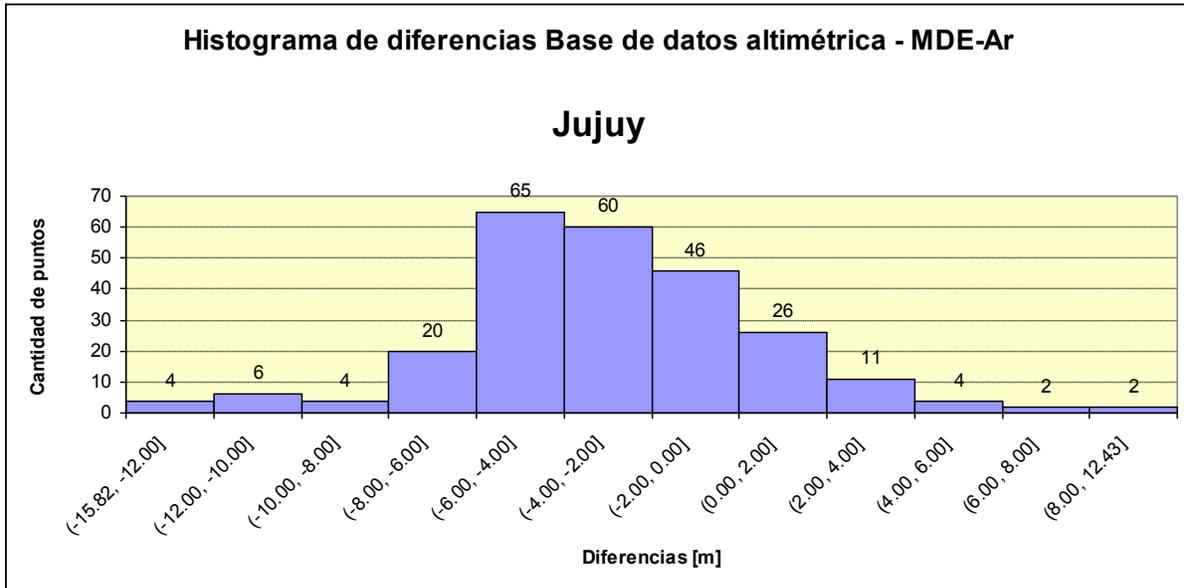
Jujuy

Número de puntos comparados: **250**

Máxima diferencia positiva: **+12 metros**

Máxima diferencia negativa: **-16 metros**

Desvío estándar: **3.73 metros**



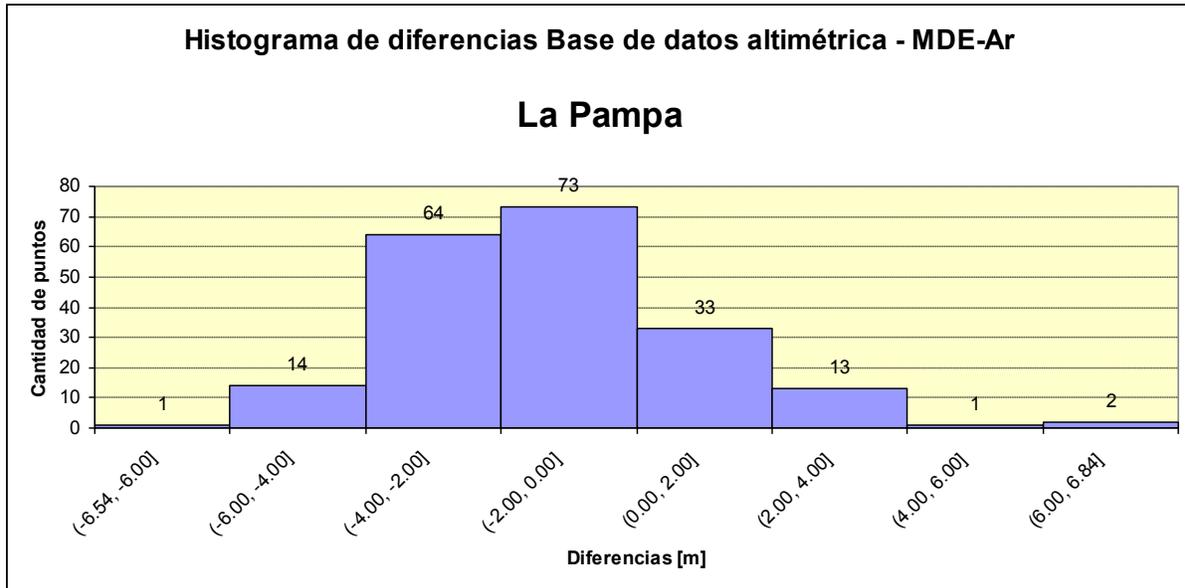
La Pampa

Número de puntos comparados: **201**

Máxima diferencia positiva: **+7 metros**

Máxima diferencia negativa: **-7 metros**

Desvío estándar: **2.19 metros**



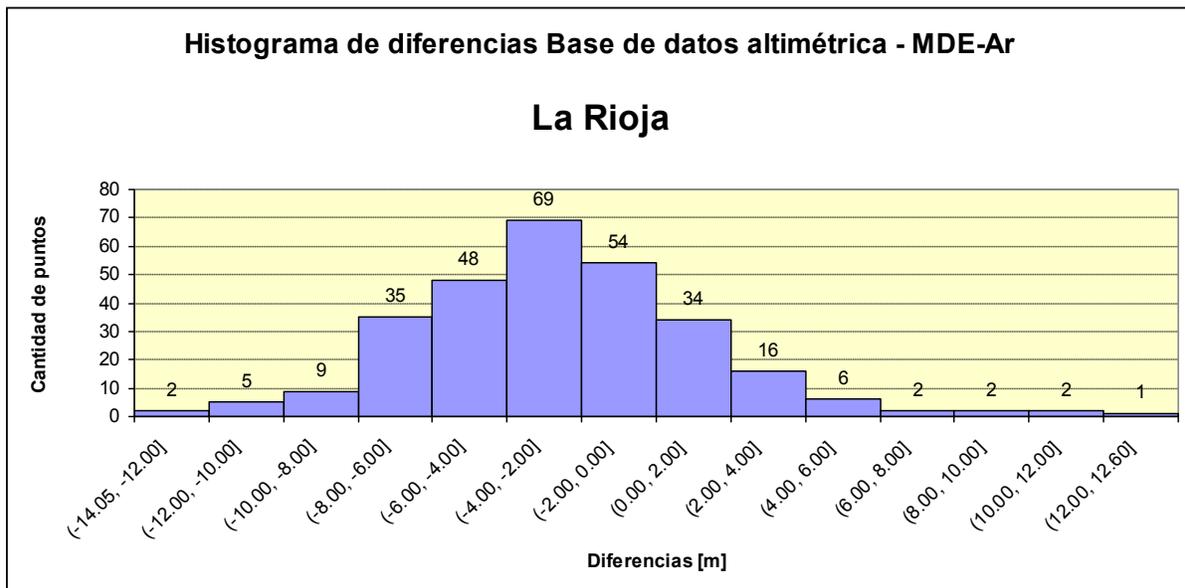
La Rioja

Número de puntos comparados: **285**

Máxima diferencia positiva: **+13 metros**

