



Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina versión 2.0

**Dirección de Geodesia
Instituto Geográfico Nacional**

– 2019 –

Índice

1.	Introducción	3
1.1.	Antecedentes	3
1.1.1.	Misión SRTM.....	4
1.1.2.	Misión ALOS	5
1.1.3.	MDE-Ar versión 1.0	6
2.	MDE-Ar versión 2.0.....	9
2.1.	Metodología de trabajo	9
2.1.1.	Edición y combinación parcial con SRTM	9
2.1.2.	Vinculación del MDE al sistema altimétrico nacional.....	12
2.2.	Características técnicas del MDE-Ar v2.0	12
3.	Resultados.....	13
3.1.	Resultados estadísticos para el territorio Nacional	15
3.2.	Resultados estadísticos por provincia	16
4.	Conclusiones.....	39
5.	Referencias.....	40
6.	Bibliografía	41

1. Introducción

Los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) son una representación digital de la superficie visible de la tierra que permiten determinar numéricamente las alturas o elevaciones respecto de una superficie de referencia. A diferencia de los modelos digitales de terreno (MDT), los MDE describen las características y elementos presentes sobre la superficie terrestre, tanto antrópicas como naturales. Los MDE son utilizados en diversas aplicaciones y disciplinas tales como la cartografía, fotogrametría, ingeniería civil, geodesia y geofísica, y por lo tanto, resultan un producto demandado por un amplio espectro de usuarios.

Las aplicaciones de un MDE son variadas. Entre las más importantes figuran:

- Generación de curvas de nivel;
- Generación de mapas de pendiente;
- Generación 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;
- Apoyo a obras de ingeniería civil;
- Trazado de perfiles topográficos del terreno;
- Determinación de volúmenes y/o movimientos de suelo; y
- Análisis de riesgos ambientales.

Los métodos para generar MDE son muy diversos. Sin embargo, los métodos más habituales son tres: Altimetría satelital, interferometría de imágenes radar y generación de modelos a partir de curvas de nivel.

En el año 2019, el IGN desarrolló una nueva línea de producción para la generación de un MDE de alta resolución espacial (1" o ~30 m) que cubre la totalidad del territorio de la República Argentina. Este modelo está basado en información proveniente del Proyecto ALOS (*Advanced Land Observing Satellite "DAICHI"*).

El presente informe describe los procedimientos empleados en la determinación del Modelo Digital de Elevaciones de la Argentina (MDE-Ar v2.0), y el análisis de los resultados obtenidos en su validación.

1.1. Antecedentes

A continuación se describen los antecedentes técnicos relacionados al desarrollo de modelos digitales de elevaciones globales de alta resolución y su aplicación en el territorio nacional.

1.1.1. Misión SRTM

La misión *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) fue un proyecto internacional llevado a adelante en cooperación entre la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), el *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR), la *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI) y el *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA).

El objetivo principal de la misión 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 (InSAR, por sus siglas en inglés).

Los datos InSAR 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 Endeavour.

El sistema de radar estaba compuesto por dos reflectores de antenas de radar, separados aproximadamente 60 metros de distancia, que capturaron información del terreno a partir de métodos interferométricos. Por un lado, el *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) 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. Por otra parte, 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, (poco más de la mitad que los de la banda C). Esto puede observarse en la precisión vertical relativa que figura en la Tabla 1 (Burgos, 2012).

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

Tabla 1: Especificaciones del modelo SRTM (intervalo de confianza de 90%)

Las bandas C y X fueron procesadas de manera independiente. La primera de ellas fue distribuida públicamente, con resolución espacial de 1" de arco (~30 m) para Estados Unidos, y de 3" (~90 m) para el resto del mundo. Sin

embargo, durante el año 2015, la NASA liberó los datos SRTM con resolución espacial de 1" de arco (~30 m) para el resto del mundo.

1.1.2. Misión ALOS

La Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA, por su sigla en inglés) inició en el año 2014 el proyecto "*ALOS World 3D*" (AW3D), con el fin de desarrollar un modelo digital de elevaciones a escala global mediante la utilización de aproximadamente 3 millones de imágenes pancromáticas adquiridas por PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*), uno de los tres sensores principales a bordo del Satélite Avanzado de Observación Terrestre "DAICHI" (ALOS, por su sigla en inglés), el cual operó desde mayo de 2006 hasta abril de 2011.

A partir del trabajo conjunto con el *Earth Observation Research Center* (EORC), en mayo de 2015 la JAXA publicó "*ALOS World 3D-30m*" (AW3D30), un modelo digital de elevaciones global y preciso con una resolución espacial de aproximadamente 30 metros (1 segundo de arco en latitud y longitud).

Los píxeles vacíos, las máscaras de los espejos de agua y los píxeles de baja correlación se rellenaron con modelos digitales de elevaciones ya existentes entre las latitudes 60°N y 60°S (extensión latitudinal del MDE) utilizando el método *Delta Surface Fill* (Grohmann et al. 2006), que consiste en la generación de una superficie de interpolación denominada "delta" determinada en función de las diferencias entre el MDE que contiene áreas vacías y el MDE utilizado para relleno.

1.1.3. MDE-Ar versión 1.0

A partir del modelo SRTM con una resolución espacial de 1" (~30 metros) generado por la NASA, el IGN llevó a cabo los siguientes procesos para la determinación del MDE-Ar v1.0 (publicado en septiembre de 2016):

- Relleno de vacíos;
- Inclusión de datos de lagos;
- Filtrado espacial; y
- Enmascarado de límites.

Todas las tareas fueron ejecutadas mediante rutinas desarrolladas en el IGN en lenguaje Python® utilizando los objetos provistos por ESRI® para ArcGIS®, exceptuando el filtrado espacial que se realizó con el software ERDAS®. Para más detalle consultar

<http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Documentacion>.

En la Fig. 1 pueden observarse los desvíos estándar de las diferencias entre las alturas provenientes de 23411 puntos de control altimétrico y aquellas derivadas del MDE-Ar v1.0 para cada una de las provincias de la República Argentina.

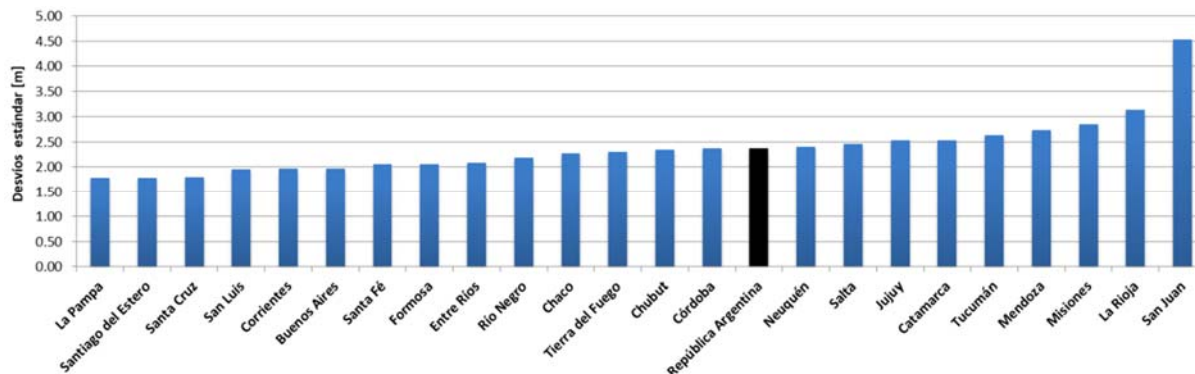


Fig. 1: Desvíos estándar de las diferencias entre las alturas de 23411 puntos altimétricos y las alturas derivadas de MDE-Ar v1.0

En la Fig. 2 se observan los resultados estadísticos luego de analizar las diferencias de alturas entre MDE-Ar v1.0 y los puntos de control altimétricos disponibles para todo el territorio nacional. Es importante aclarar que MDE-Ar v1.0 conserva el mismo origen geopotencial que SRTM (EGM96), mientras que los puntos de control altimétricos utilizados para la validación se encuentran vinculados al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16).

En la Fig. 3 se observa un mapa con la distribución espacial de los puntos altimétricos utilizados para validar el modelo, junto con la representación de las diferencias entre las alturas medidas y las derivadas del MDE-Ar v1.0.

Validación nacional MDE-Ar v1.0 - Sector continental americano

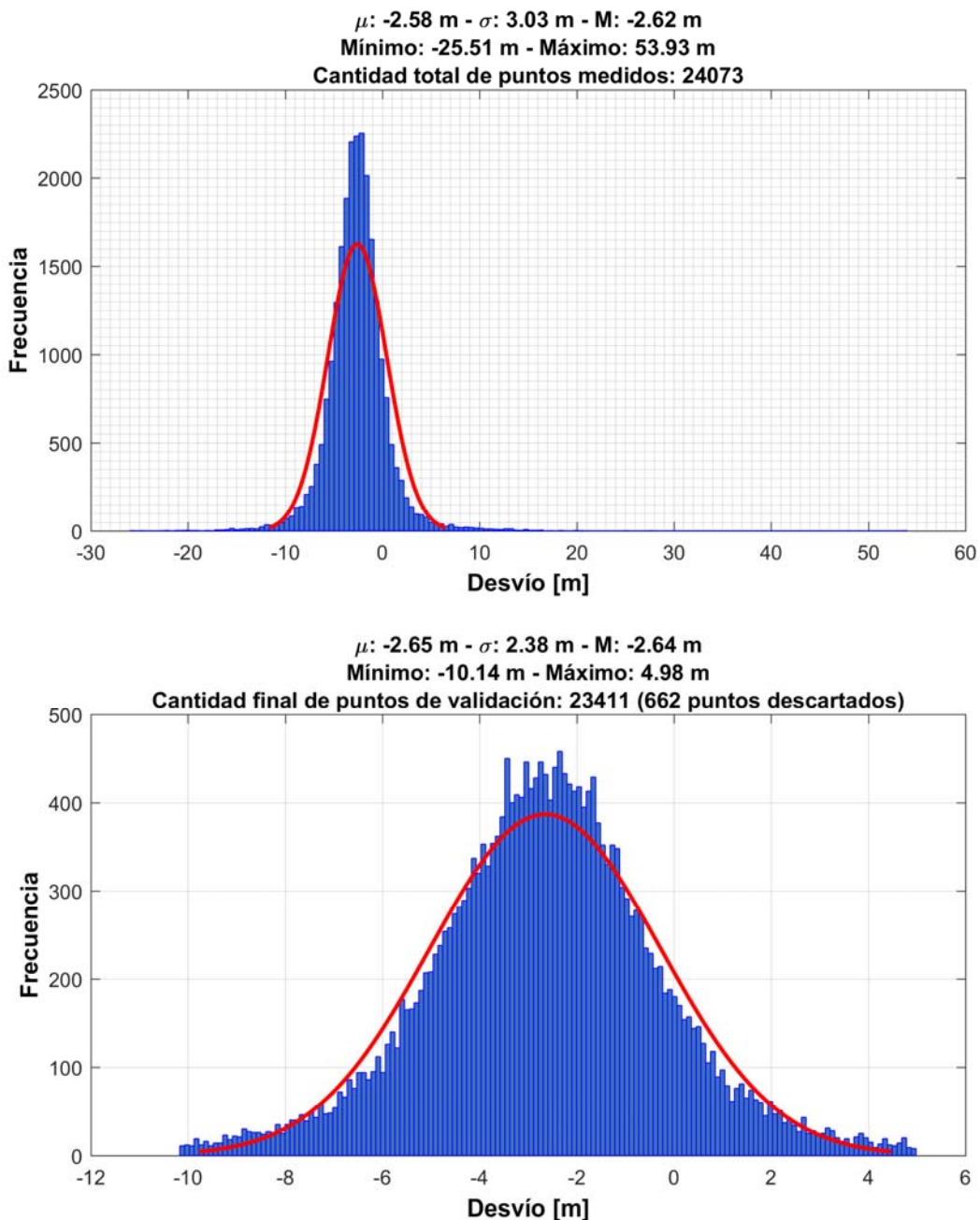


Fig. 2: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v1.0 en la República Argentina. Arriba: histograma de todos los puntos; Abajo: Histograma luego de ejecutar un filtro tres sigma.

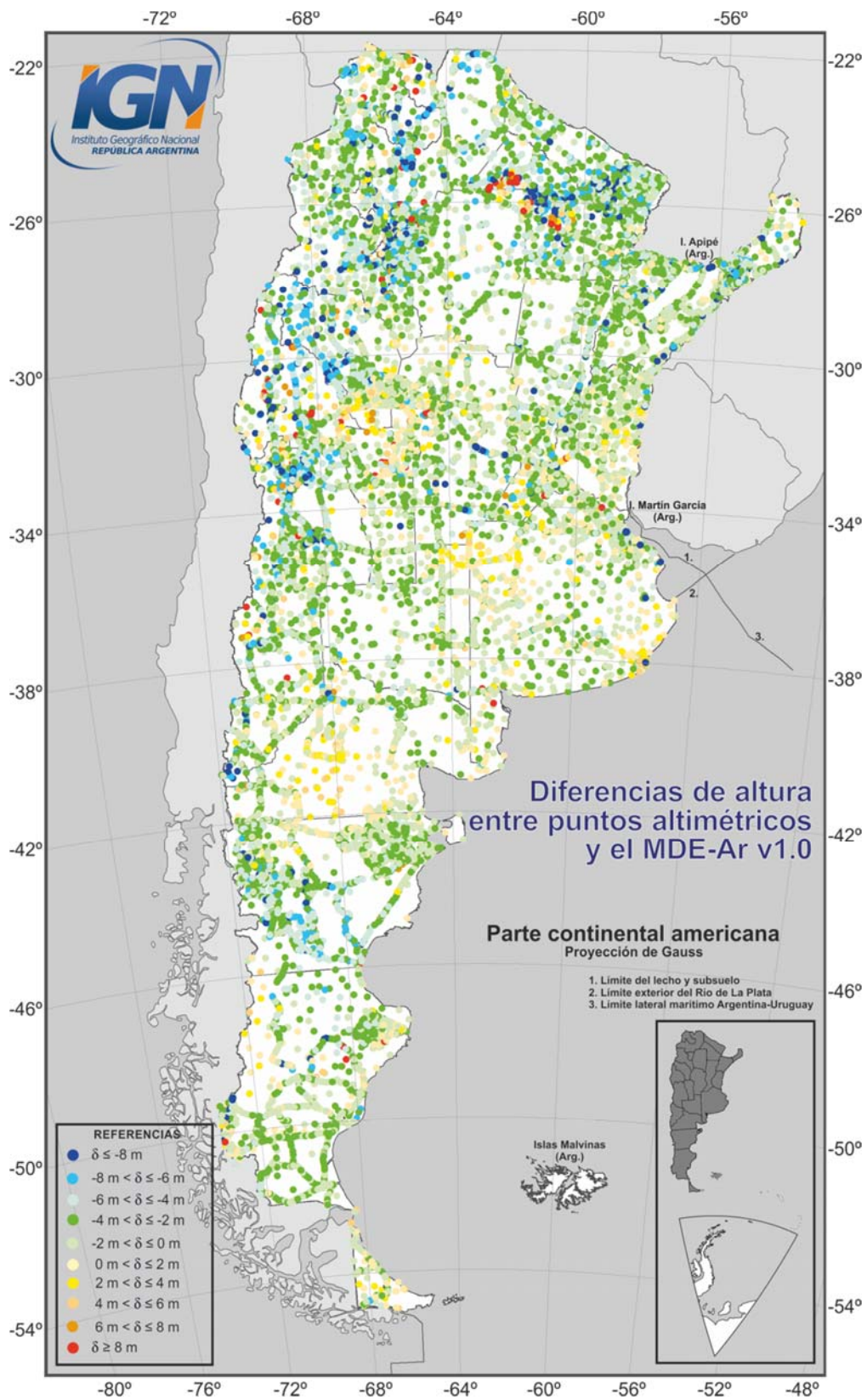


Fig. 3: Diferencias entre las alturas de 23411 puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v1.0

2. MDE-Ar versión 2.0

2.1. Metodología de trabajo

A partir del modelo con resolución espacial de 1" (~30 metros) generado por la JAXA en el marco del proyecto "ALOS World 3D", el IGN llevó a cabo procesos para mejorar su calidad en el territorio nacional y vincularlo al marco altimétrico nacional.

2.1.1. Edición y combinación parcial con SRTM

Durante el proceso inicial de verificación se hallaron algunas inconsistencias en el modelo AW3D30 en las provincias de Santa Fe y Santa Cruz. Dado que dichas inconsistencias no están presentes en el modelo de la misión SRTM, se realizaron recortes de este último para rellenar las zonas problemáticas del AW3D30 (ver Fig. 4).

En la Fig. 5, se muestra el sector de la provincia de Santa Fe donde se hallaron errores en el modelo AW3D30. La Fig. 6 muestra el mismo sector luego de realizarse la fusión de datos entre AW3D30 y SRTM. En la Fig. 7, se observan los errores hallados en la provincia de Santa Cruz mientras que en la Fig. 8 se observa el resultado de la fusión entre AW3D30 y SRTM.