Máxima diferencia negativa: **-14 metros**

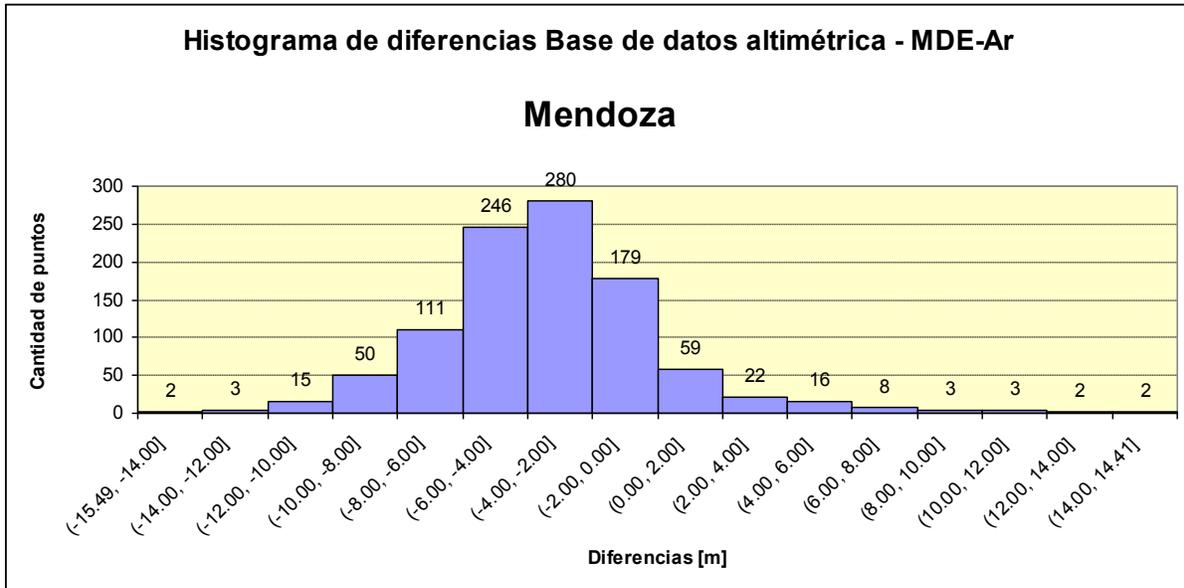
Desvío estándar: **3.88 metros**



Mendoza

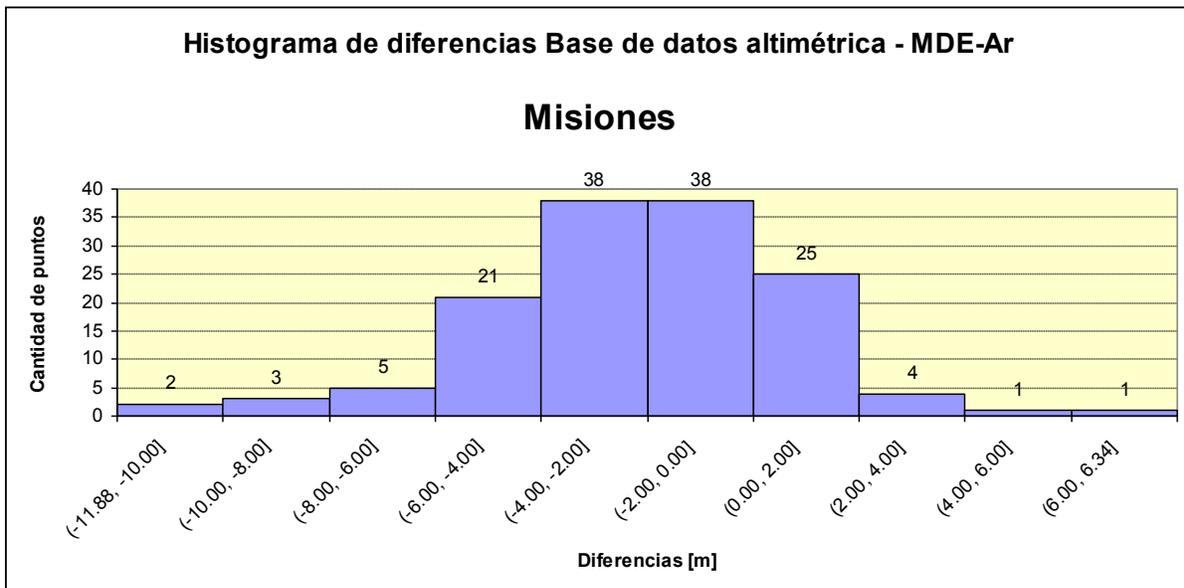
Número de puntos comparados: **1001**

Máxima diferencia positiva: **+14 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-15 metros**
 Desvío estándar: **3.45 metros**



Misiones

Número de puntos comparados: **138**
 Máxima diferencia positiva: **+6 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-12 metros**
 Desvío estándar: **2.83 metros**