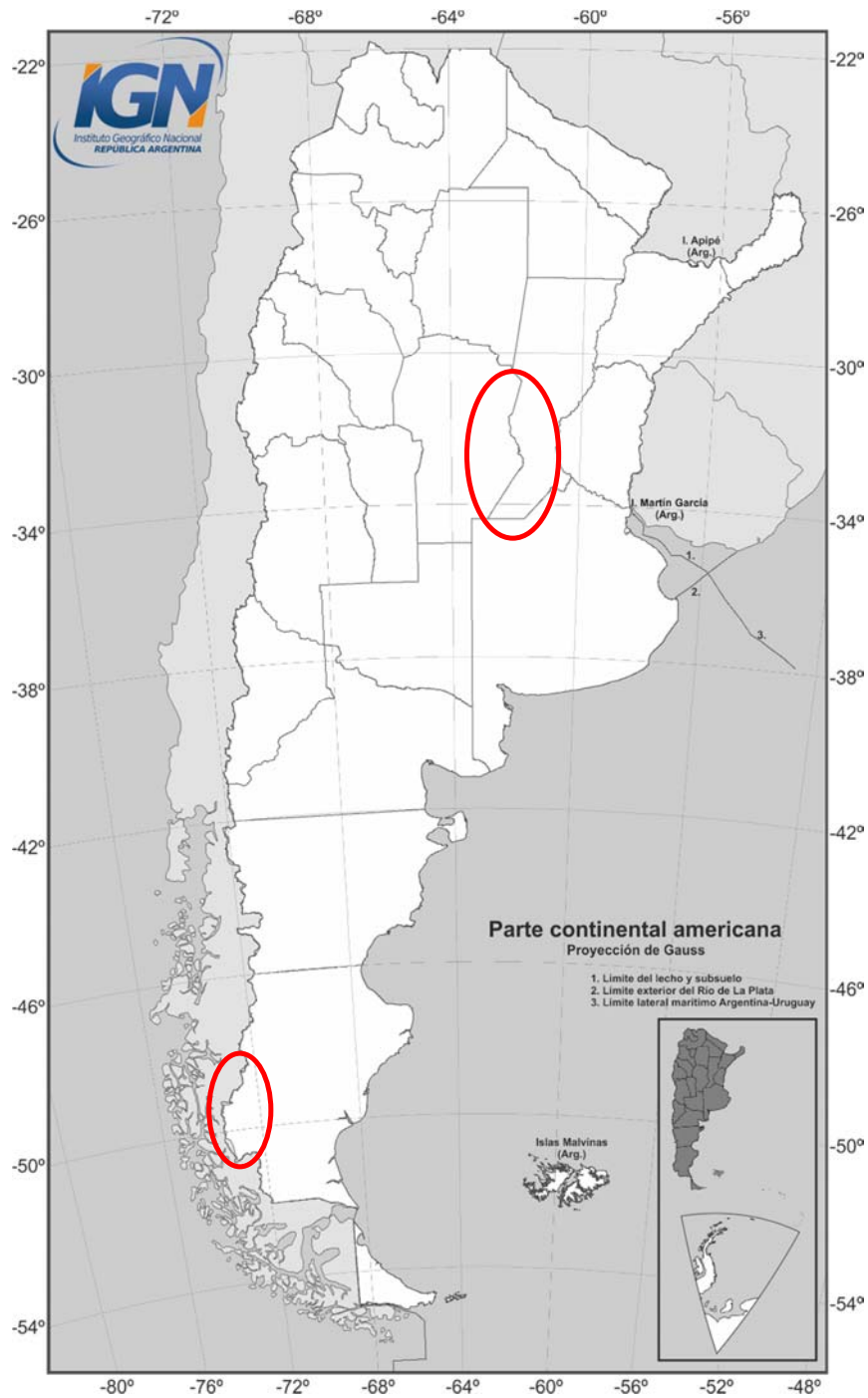


Fig. 4: Ubicación aproximada de los sectores que fueron rellenados por el MDE de la Misión SRTM

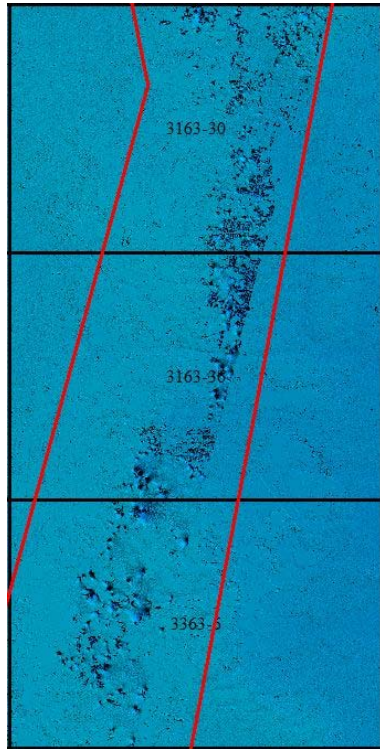


Fig. 5: Modelo AW3D30 en un sector de la provincia de Santa Fe, junto con el polígono de corte utilizado para su edición.

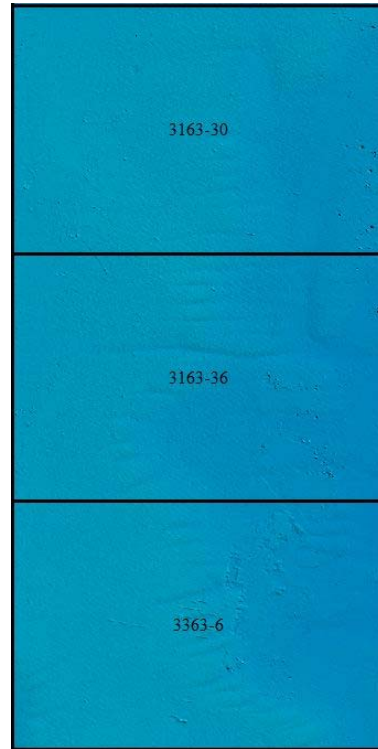


Fig. 6: MDE-Ar v2.0 en un sector de la provincia de Santa Fe, luego de la fusión entre AW3D30 y SRTM.

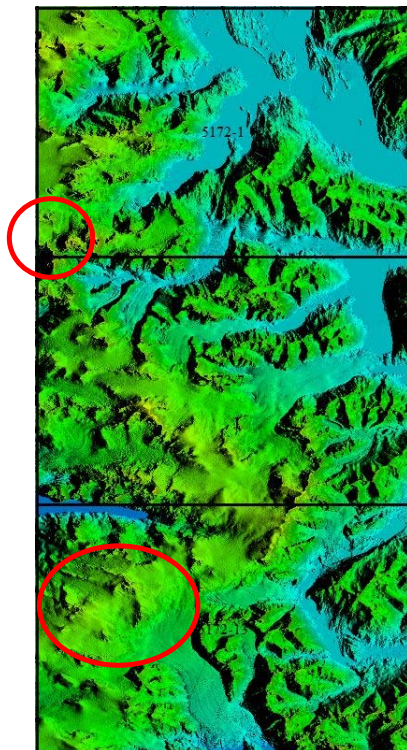


Fig. 7: Modelo AW3D30 en un sector de la provincia de Santa Cruz.

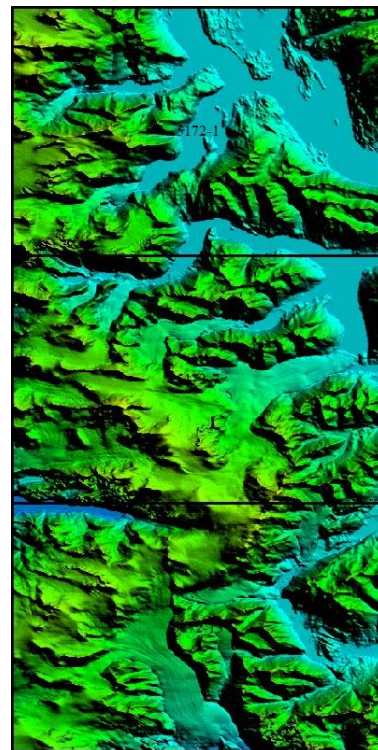


Fig. 8: MDE-Ar v2.0 en un sector de la provincia de Santa Cruz, luego de la fusión entre AW3D30 y SRTM.

2.1.2. Vinculación del MDE al sistema altimétrico nacional

Para la representación y publicación de las elevaciones del modelo, la JAXA convirtió alturas elipsoidales en alturas geopotenciales haciendo uso del *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96).

En este sentido, para vincular las elevaciones del modelo AW3D30 al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16), fue necesario en primera instancia eliminar la contribución del valor de ondulación geoidal proveniente de EGM96 en todo el territorio nacional, para luego adicionar la contribución del modelo de geode gravimétrico GEOIDE-Ar16.

De este modo, se logró vincular MDE-Ar v2.0 al origen geopotencial de la República Argentina.

2.2. Características técnicas del MDE-Ar v2.0

Del modelo digital de elevaciones obtenido, se desprenden las siguientes características técnicas:

Especificaciones técnicas del MDE-Ar v2.0	
Resolución espacial	1" (~30 m)
Marco de referencia vertical	SRVN16
Formato	IMG (32 bits flotante)
Unidades verticales	Metro
Marco de referencia geodésico	POSGAR 07

Tabla 2: Especificaciones técnicas de MDE-Ar v2.0

3. Resultados

En esta sección se describen los resultados estadísticos obtenidos luego de calcular las diferencias entre las alturas de 23411 puntos pertenecientes a la base de datos de puntos altimétricos del IGN y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 para los mismos sitios.

En la Fig. 12 se pueden observar sintéticamente los desvíos estándar de las diferencias de altura entre las alturas provenientes de dichos puntos y las derivadas del MDE-Ar v2.0 para cada una de las provincias de la República Argentina.

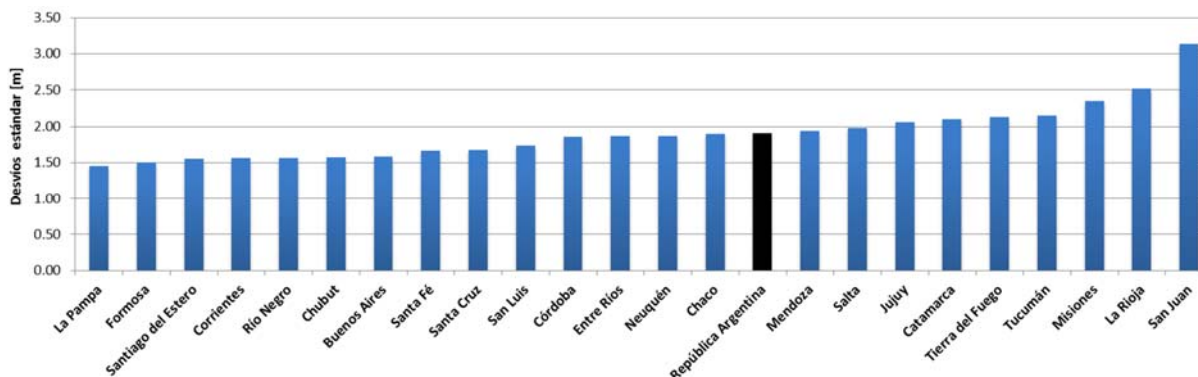


Fig. 12: Desvíos estándar de las diferencias entre las alturas de 23411 puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0

En la Fig. 13 se observa un mapa con la distribución espacial de los puntos altimétricos utilizados para validar el modelo, junto con la representación de las diferencias entre las alturas medidas y las derivadas del MDE-Ar v2.0.

A partir de las Fig. 12 y 13, se puede inferir que las diferencias entre las alturas del MDE-Ar v2.0 y las alturas de los puntos altimétricos medidos son menores en las provincias con topografía predominantemente llana.

En la Fig. 14 puede observarse el análisis estadístico (diferencia máxima, diferencia mínima, desvío estándar, etc.) de las diferencias determinadas en los 23411 puntos altimétricos para la totalidad del territorio nacional.

Entre las Fig. 15 y 37 puede observarse el análisis estadístico de las diferencias para cada una de las 23 provincias del territorio nacional.

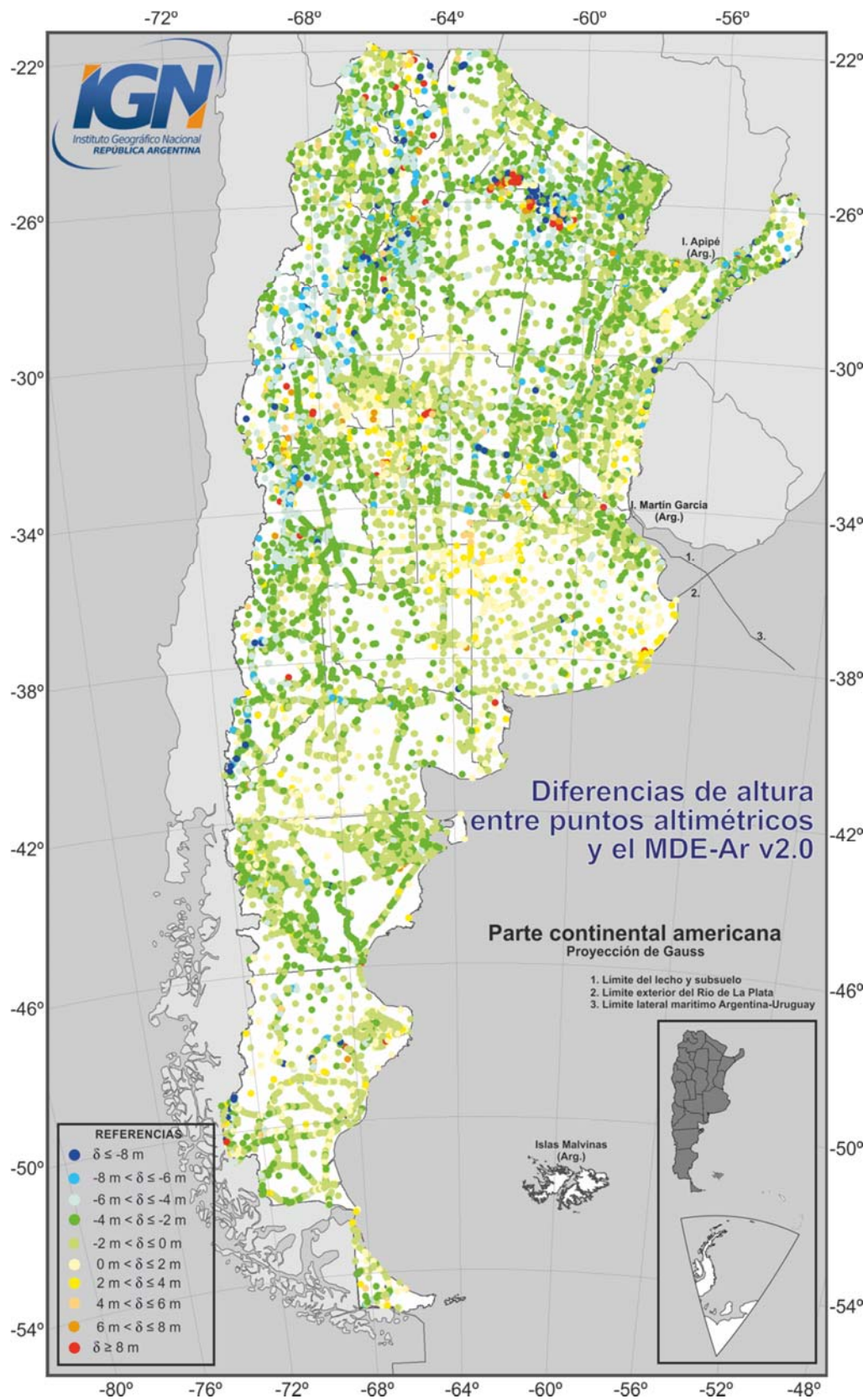


Fig. 13: Diferencias entre las alturas de 23411 puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0

3.1. Resultados estadísticos para el territorio Nacional

Validación nacional MDE-Ar v2.0 - Sector continental americano

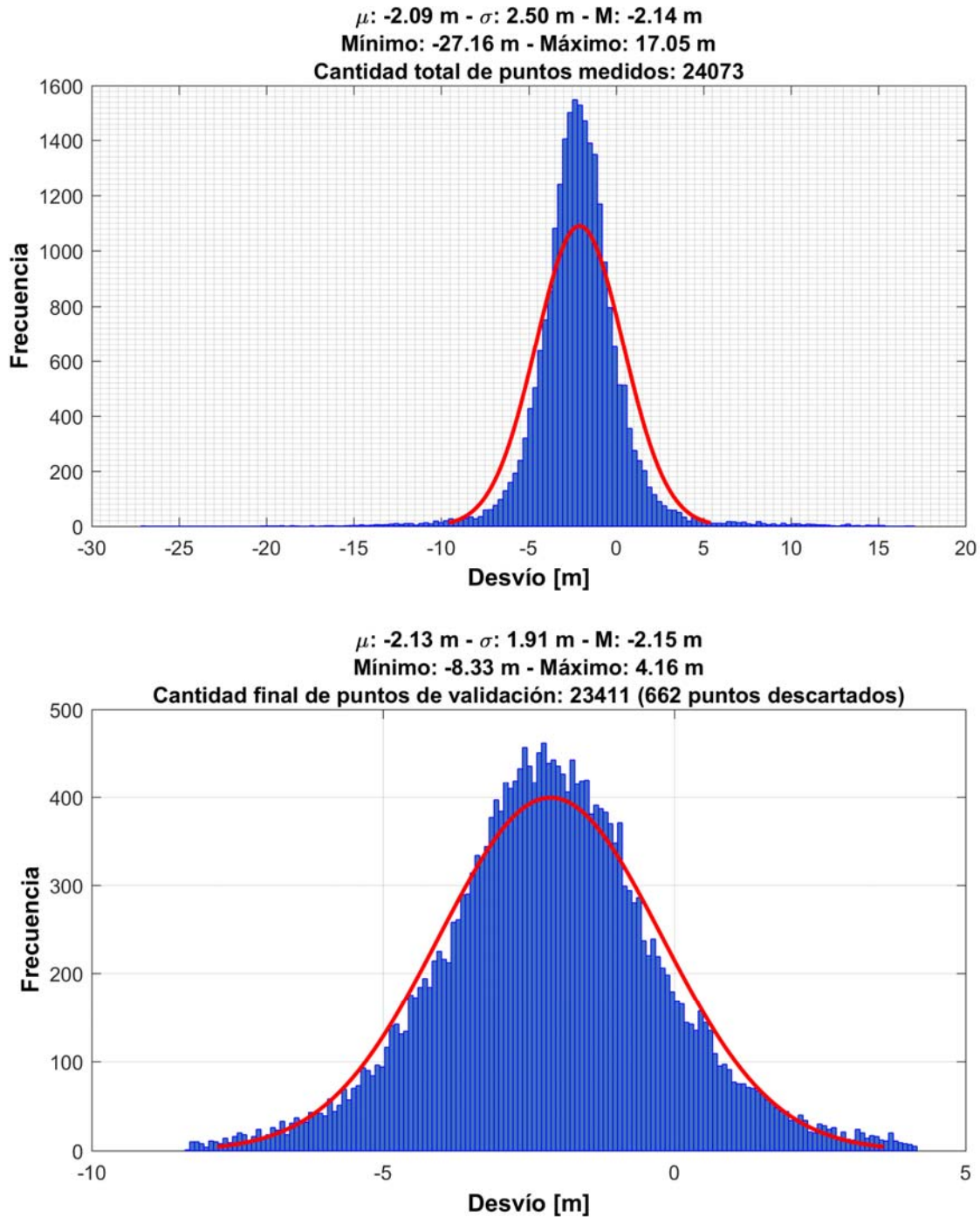


Fig. 14: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos alimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la República Argentina