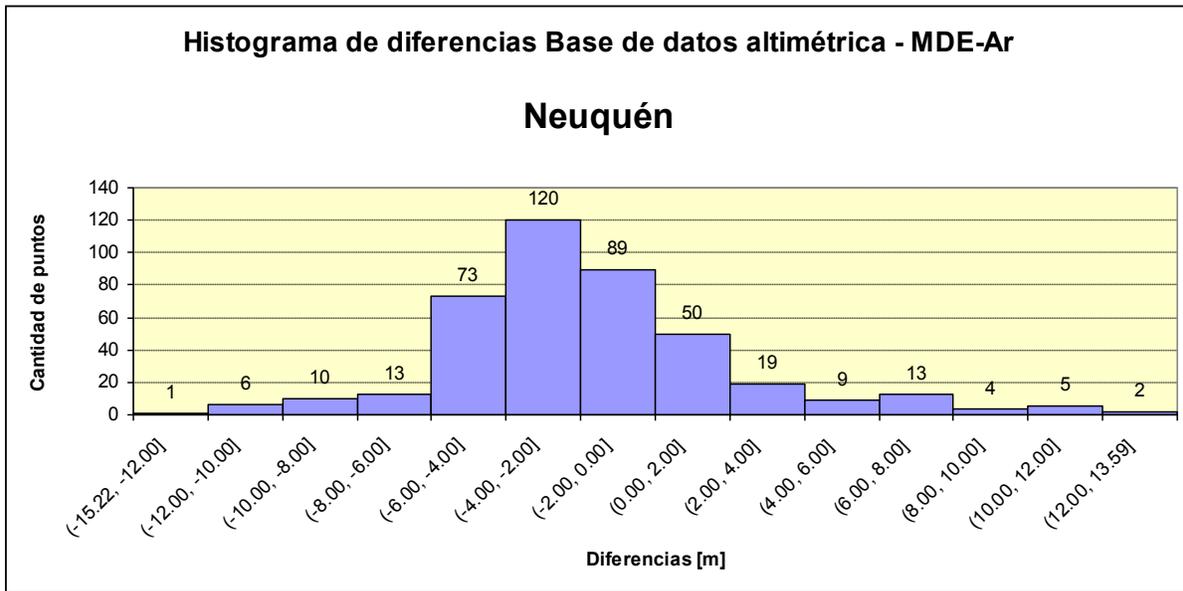
Neuquén

Número de puntos comparados: **414**

Máxima diferencia positiva: **+14 metros**

Máxima diferencia negativa: **-15 metros**

Desvío estándar: **3.97 metros**



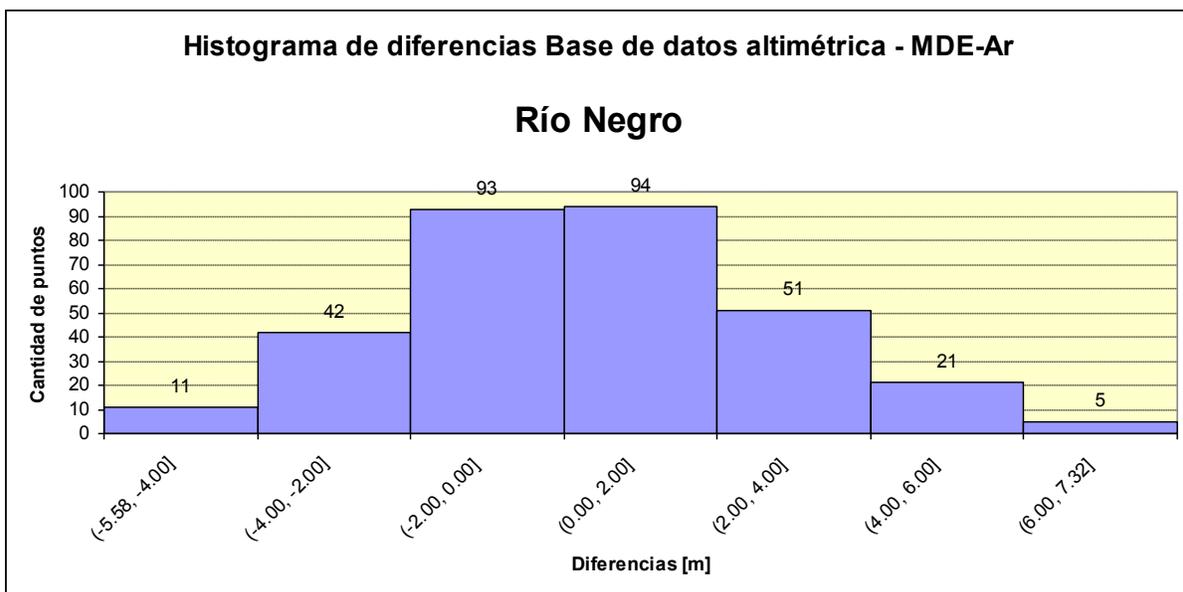
Río Negro

Número de puntos comparados: **317**

Máxima diferencia positiva: **+7 metros**

Máxima diferencia negativa: **-6 metros**

Desvío estándar: **2.44 metros**



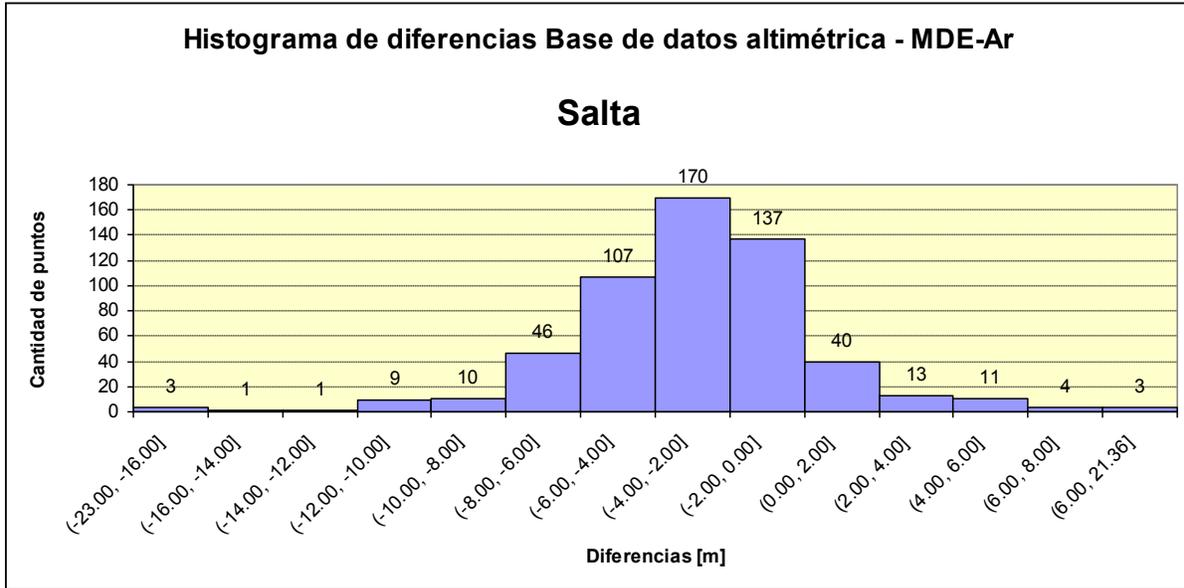
Salta

Número de puntos comparados: **555**

Máxima diferencia positiva: **+21 metros**