3.2. Resultados estadísticos por provincia

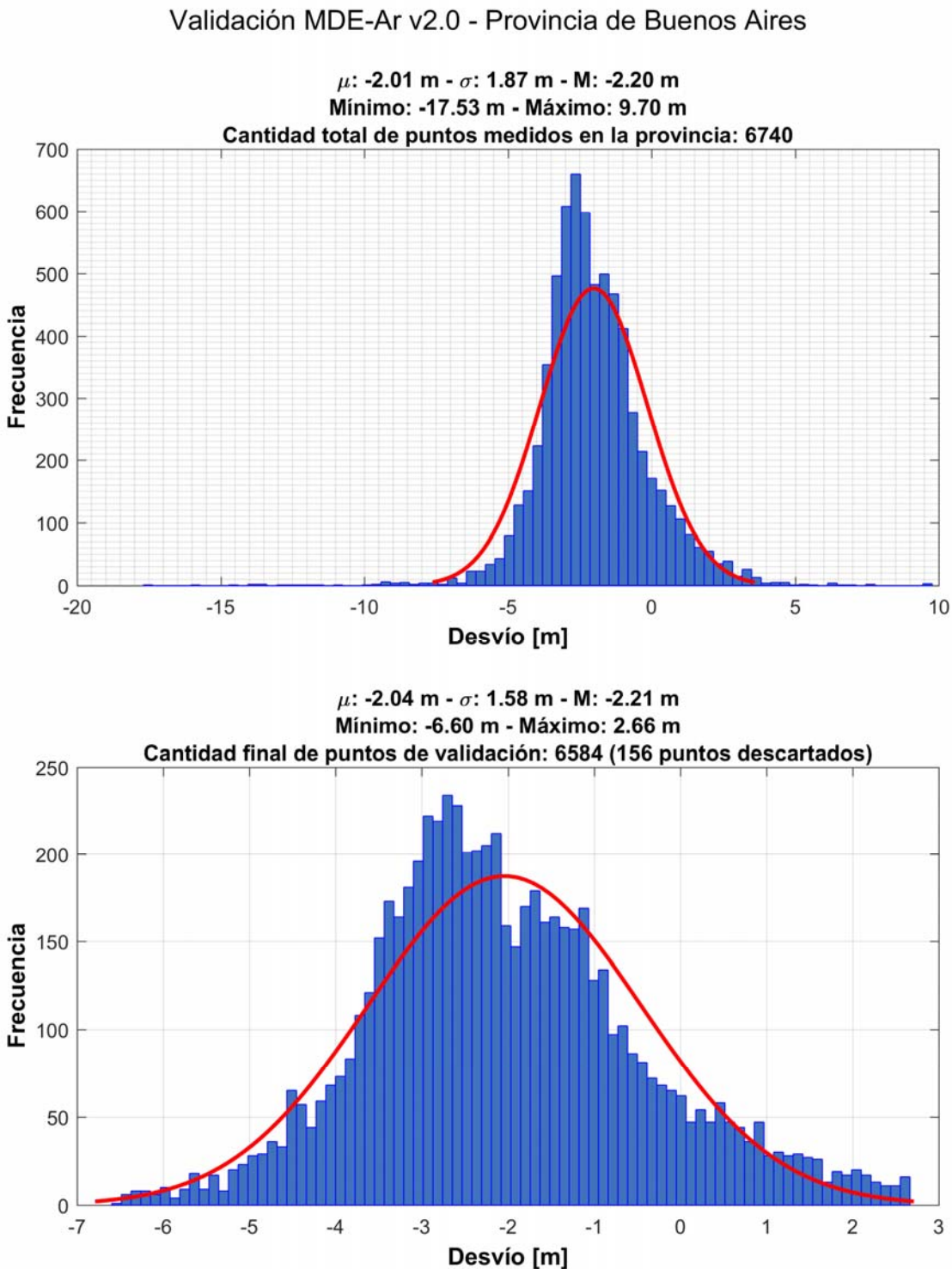


Fig. 15: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Buenos Aires

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Catamarca

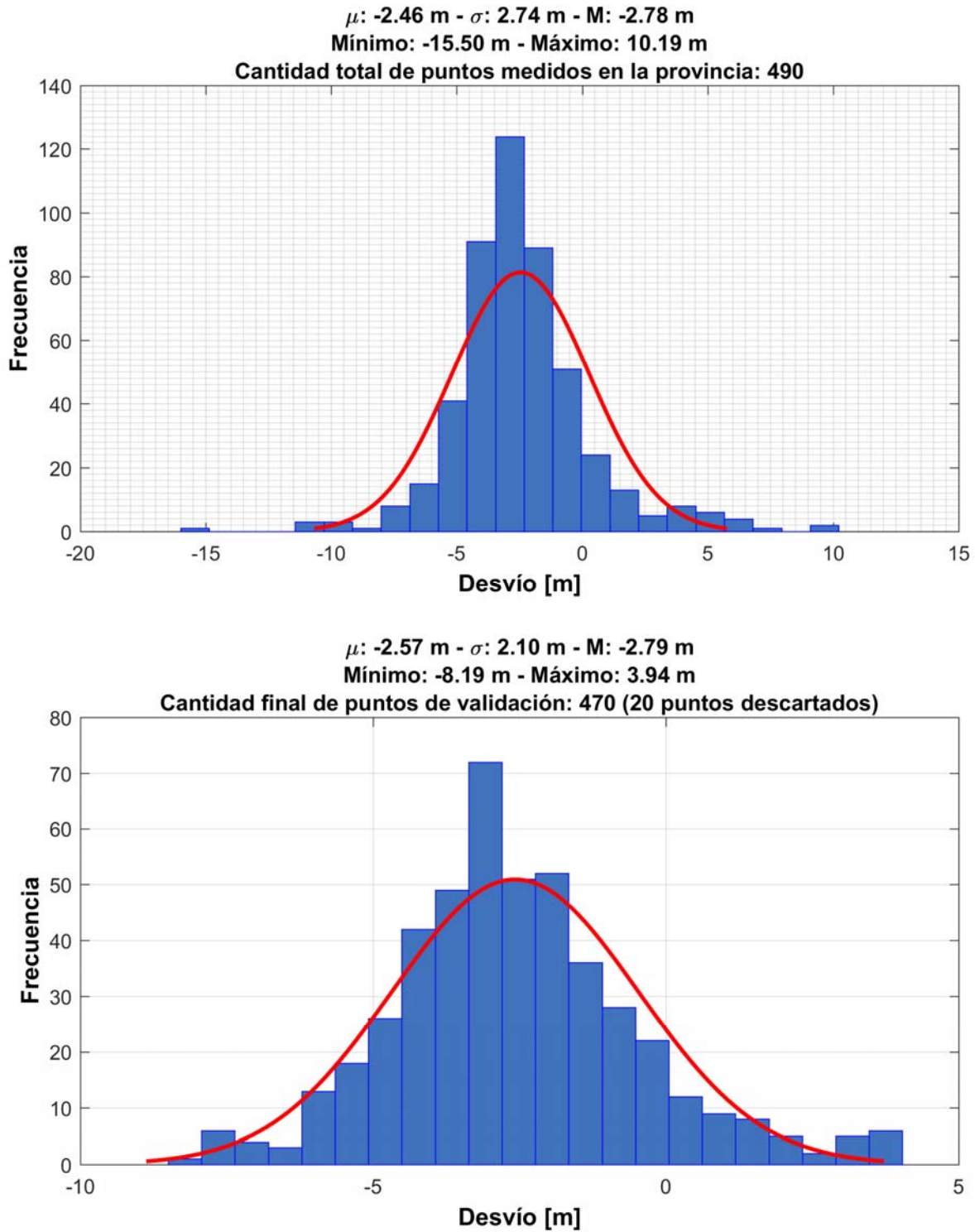


Fig. 16: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Catamarca

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Chaco

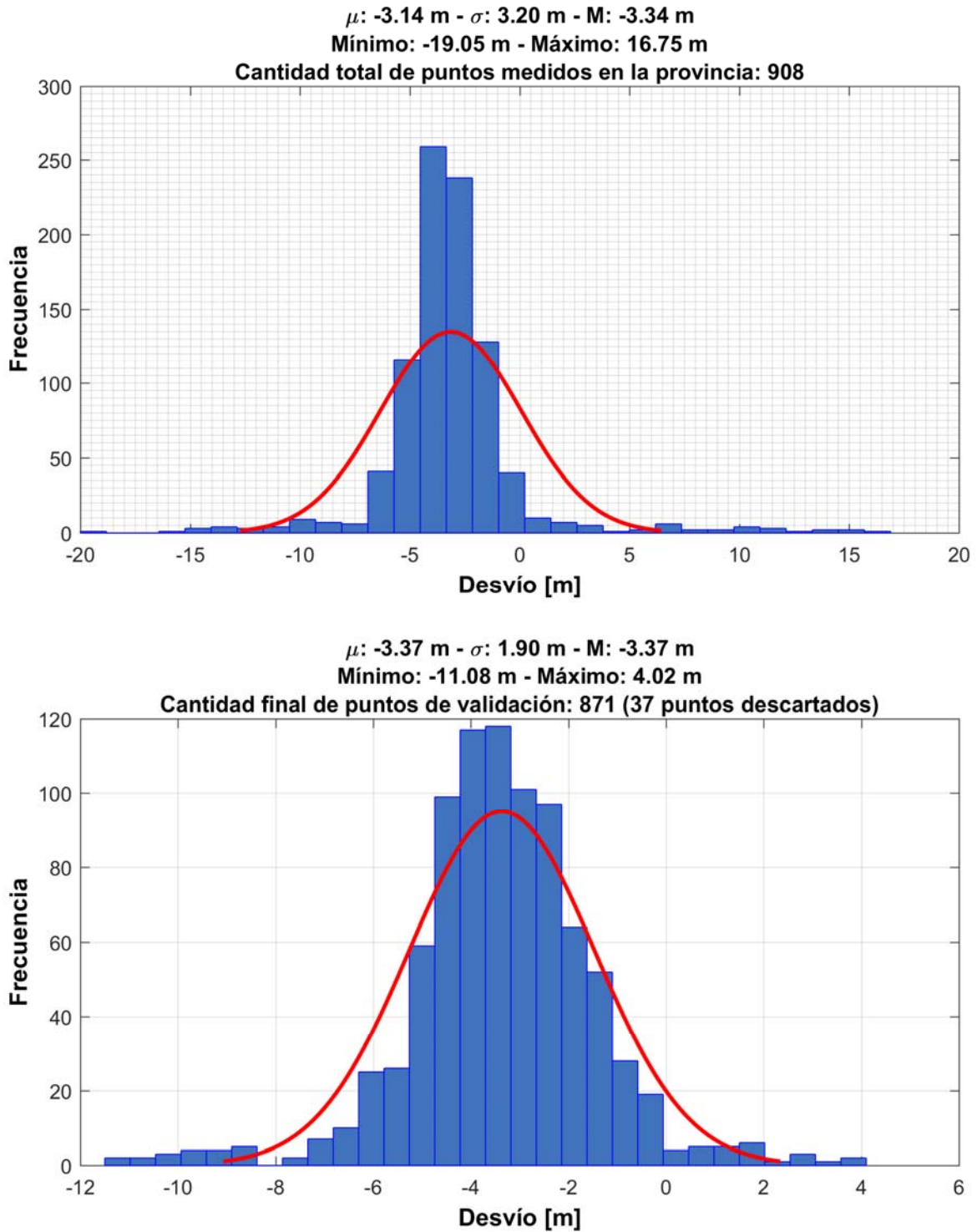


Fig. 17: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Chaco

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Chubut

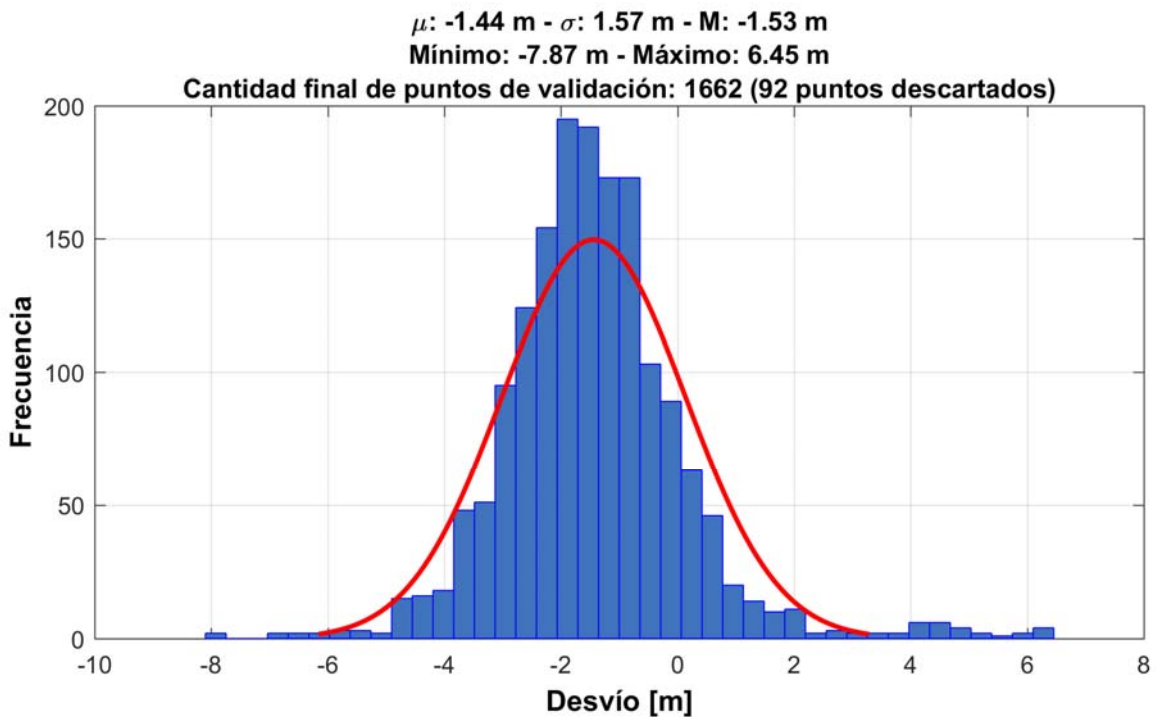
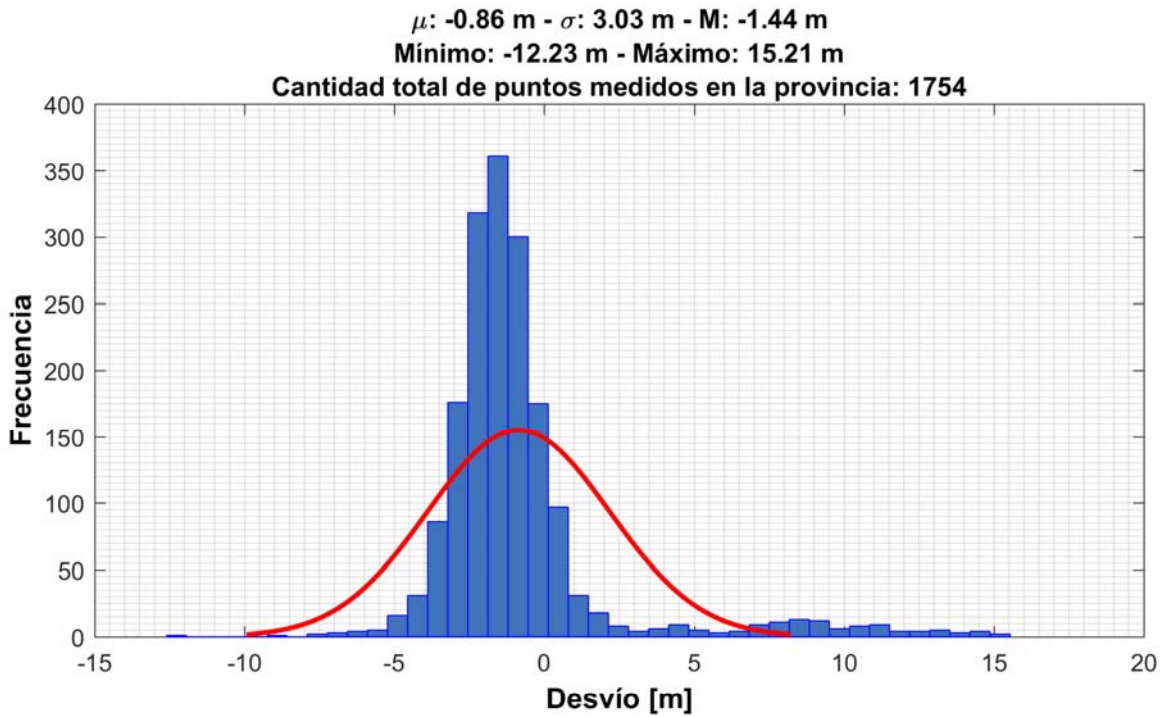


Fig. 18: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos alimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Chubut