Máxima diferencia negativa: **-23 metros**

Desvío estándar: **3.54 metros**



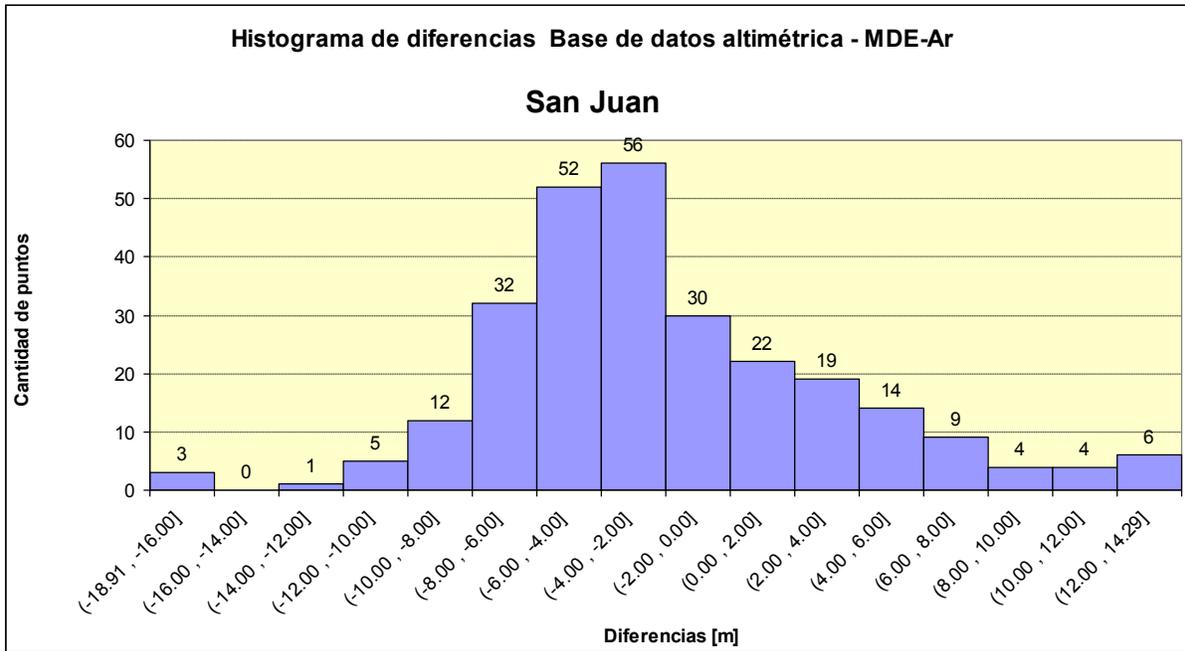
San Juan

Número de puntos comparados: **269**

Máxima diferencia positiva: **+14 metros**

Máxima diferencia negativa: **-19 metros**

Desvío estándar: **5.39 metros**



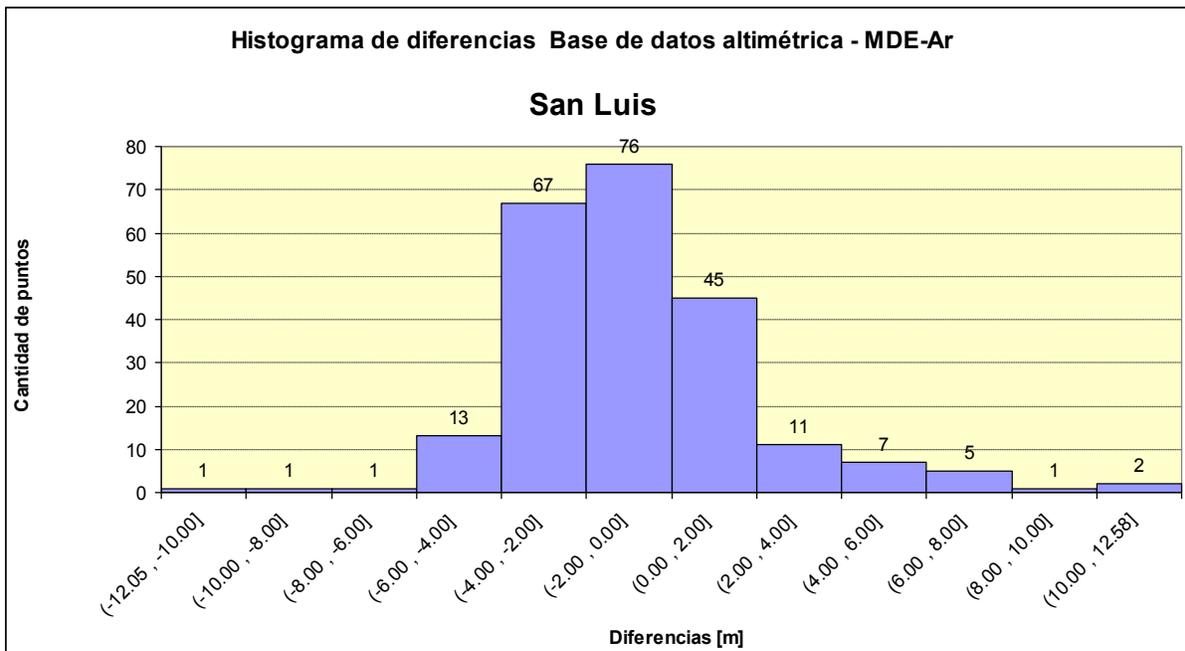
San Luis

Número de puntos comparados: **230**

Máxima diferencia positiva: **+13 metros**

Máxima diferencia negativa: **-12 metros**

Desvío estándar: **2.92 metros**



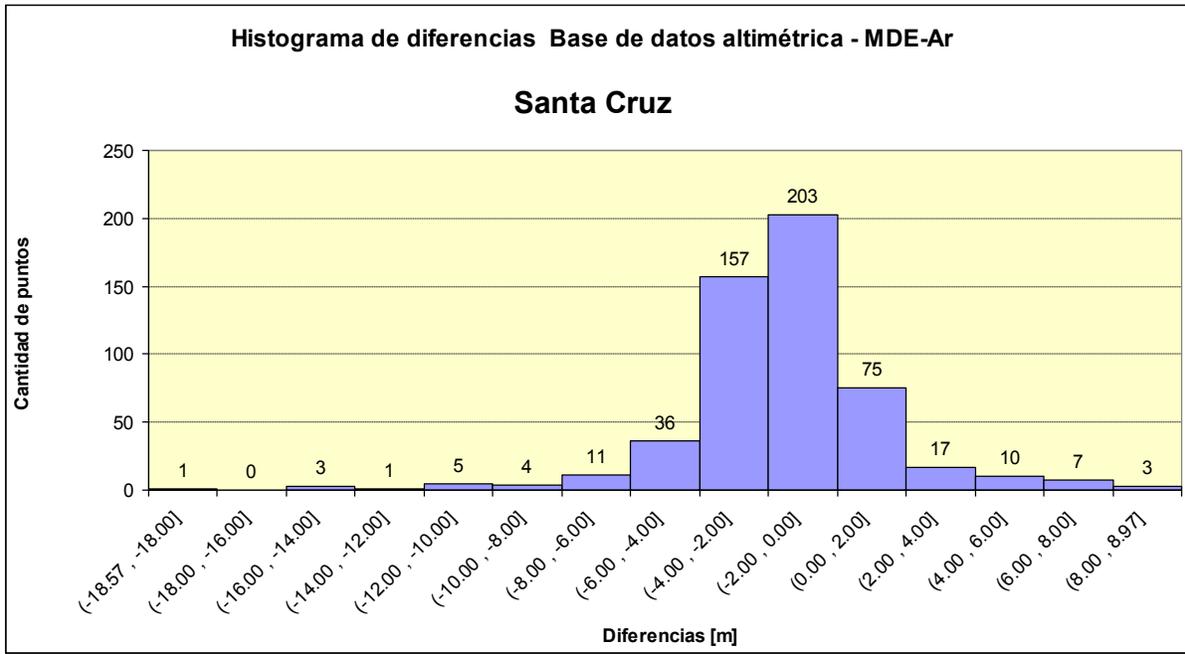
Santa Cruz

Número de puntos comparados: **533**

Máxima diferencia positiva: **+9 metros**

Máxima diferencia negativa: **-19 metros**

Desvío estándar: **3.00 metros**



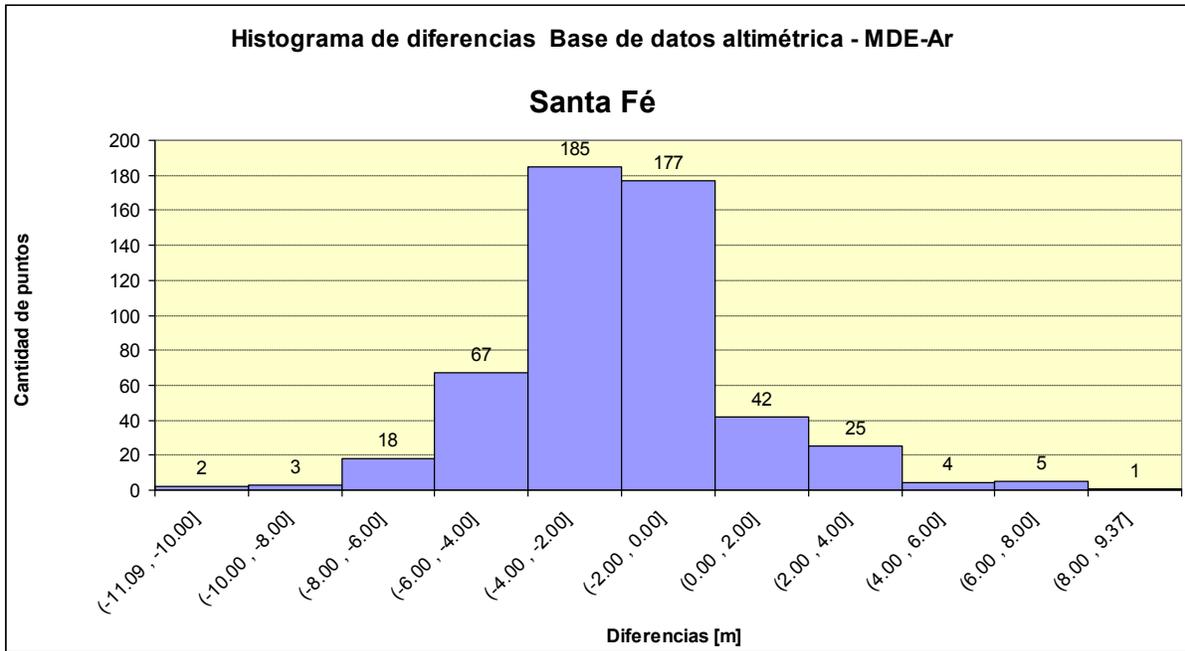
Santa Fe

Número de puntos comparados: **529**

Máxima diferencia positiva: **+9 metros**

Máxima diferencia negativa: **-11 metros**

Desvío estándar: **2.53 metros**



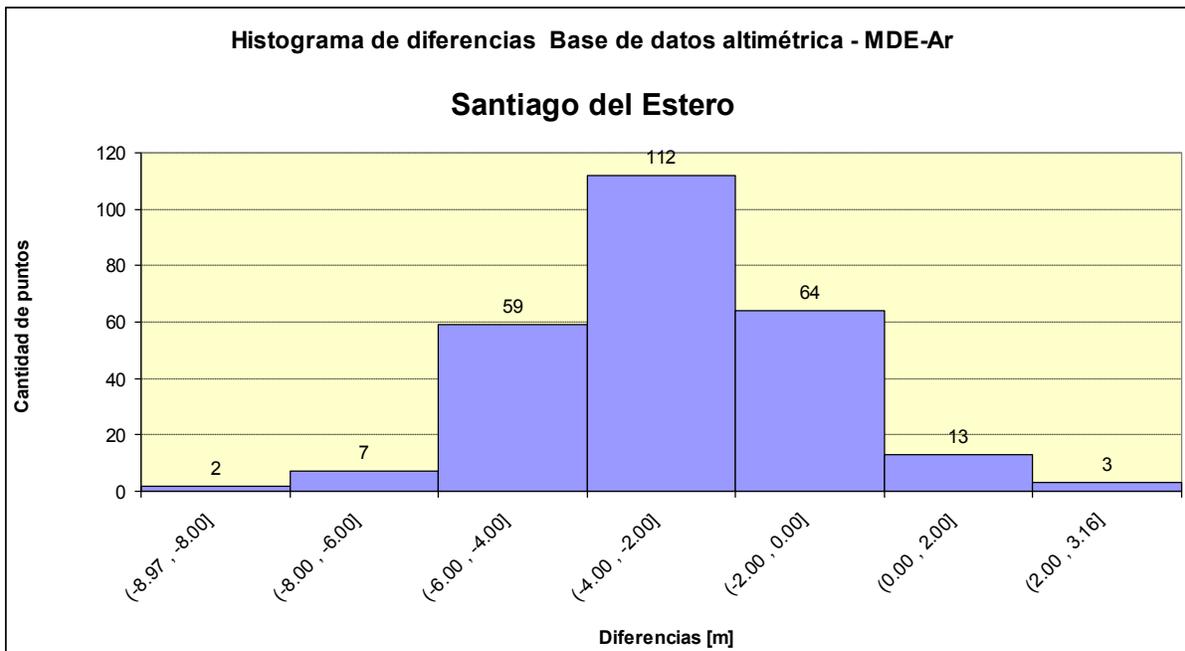
Santiago del Estero

Número de puntos comparados: **260**