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Córdoba

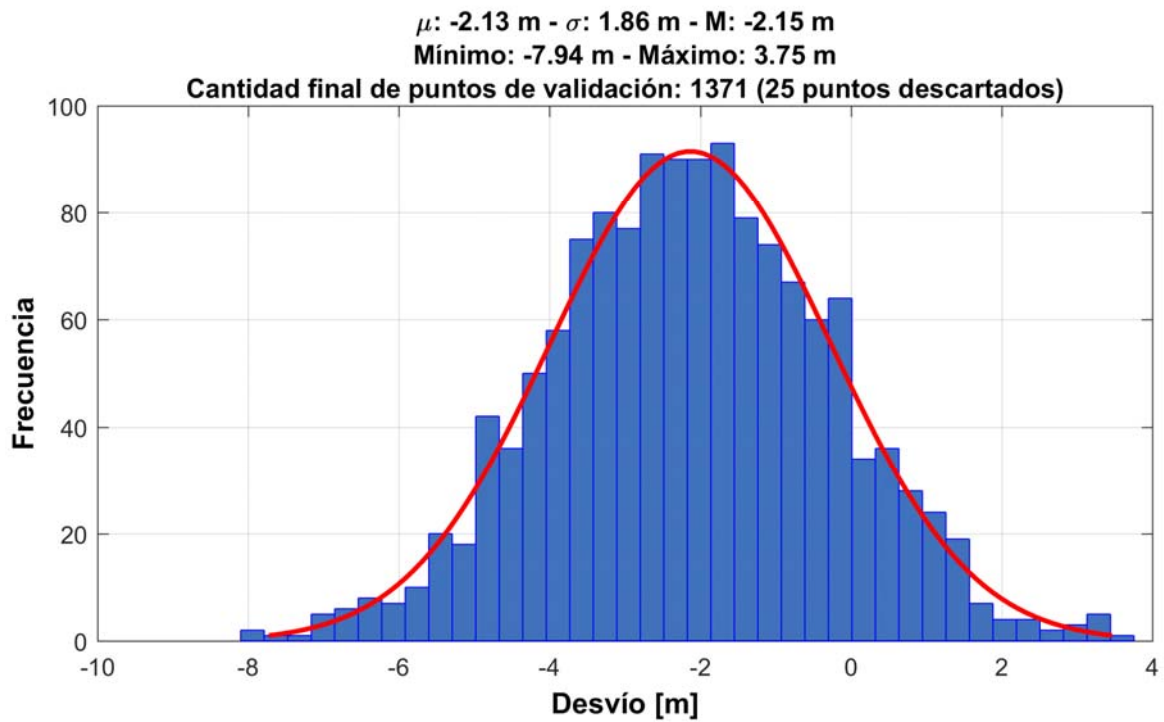
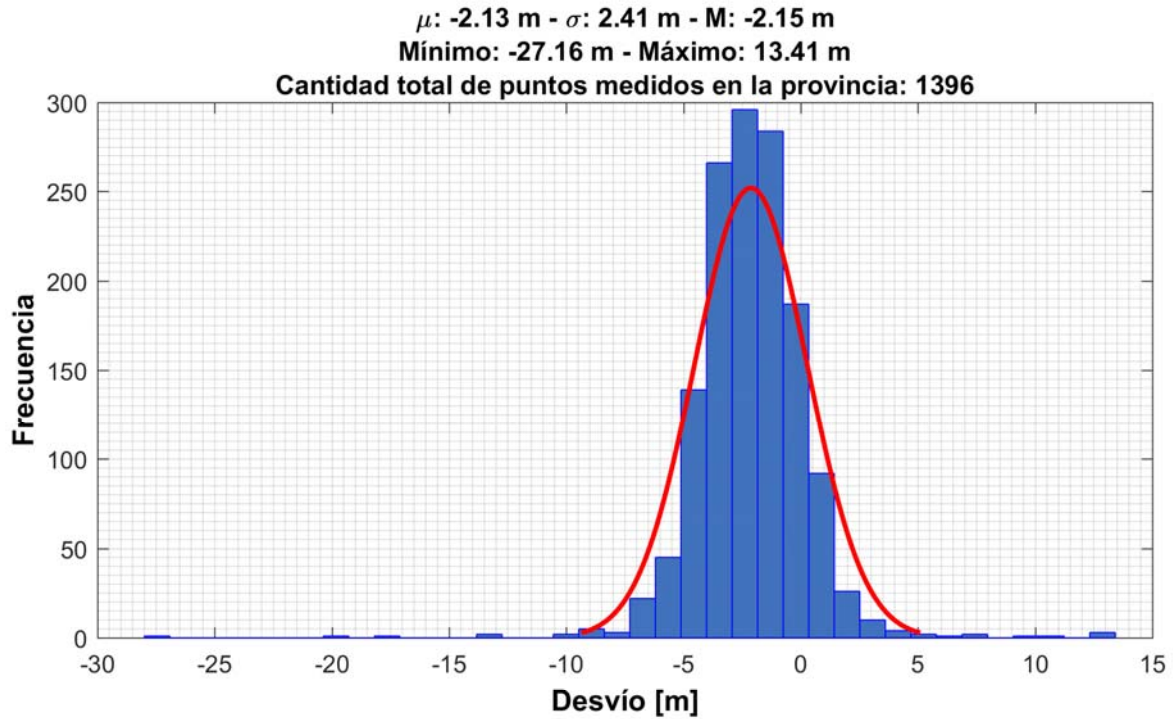


Fig. 19: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Córdoba

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Corrientes

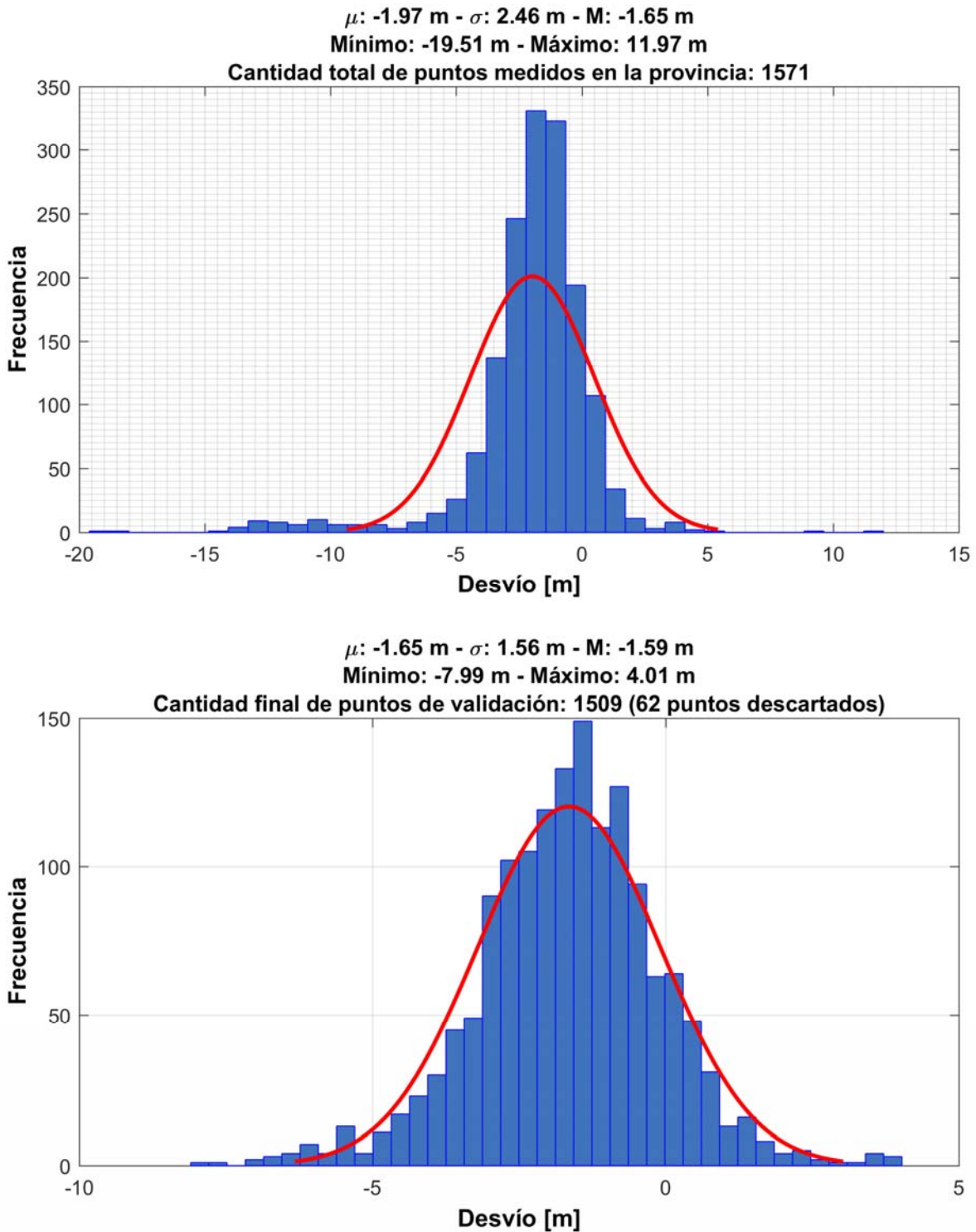


Fig. 20: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Corrientes

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Entre Ríos

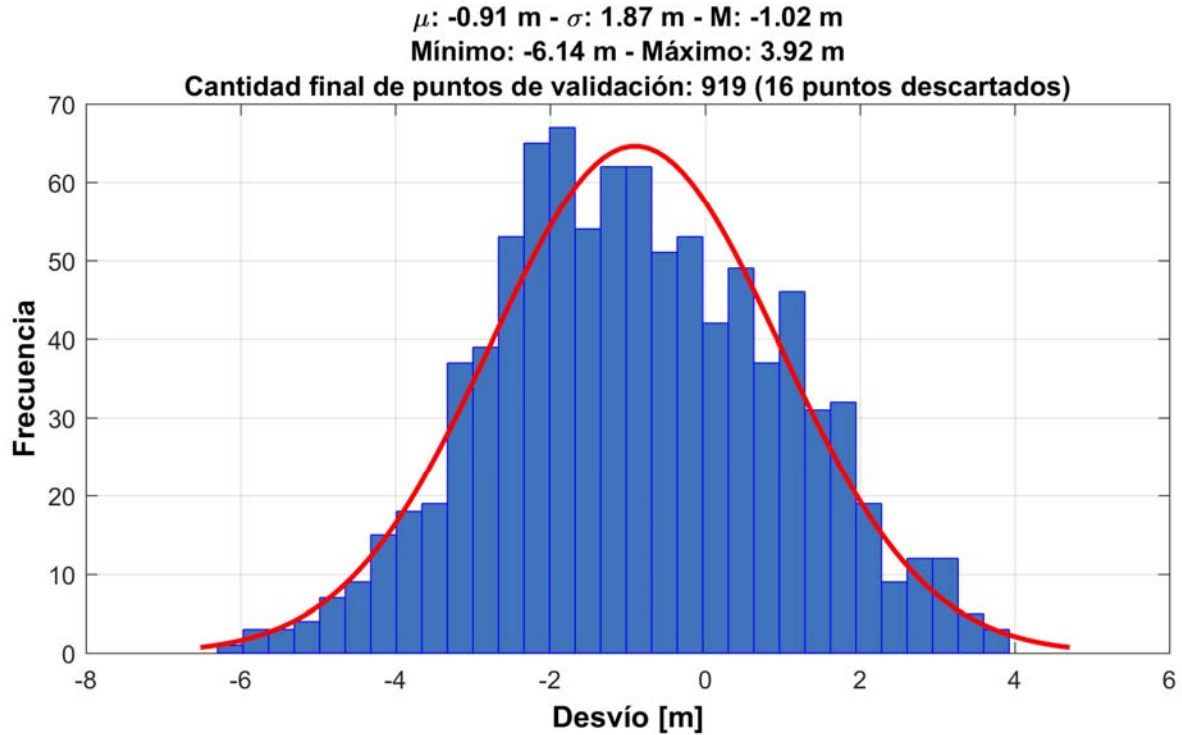
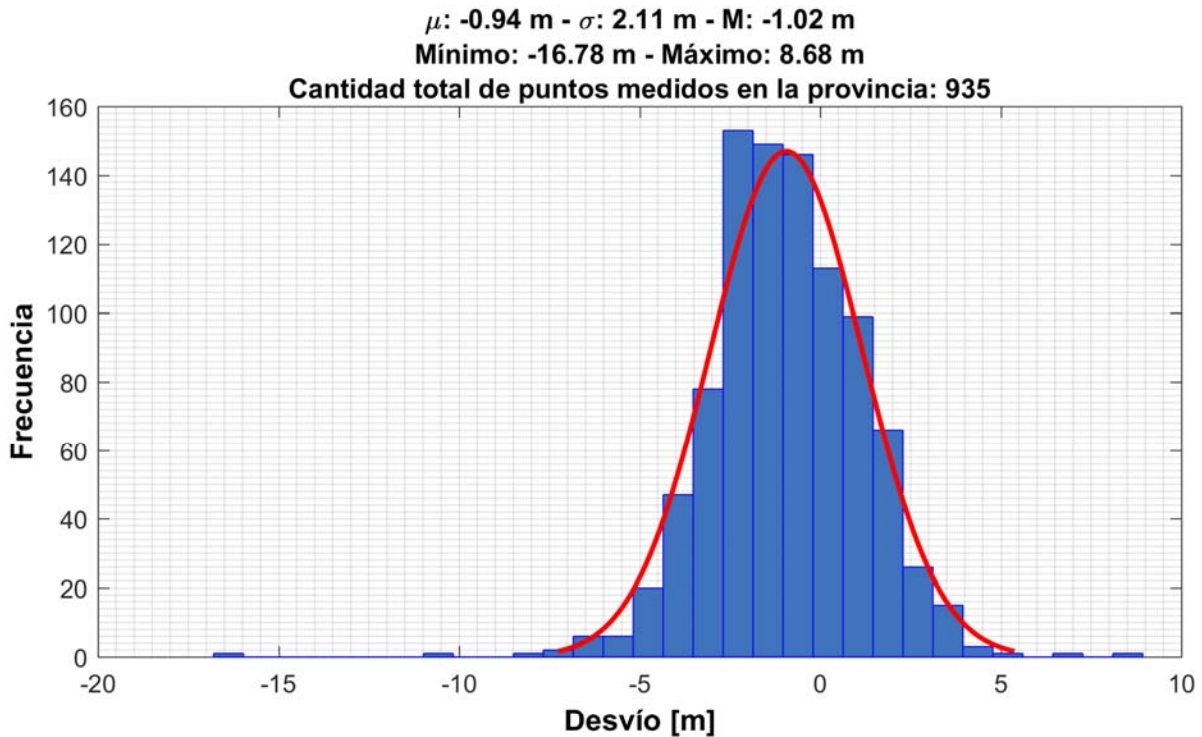


Fig. 21: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos alimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Entre Ríos