Máxima diferencia positiva: **+3 metros**

Máxima diferencia negativa: **-9 metros**

Desvío estándar: **1.89 metros**



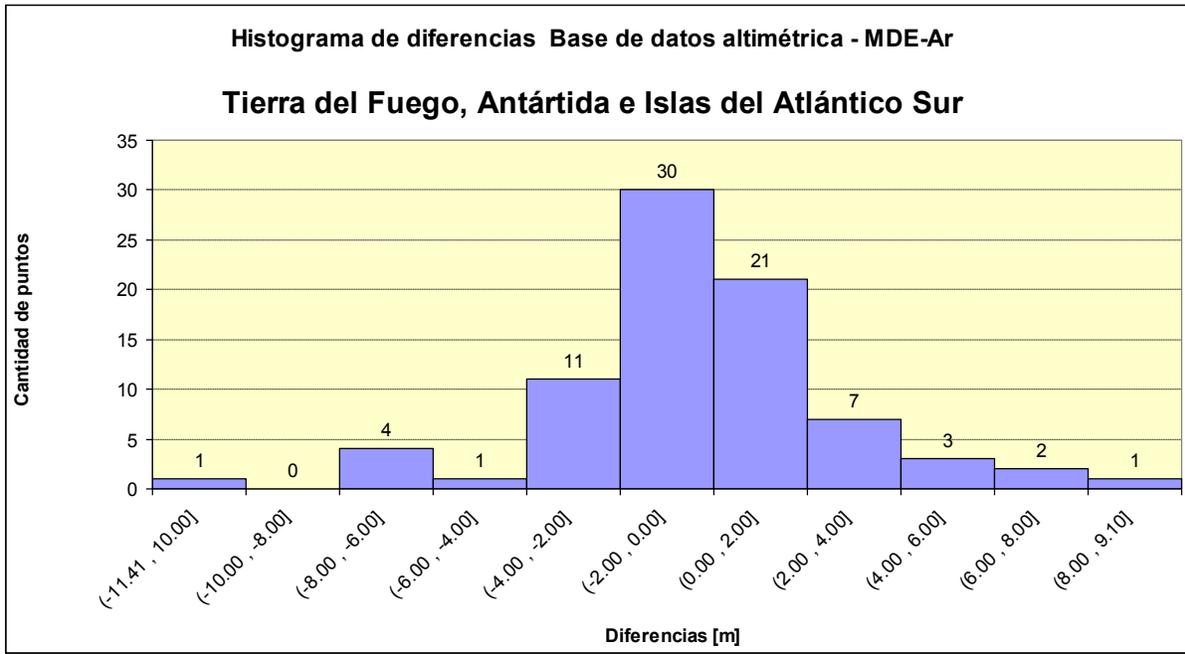
Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur

Número de puntos comparados: **81**

Máxima diferencia positiva: **+9 metros**

Máxima diferencia negativa: **-11 metros**

Desvío estándar: **3.15 metros**



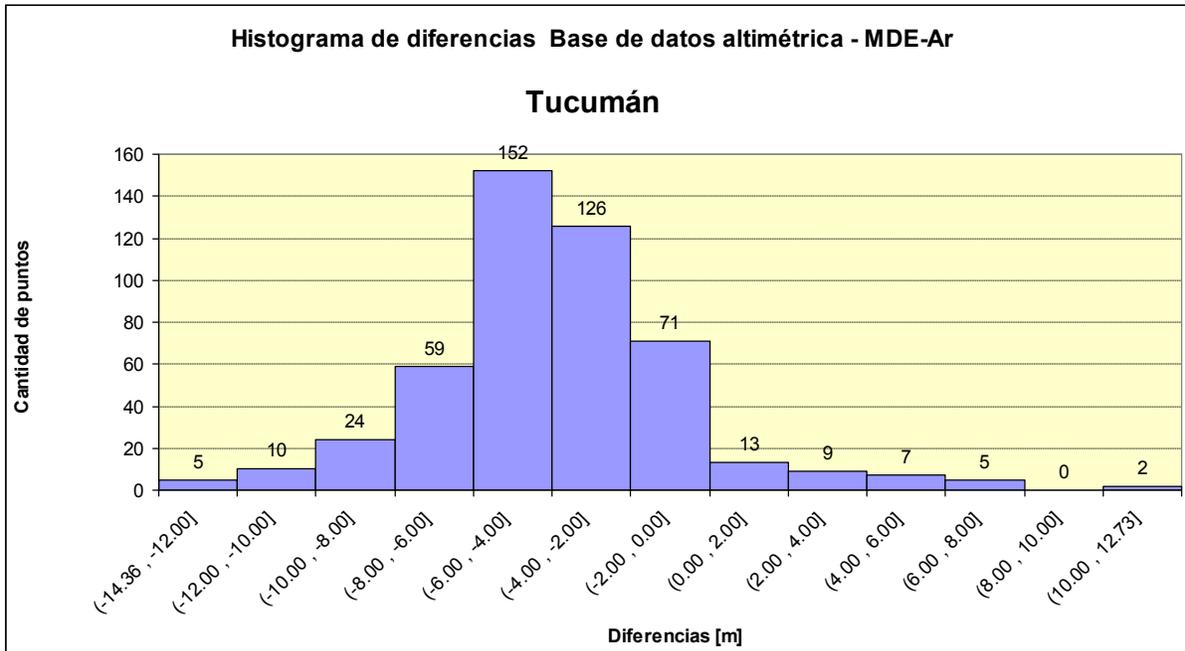
Tucumán

Número de puntos comparados: **483**

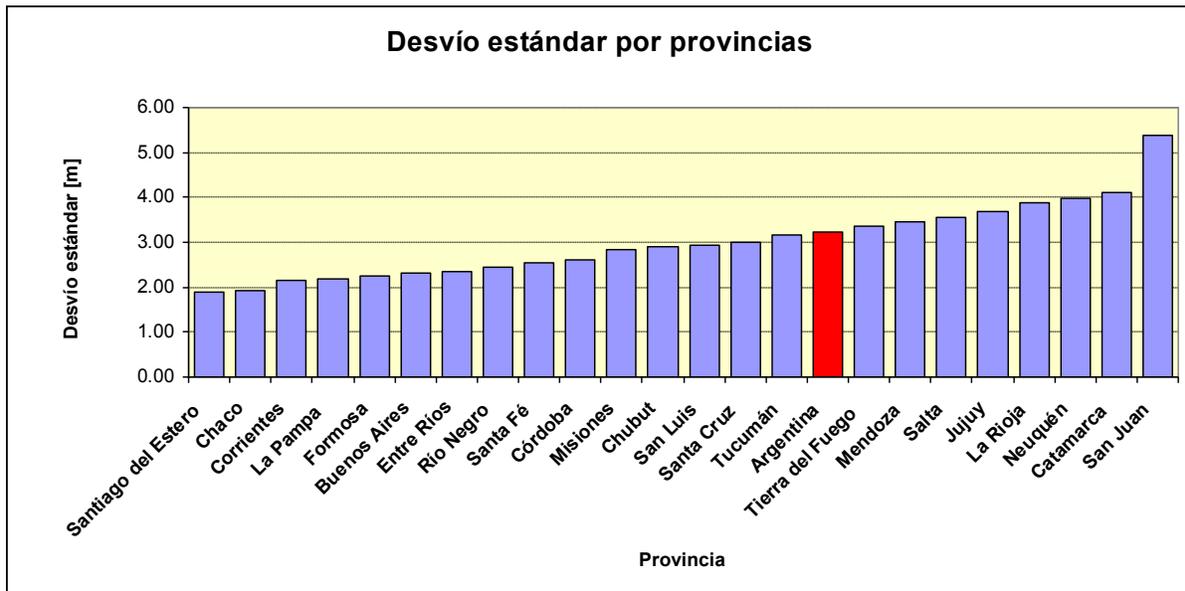
Máxima diferencia positiva: **+13 metros**

Máxima diferencia negativa: **-14 metros**

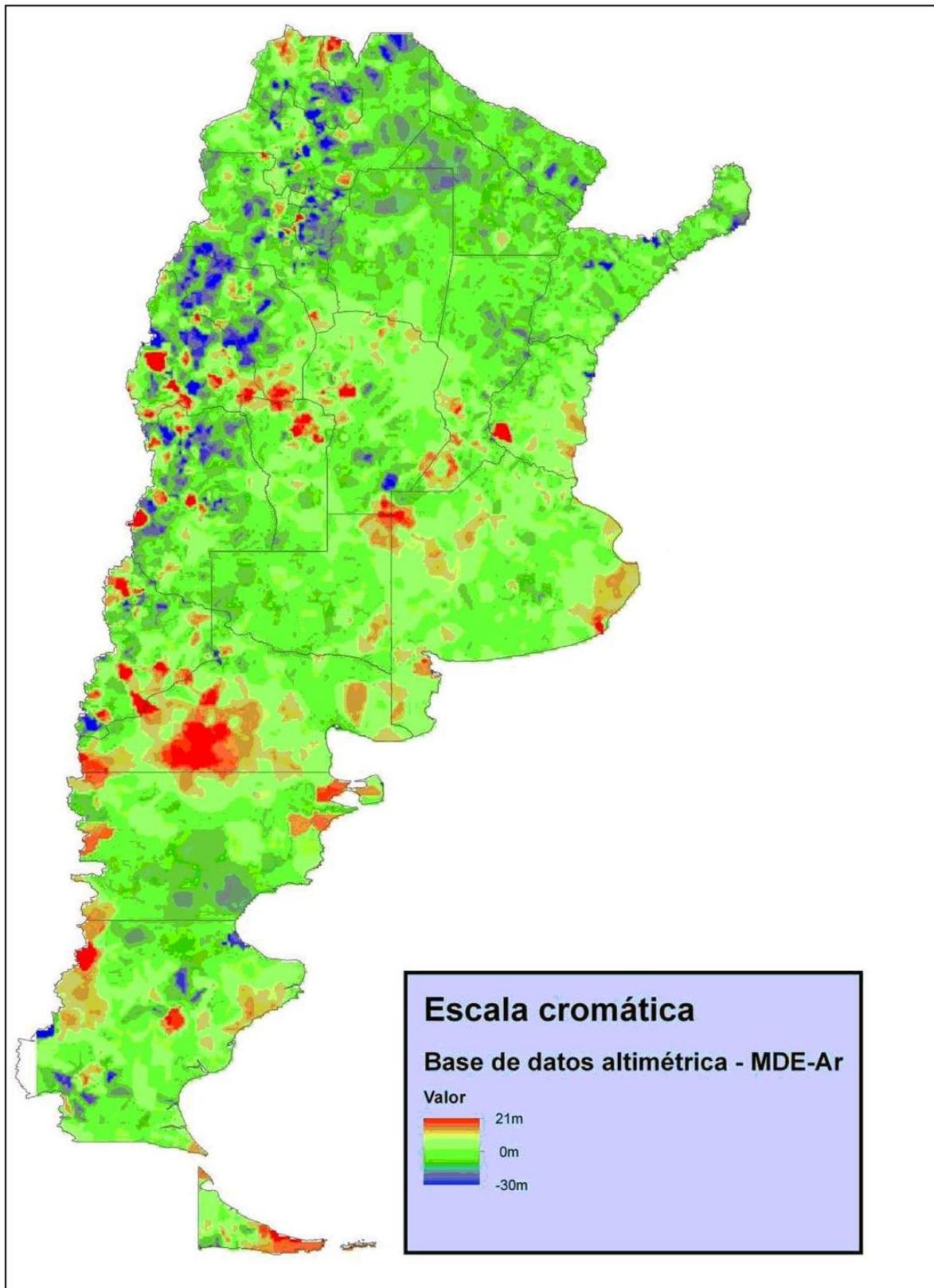
Desvío estándar: **3.35 metros**



Desvío estándar por provincias:



4.3. Mapa con la distribución de las diferencias de altura



4.4. Comparación con SRTM v4.1

Como se mencionó anteriormente, el MDE generado a partir de la misión SRTM fue distribuido públicamente con una resolución espacial de 1" de arco (~30 m) para Estados Unidos y una resolución de 3" (~90 m) para el resto del mundo (USGS, 2005). Esta última versión se denomina SRTM v4.1.

En esta sección se muestra la comparación entre el modelo digital de elevaciones de la República Argentina de resolución espacial ~45m (MDE-Ar), obtenido a partir del MDE entregado por la NGA (~30 m), con el modelo digital de elevaciones con resolución espacial ~90 m distribuido gratuita y públicamente (SRTM v4.1). Para ello se utilizarán 516 puntos altimétricos del IGN distribuidos sobre el territorio de la provincia de Córdoba. El motivo de la elección de esta provincia se debe a la variada topografía en toda su extensión.

Puntos altimétricos IGN vs. MDE-Ar

Número de puntos comparados: **516**

Máxima diferencia positiva: **+13 metros**

Máxima diferencia negativa: **-11 metros**

Desvío estándar: **2.60 metros**.

Puntos altimétricos IGN vs. SRTM v4.1

Número de puntos comparados: **516**

Máxima diferencia positiva: **+28 metros**

Máxima diferencia negativa: **-15 metros**

Desvío estándar: **3.73 metros**

MDE-Ar vs. SRTM v4.1

Número de puntos comparados: **516**

Máxima diferencia positiva: **+22 metros**

Máxima diferencia negativa: **-9 metros**

Desvío estándar: **3.28 metros**

4.5. Comparación con ASTER GDEM

El modelo digital de elevaciones ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) ha sido generado conjuntamente por el METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) del Japón y la NASA.