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Formosa

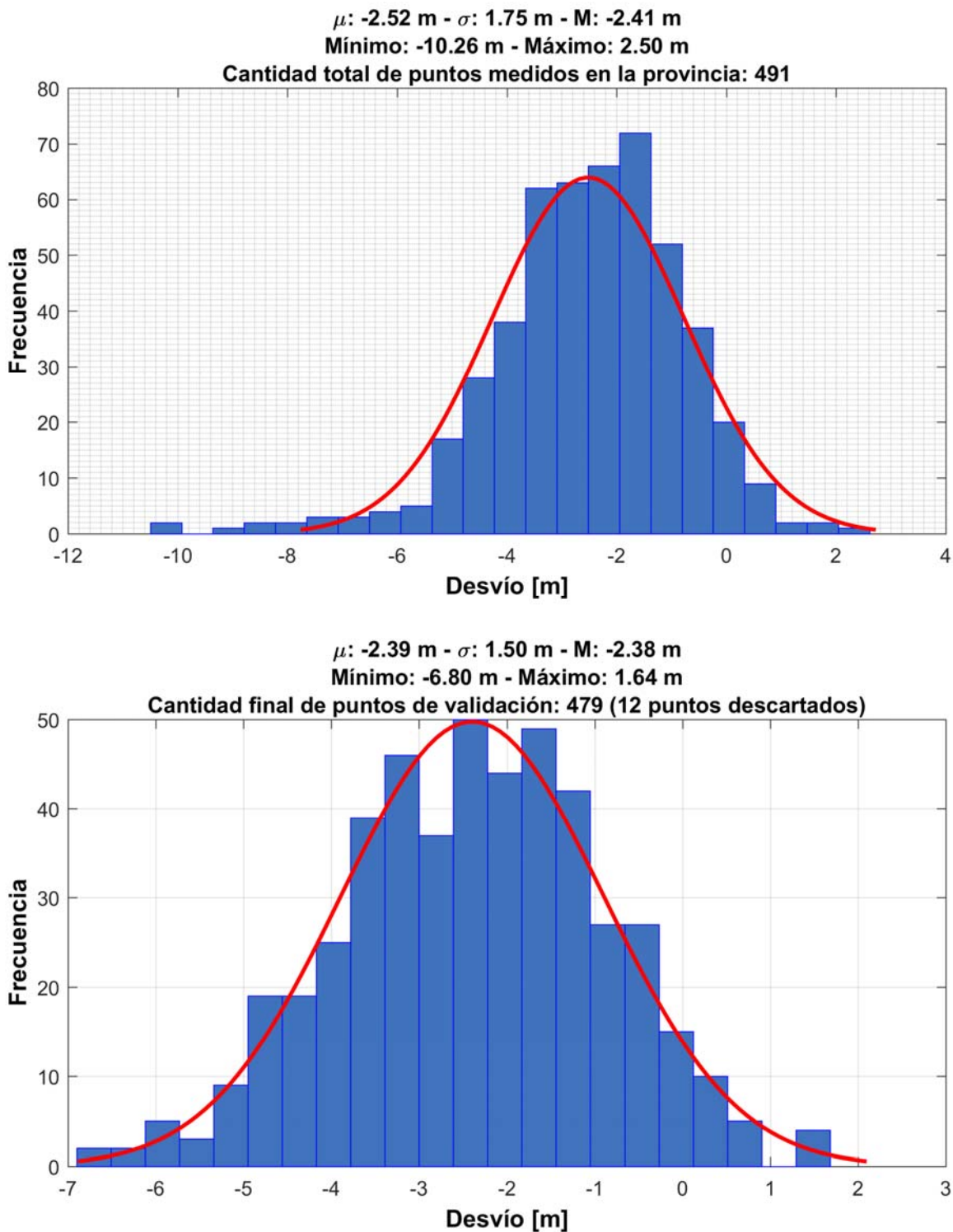


Fig. 22: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Formosa

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Jujuy

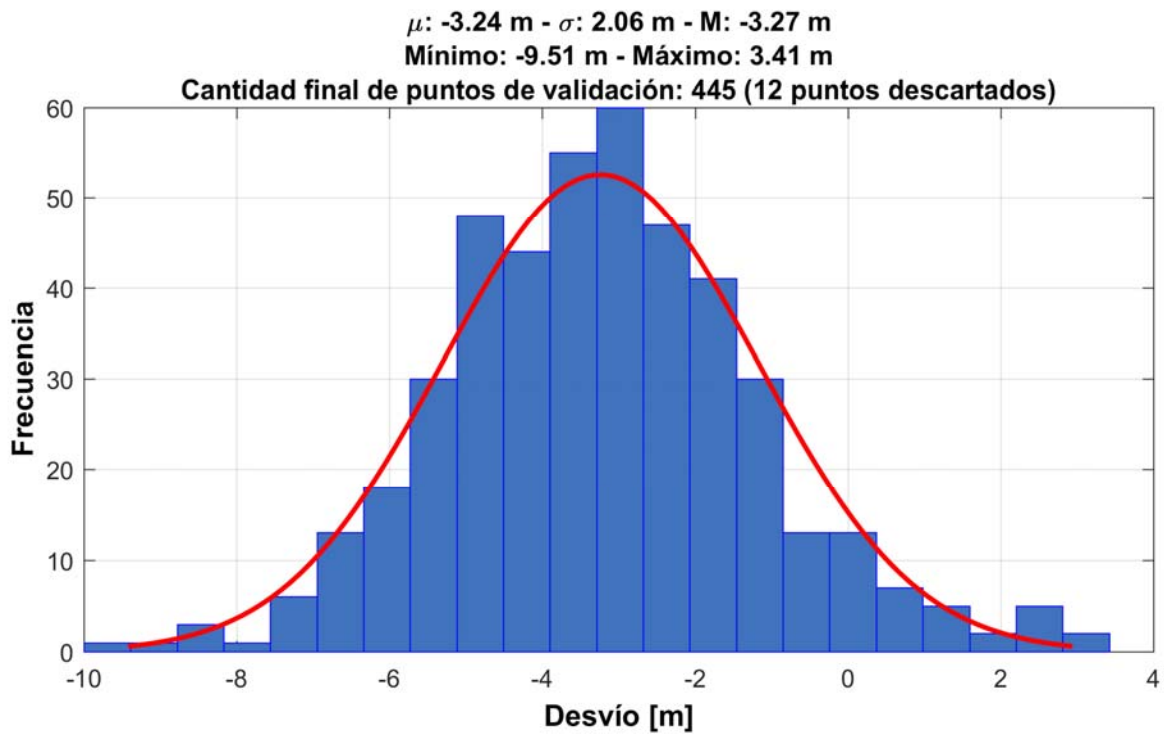
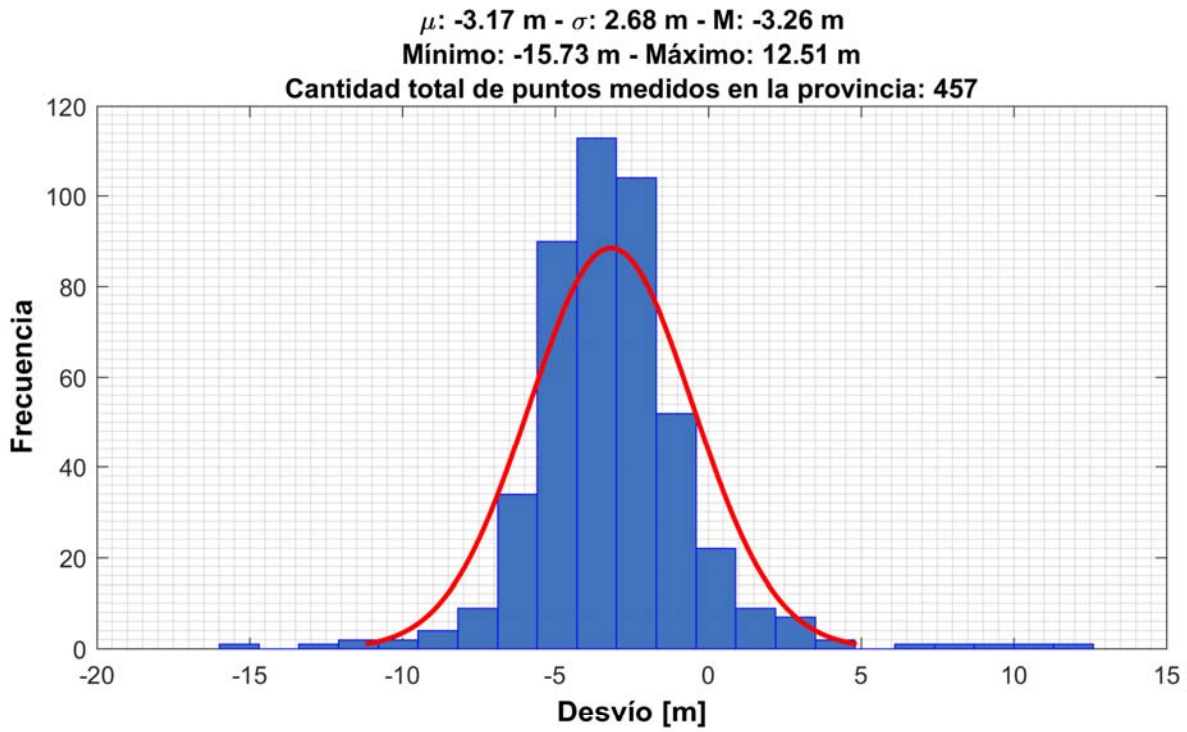


Fig. 23: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Jujuy

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de La Pampa

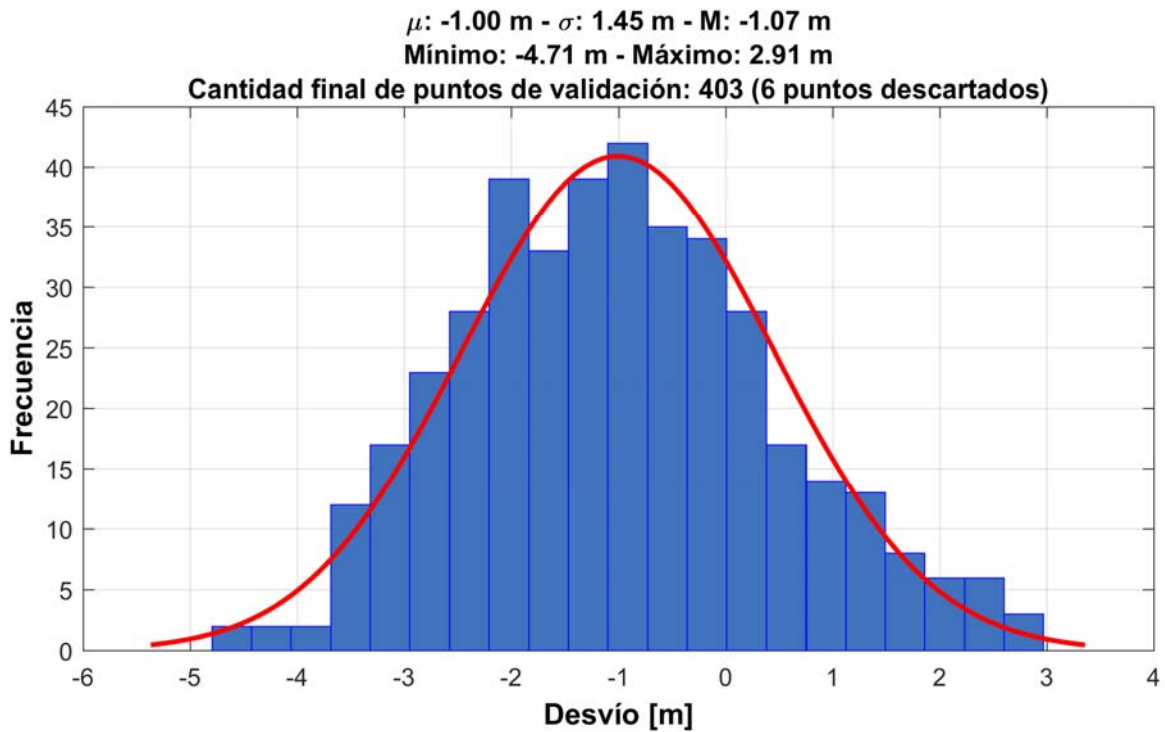
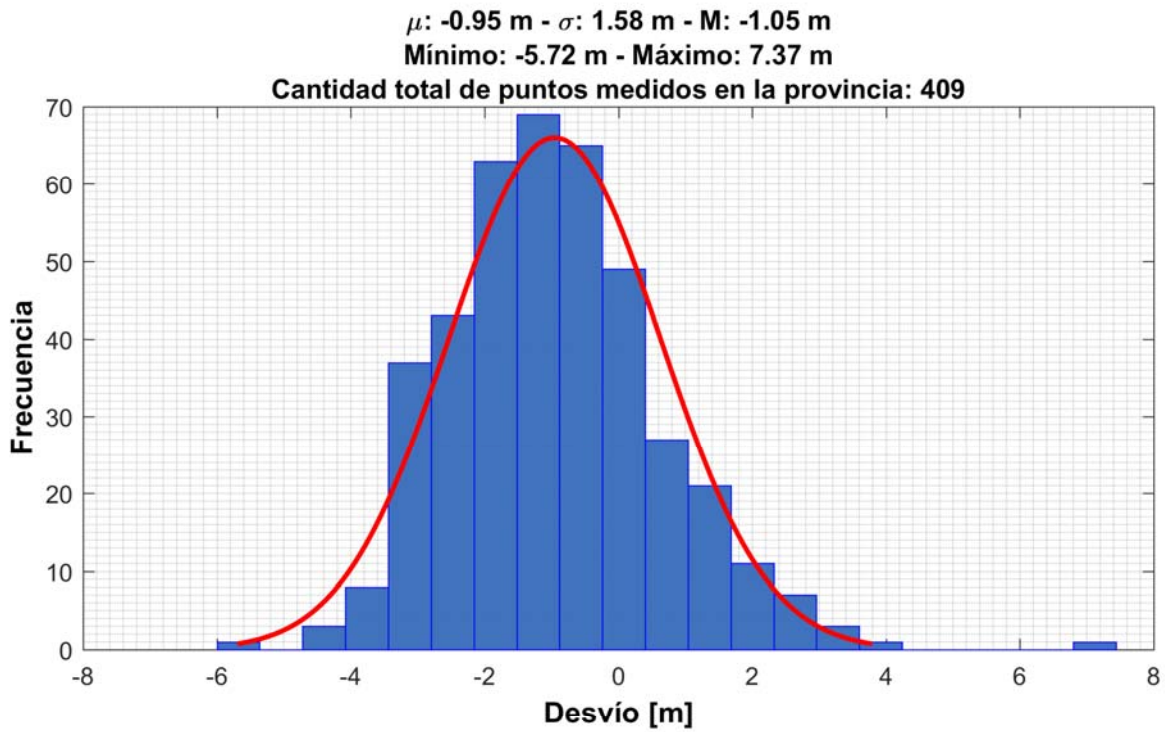


Fig. 24: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de La Pampa

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de La Rioja

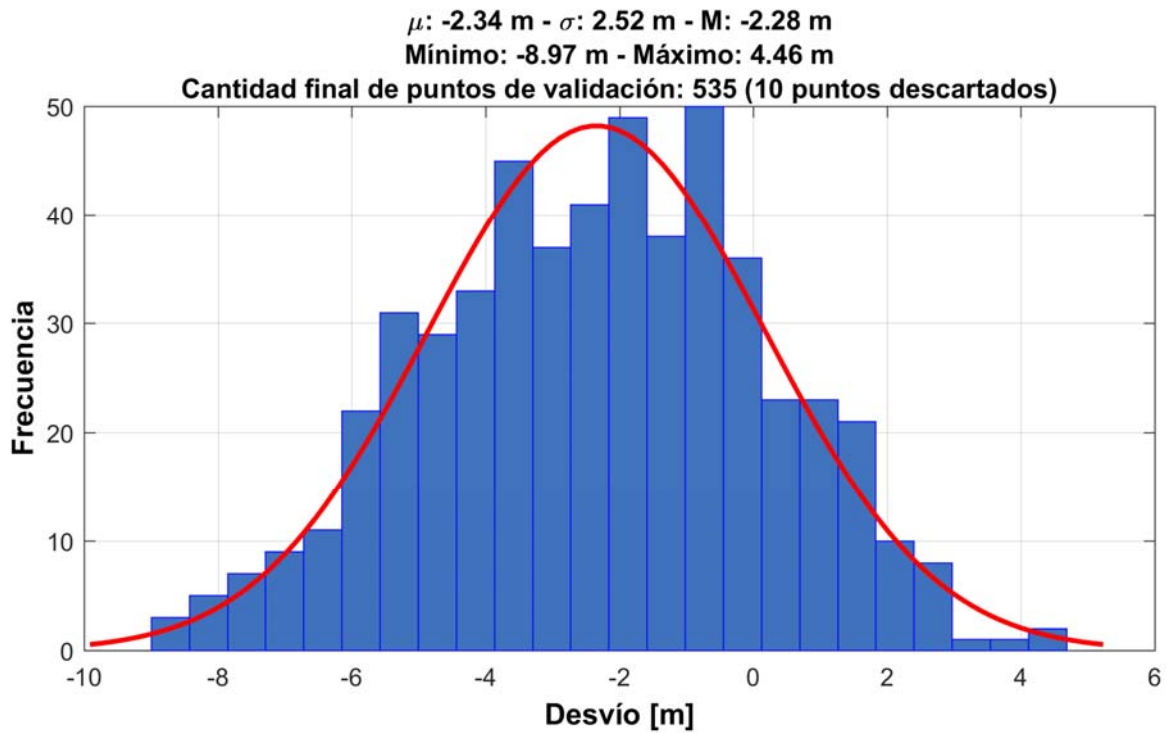
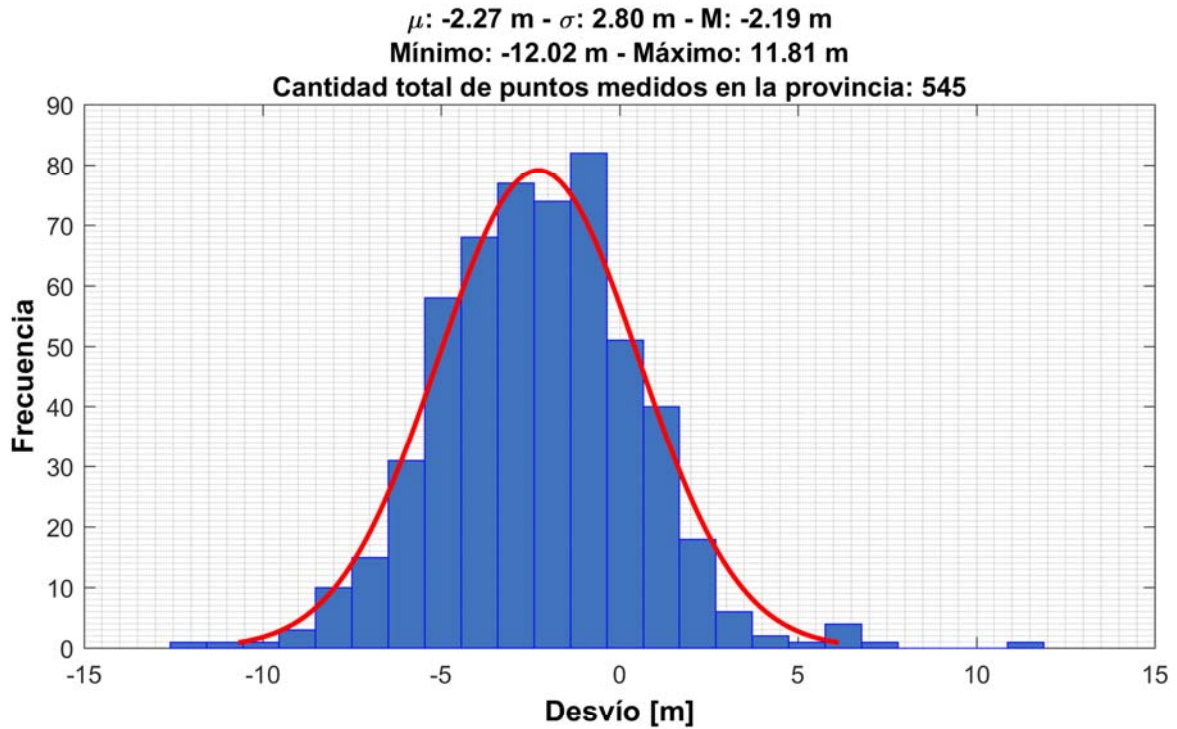


Fig. 25: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de La Rioja

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Mendoza

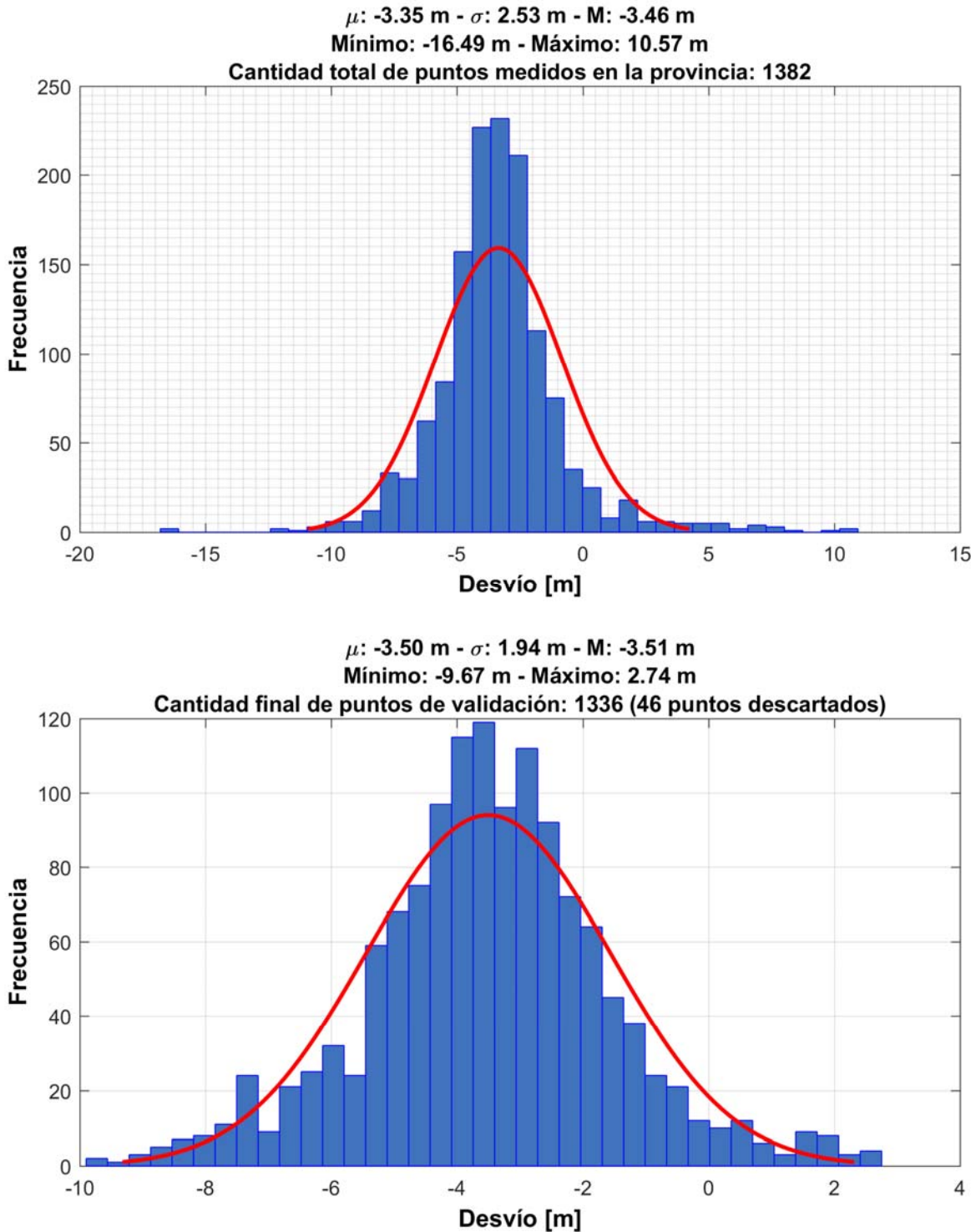


Fig. 26: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos alimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Mendoza

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Misiones

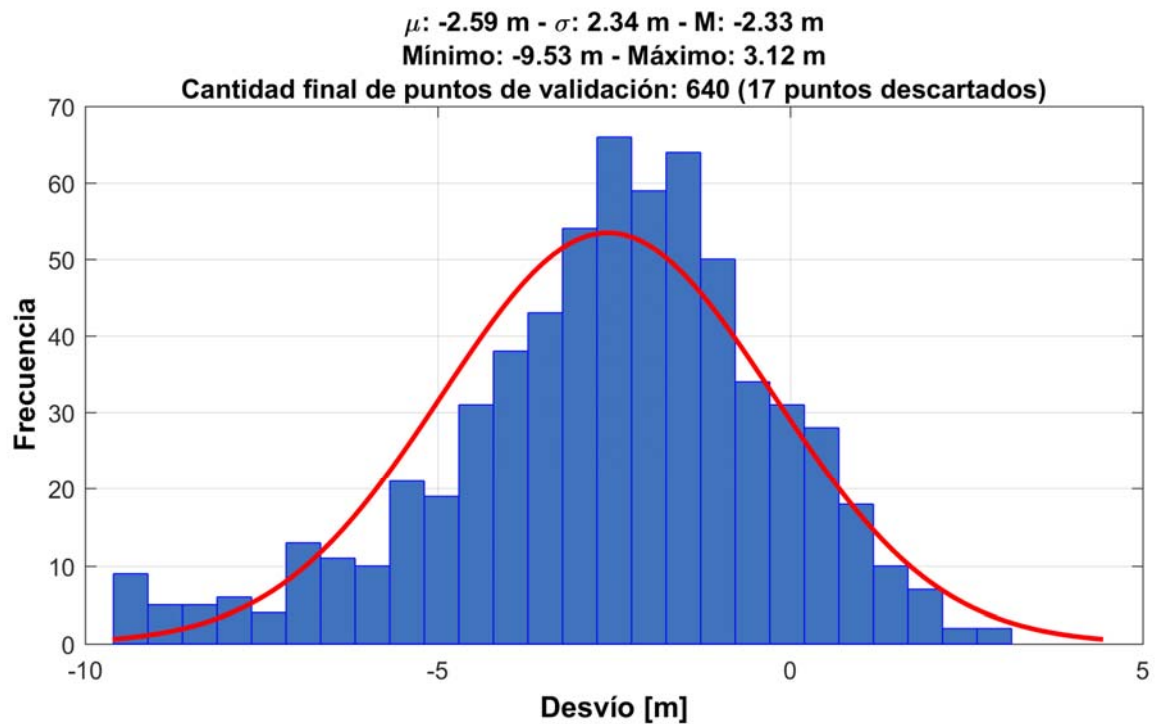
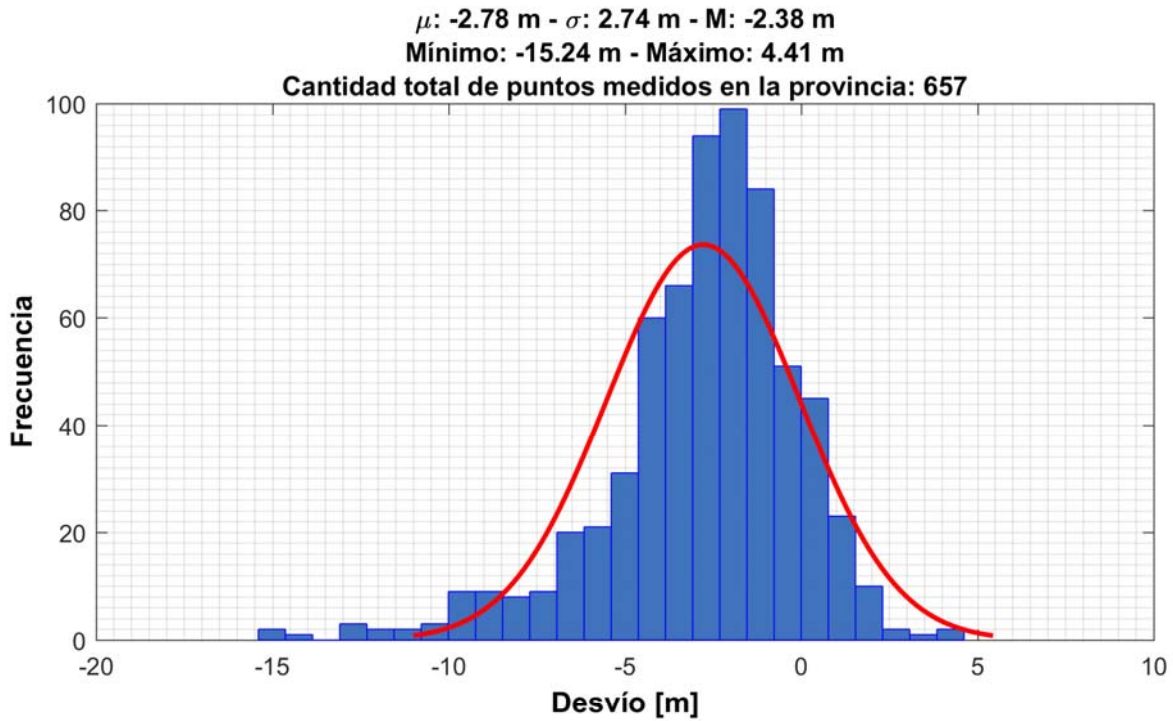


Fig. 27: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Misiones

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Neuquén

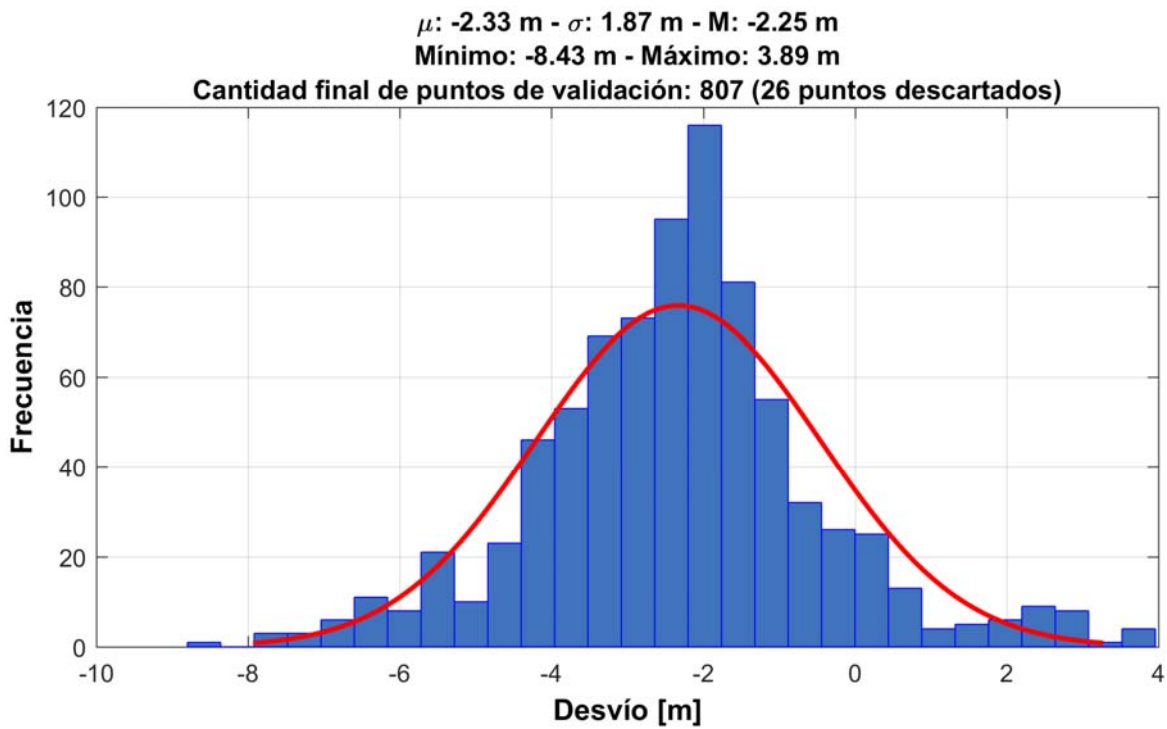
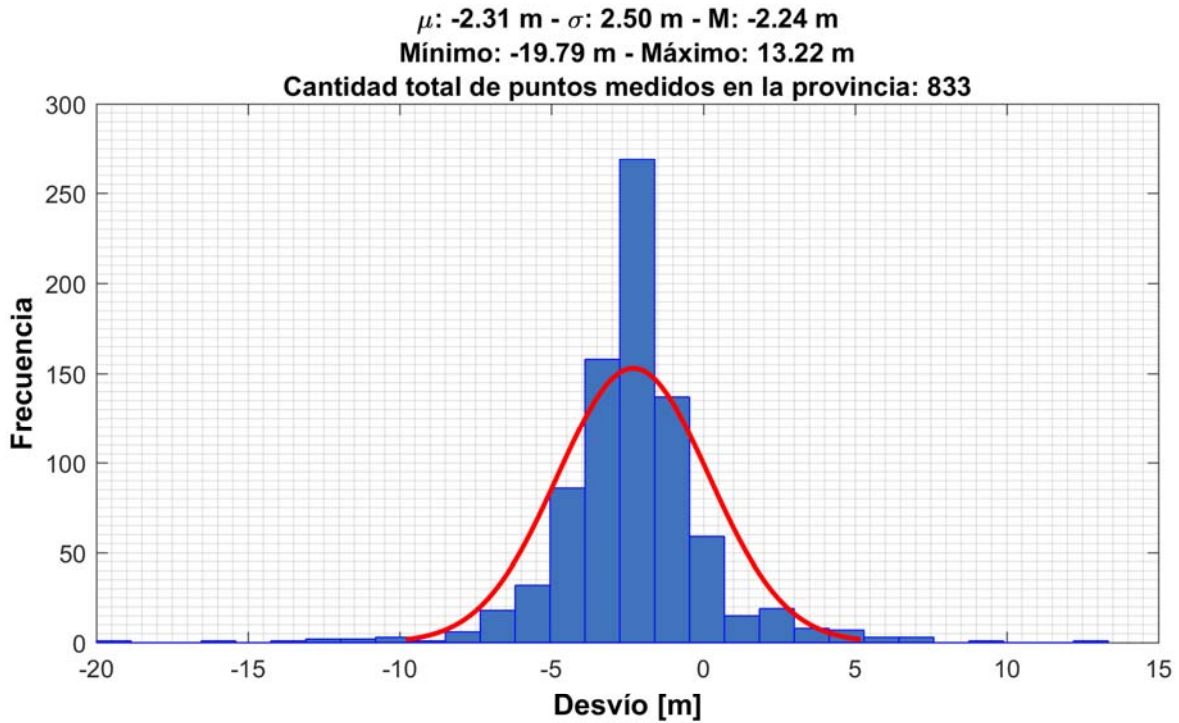


Fig. 28: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Neuquén

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Río Negro

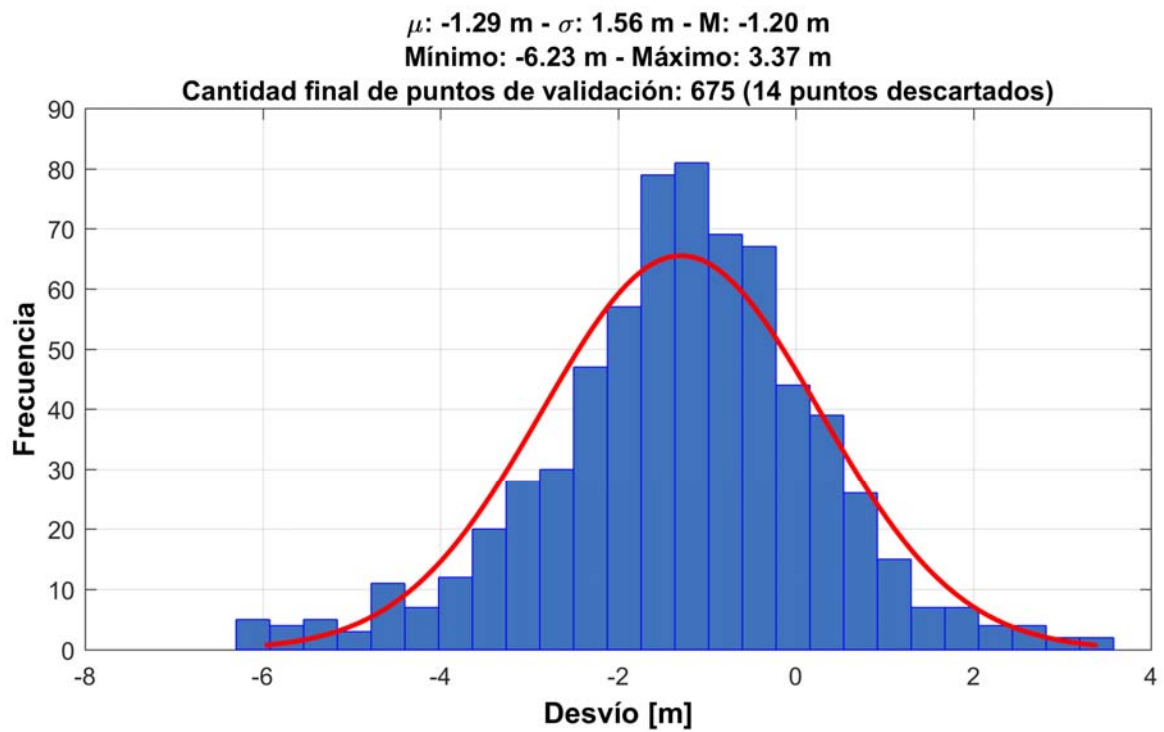
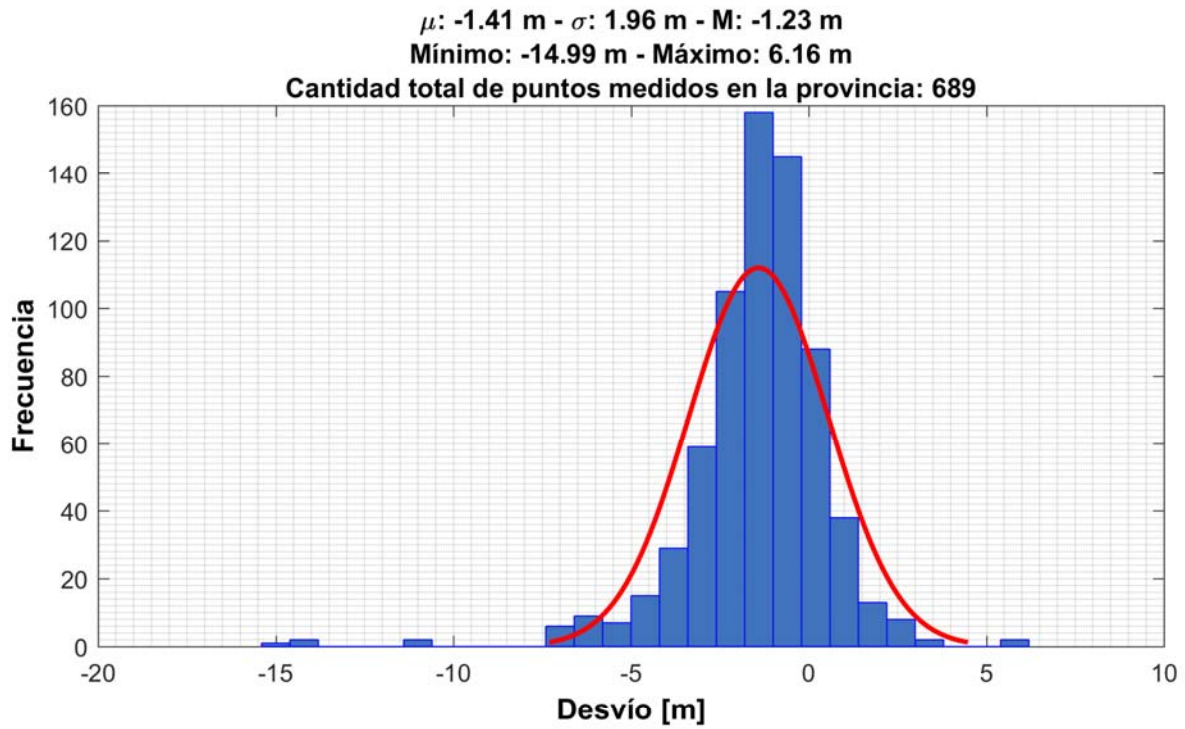


Fig. 29: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Río Negro

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Salta

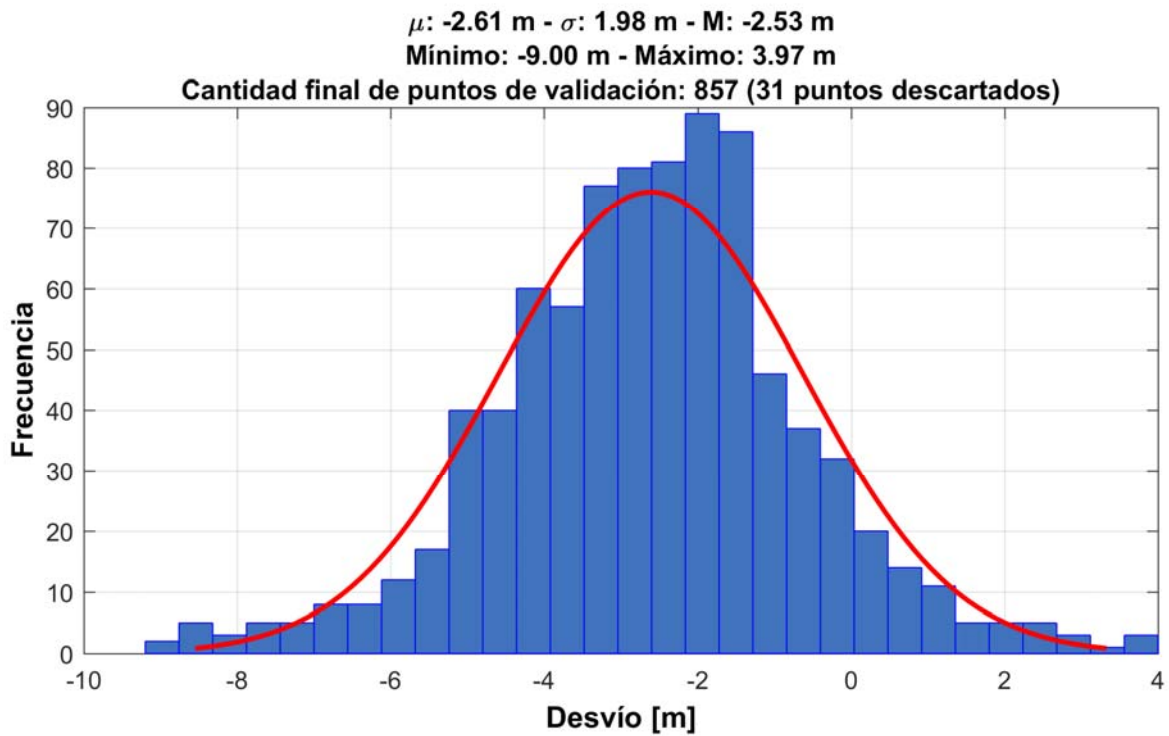
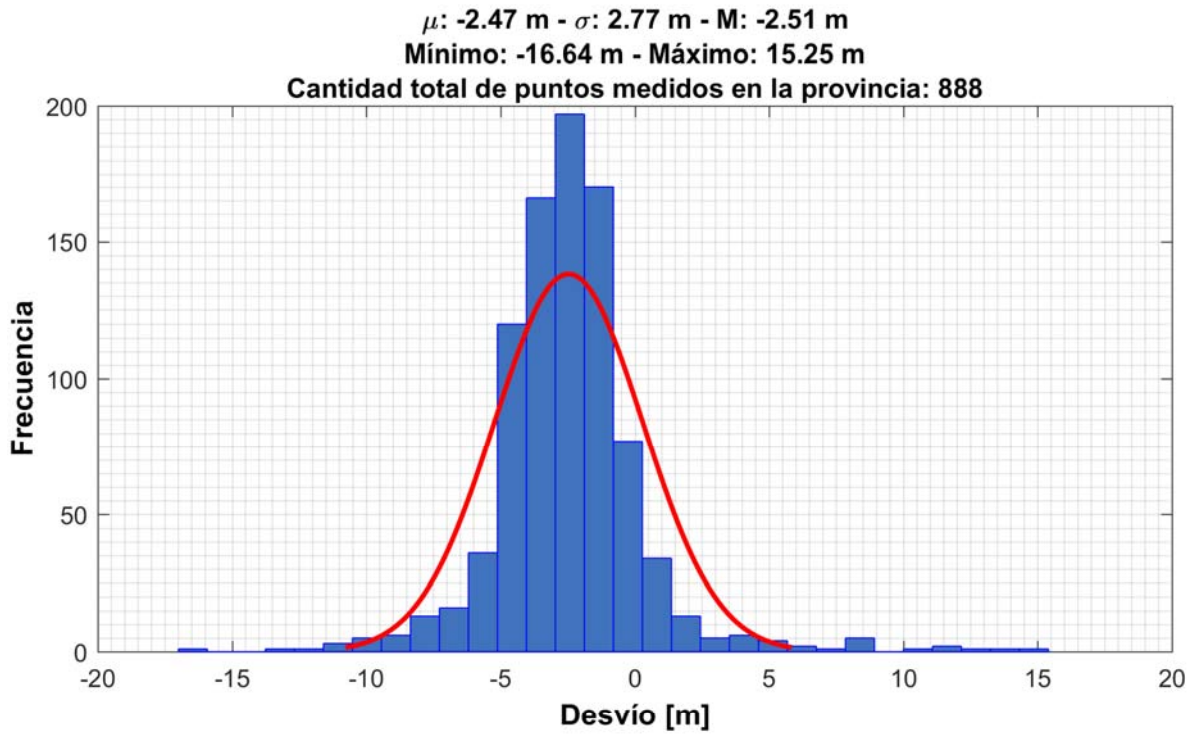