El ASTER GDEM tiene cobertura mundial, con una resolución cercana a los 30 metros por píxel. Su publicación fue en el año 2009, siendo el "sucesor" del MDE generado por SRTM.

La producción del ASTER GDEM involucró el procesamiento de 1,5 millones de imágenes, incluyendo estéreo-correlación para crear el modelo en mosaicos de 1° por 1° (111,11 Km x 111,11 Km aprox.) en formato GeoTiff (Burgos, 2012).

Tabla 2.- Especificaciones del Modelo Global ASTER GDEM (90% de confianza)

Parámetro	AGDEM
Sistema	VNIR / SWIR / TIR
Repetición	16 días
Rango espectral (bandas 3N y 3B)	0,78 - 0,86 μm
Ancho de barrido	60 Km
Producto	
Precisión vertical relativa	10 m
Precisión vertical absoluta	7 m
Precisión horizontal relativa	10 m
Precisión horizontal absoluta	7 m
Resolución espacial	1" (~30 m)
Datum	WGS84

Fuente: ERSDAC, 2009

A continuación se puede observar una serie de comparación realizadas en la provincia de Córdoba entre el modelo ASTER GDEM, los modelos MDE-Ar y SRTM v4.1, y 516 puntos altimétricos del IGN.

Puntos altimétricos IGN vs. MDE-Ar

Número de puntos comparados: **516**
 Máxima diferencia positiva: **+13 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-11 metros**
 Desvío estándar: **2.60 metros**

Puntos altimétricos IGN vs. ASTER GDEM

Número de puntos comparados: **516**
 Máxima diferencia positiva: **+34 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-49 metros**
 Desvío estándar: **8.57 metros**

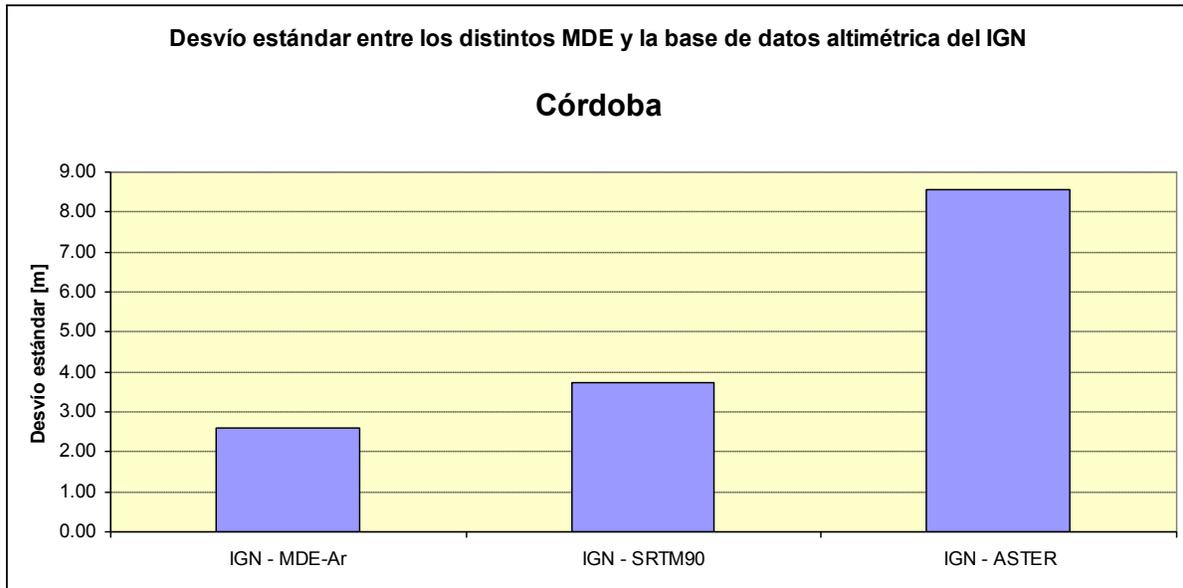
MDE-Ar vs. ASTER GDEM

Número de puntos comparados: **516**
 Máxima diferencia positiva: **+33 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-45 metros**
 Desvío estándar: **8.65 metros**

SRTM v4.1 vs. ASTER GDEM

Número de puntos comparados: **516**
 Máxima diferencia positiva: **+48 metros**
 Máxima diferencia negativa: **-37 metros**
 Desvío estándar: **8.95 metros**

4.6. Resultados finales



5. Conclusiones

A lo largo de este documento se analizó el comportamiento del MDE-Ar para todo el territorio argentino, utilizándose 9.055 puntos de la base de datos altimétrica del IGN.

La máxima diferencia positiva fue de +21 metros y la máxima diferencia negativa fue -30 metros, siendo la diferencia promedio de -2,10 metros, y el desvío estándar 3,23 metros.

Por otra parte, del análisis estadístico realizado sobre la provincia de Córdoba, es posible concluir que el MDE-Ar resulta el modelo digital de elevaciones que mejor se adapta al territorio Nacional, ya que el MDE-Ar presenta menores residuos y dispersión que los modelos SRTM v4.1 y ASTER GDEM.

El MDE-Ar resulta entonces un producto de gran utilidad y su publicación es un gran aporte a la comunidad científica y a la sociedad en general ya que su precisión y comportamiento mejora sustancialmente a sus predecesores modelos digitales de elevaciones.

6. Referencias

Burgos, V. H., 2012. Evaluación de ASTER GDEM y SRTM-C/X para modelación hidráulica de la rotura de presa El Carrizal, Mendoza, URL: www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/03_003_Burgos.pdf

ERSDAC, 2003. Aster reference Guide Version 1.0. Earth Remote Sensing Data Analysis Center, Japan.

Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>).

USGS, United States Geological Survey, 2005. Shuttle Radar Topography Mission, URL: <http://srtm.usgs.gov>

Wagner, M., 2003. SRTM DTED format, Product Description SRTM/PD03/11/03, Version 1.1, Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt, URL: <http://www.dlr.de/srtm/produkte/SRTM-XSAR-DEM-DTED-1.1.pdf>

7. Bibliografía

ASTER, G. (2009). Validation Team. ASTER Global DEM Validation, Summary Report.

Cushing, M. (2008). Desarrollo de Mapas de Relieve. Hidrografía y Derivados para Suramérica. Papel Concepto. Editorial Corporación Andina de Fomento (CAF), U.S. Geological Survey (USGS).

Hirt, C., Filmer, M. S., & Featherstone, W. E. (2010). Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4. 1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 57(3), 337-347.

Jet Propulsion Laboratory. (2000). Shuttle Radar Topography Mission. Retrieved 1 May, 2014, from <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>