Fig. 30: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Salta

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de San Juan

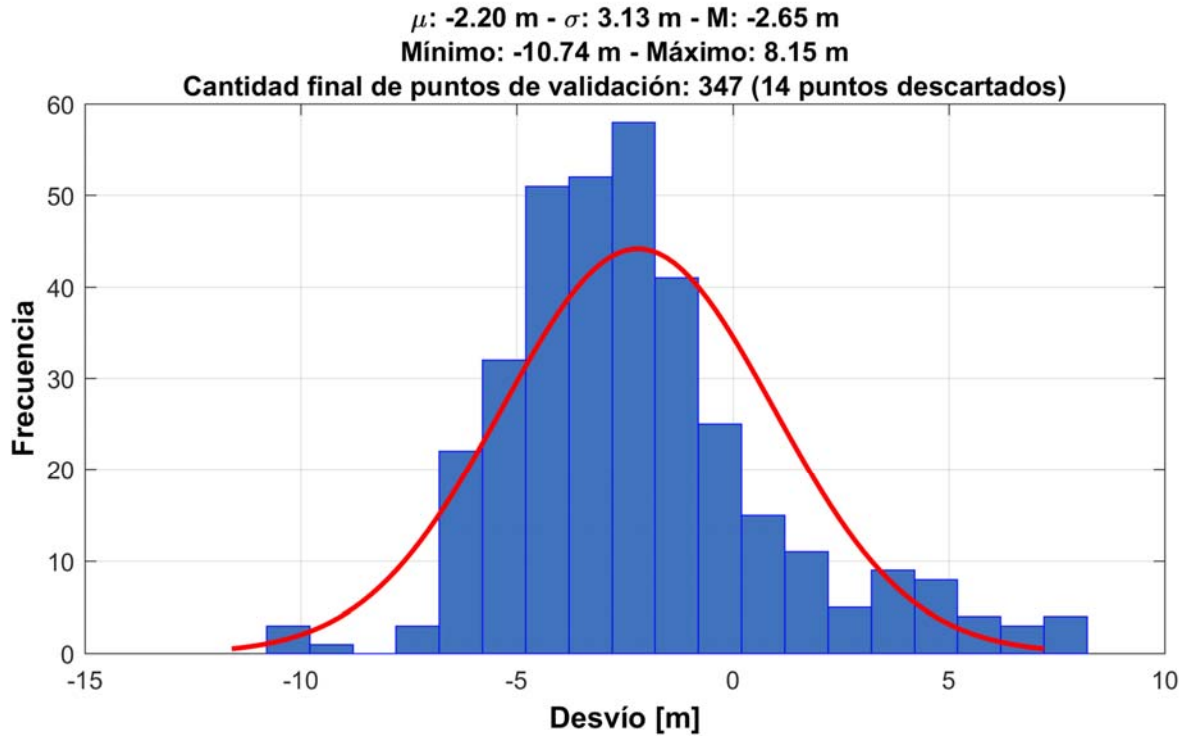
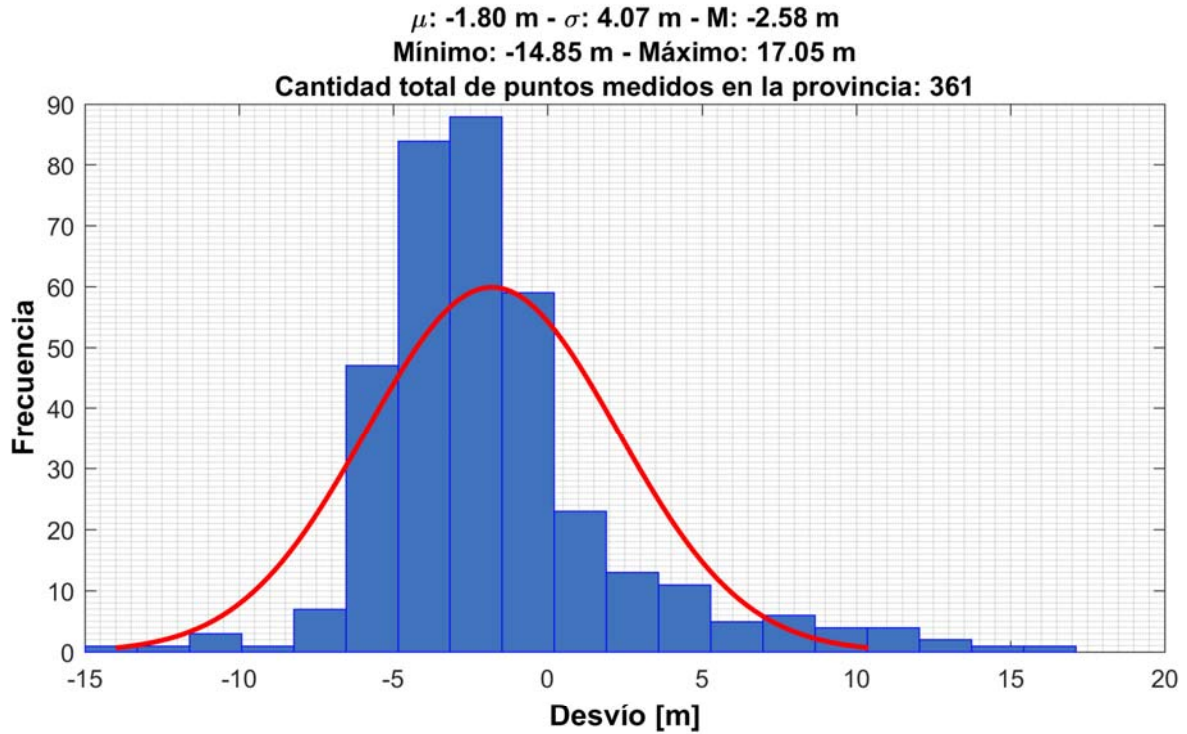


Fig. 31: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de San Juan

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de San Luis

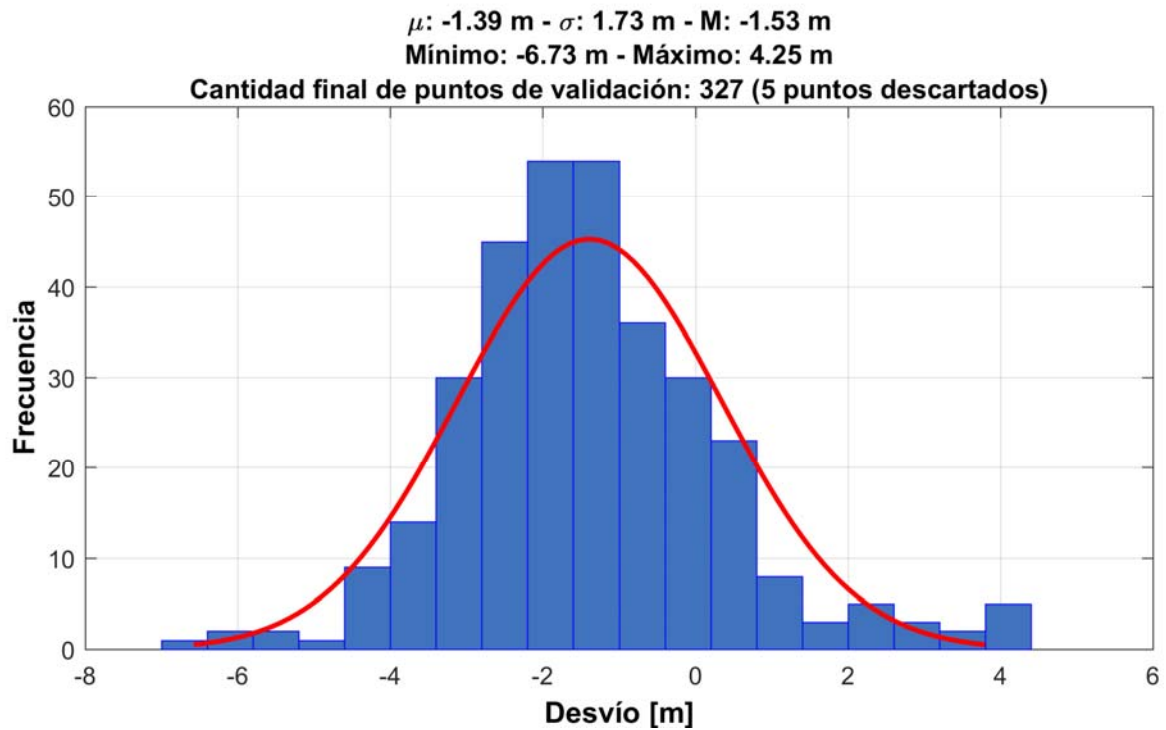
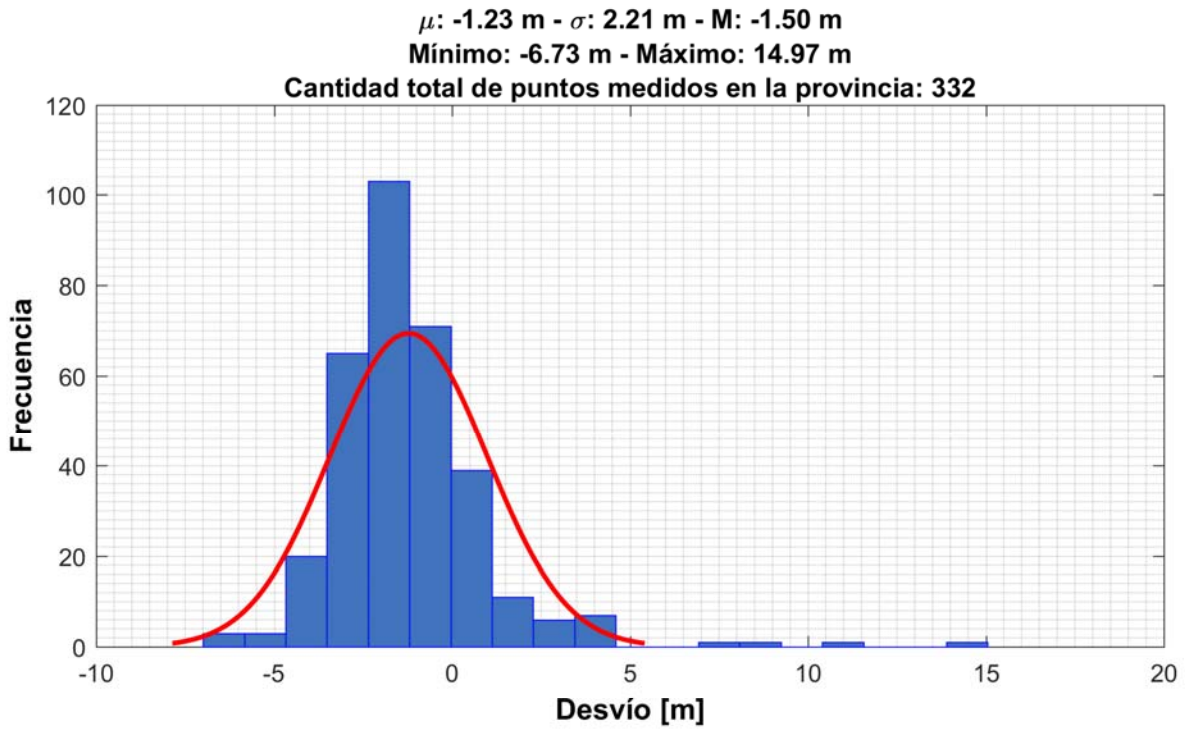


Fig. 32: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de San Luis

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Santa Cruz

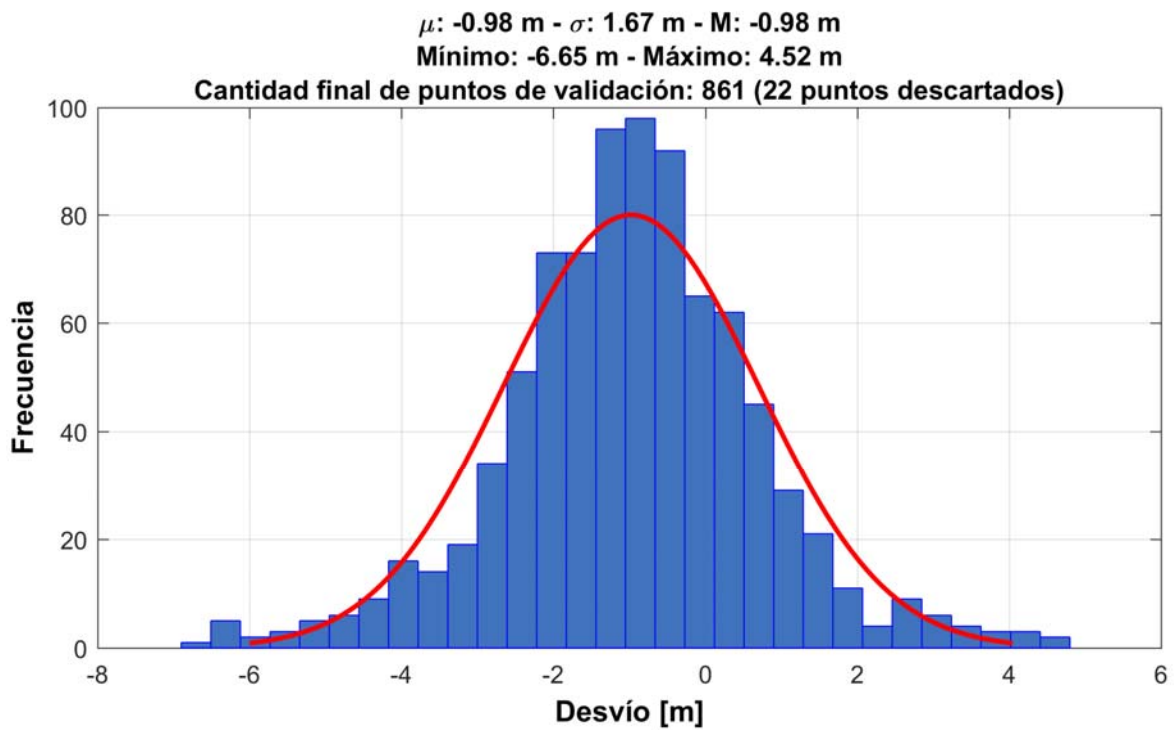
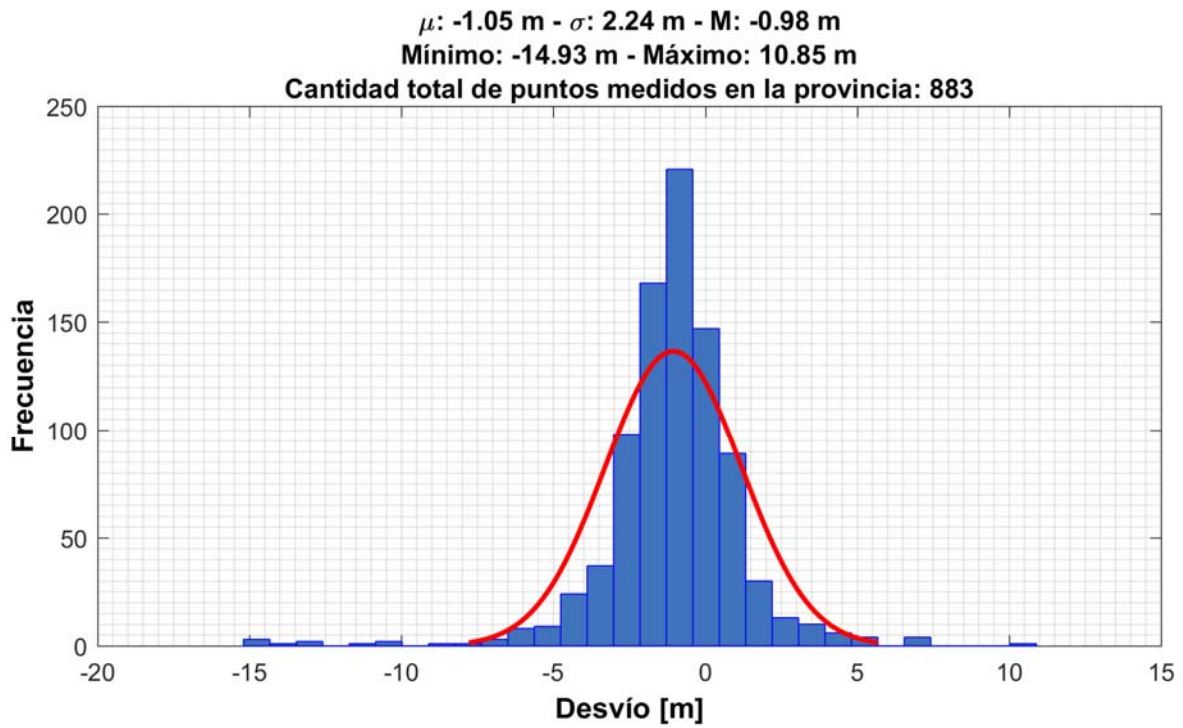


Fig. 33: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos alimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Santa Cruz

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Santa Fe

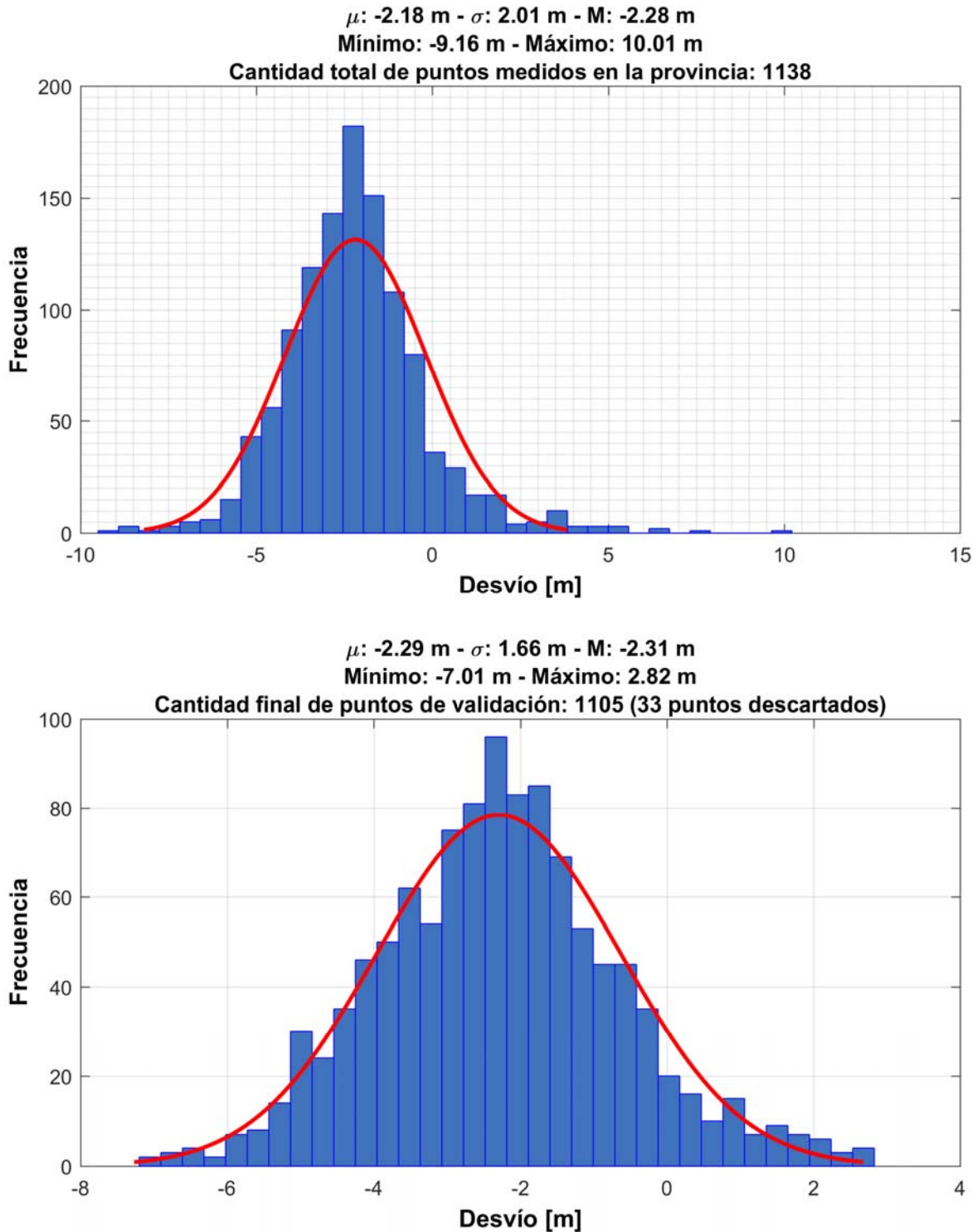


Fig. 34: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Santa Fé

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Santiago del Estero

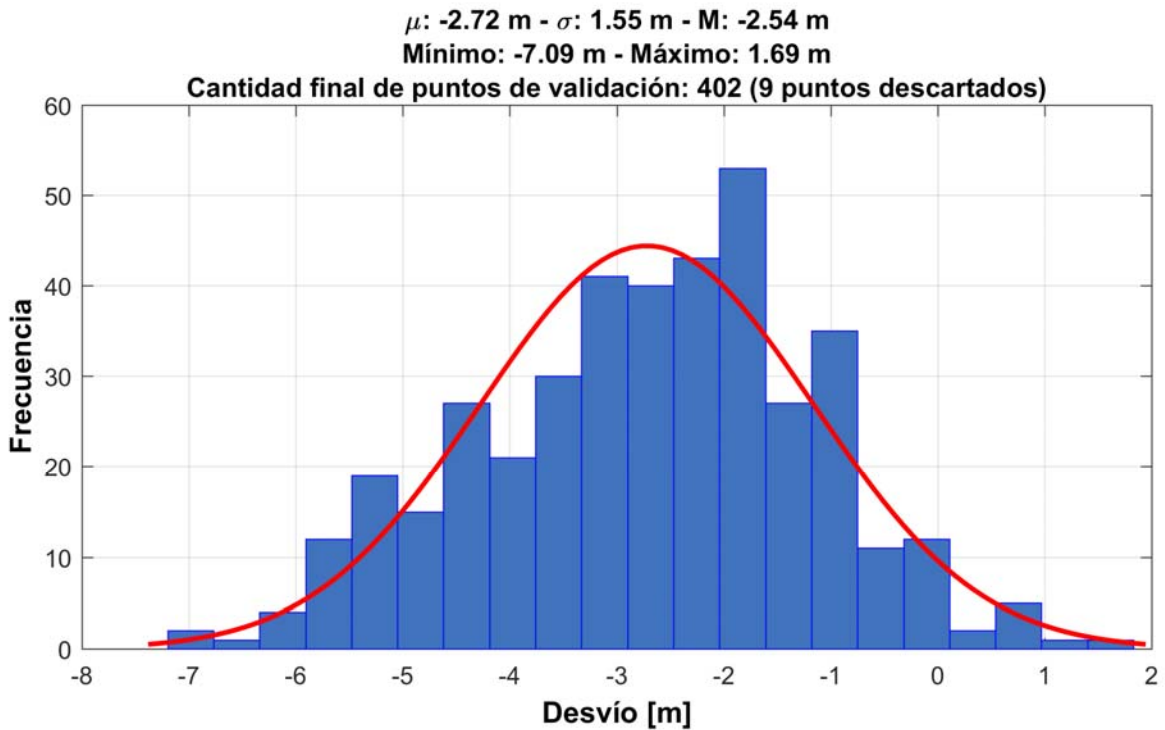
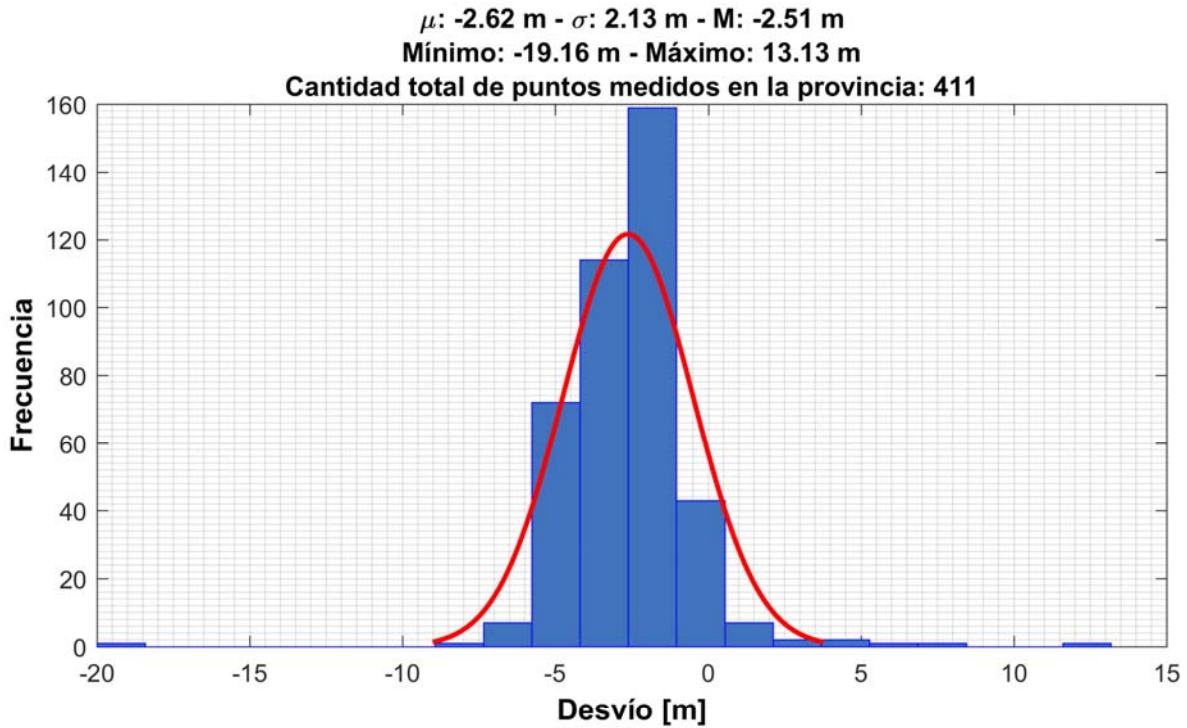


Fig. 35: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Santiago del Estero

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Tierra del Fuego

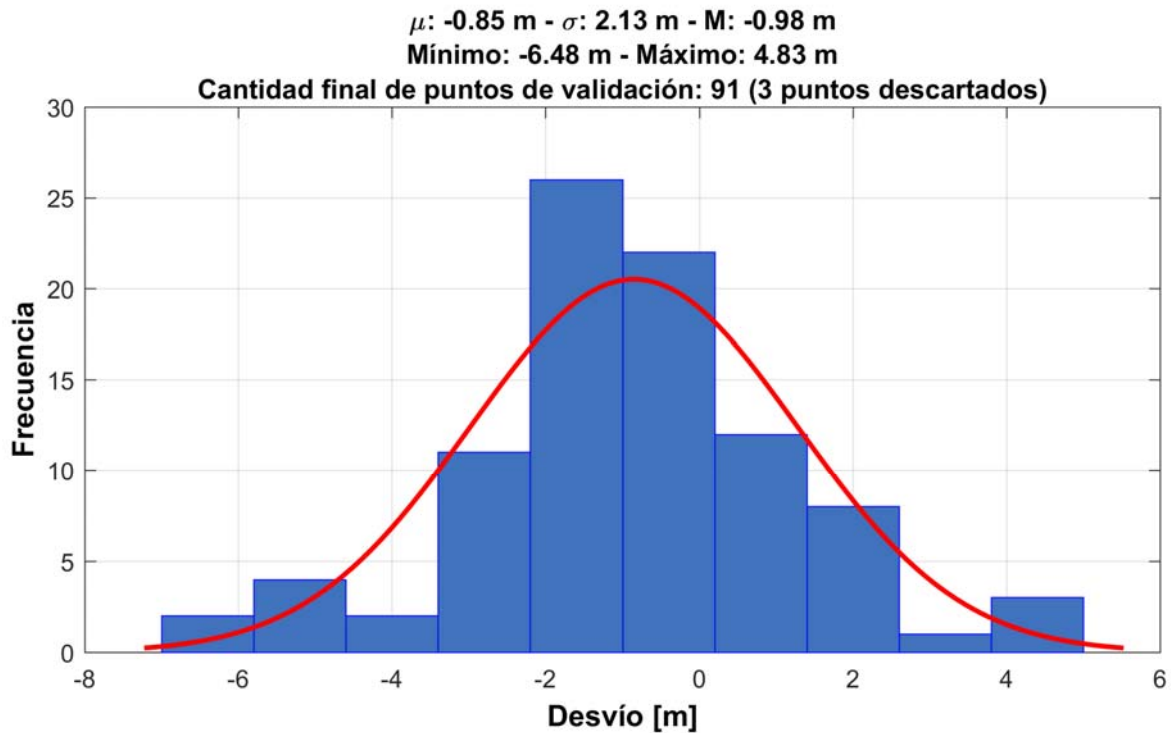
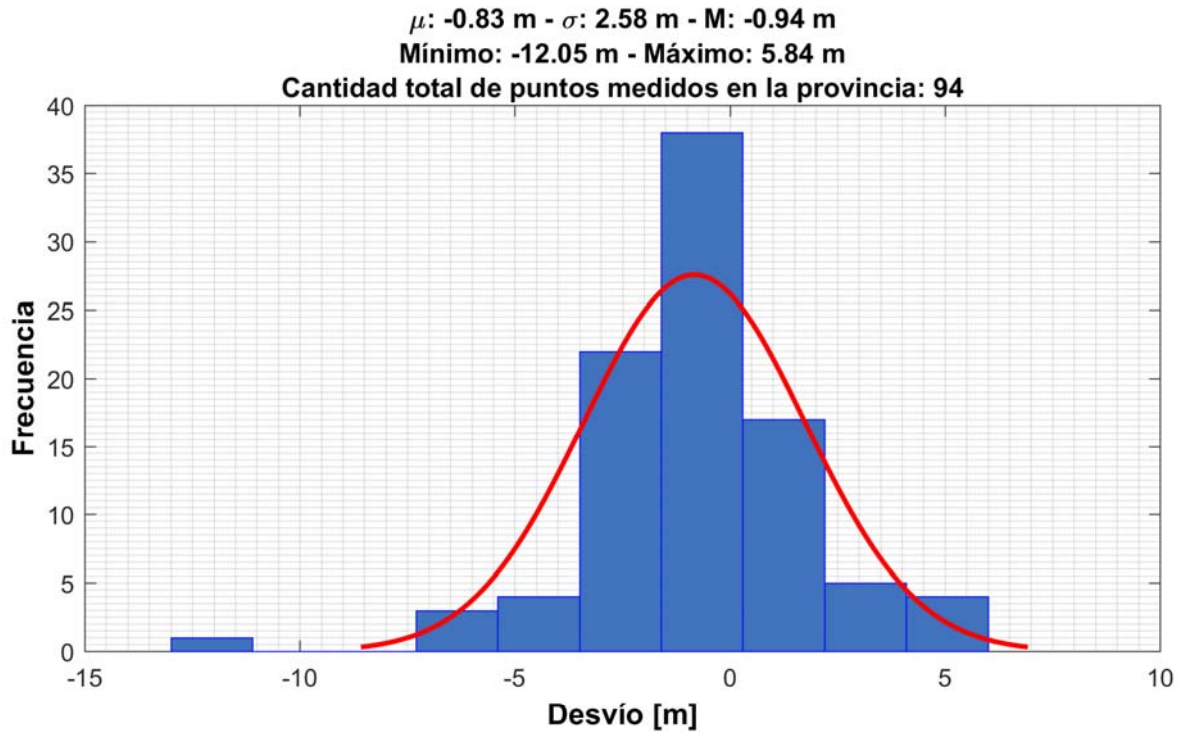


Fig. 36: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos altimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Tierra del Fuego e Islas

Validación MDE-Ar v2.0 - Provincia de Tucumán

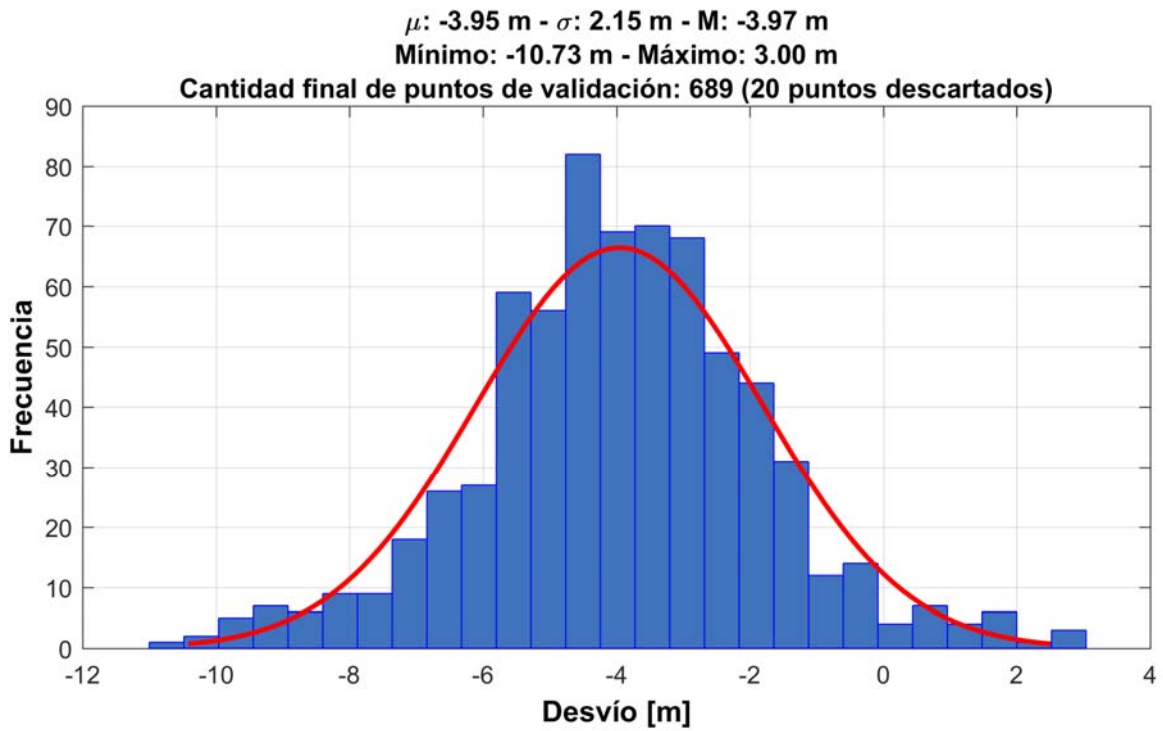
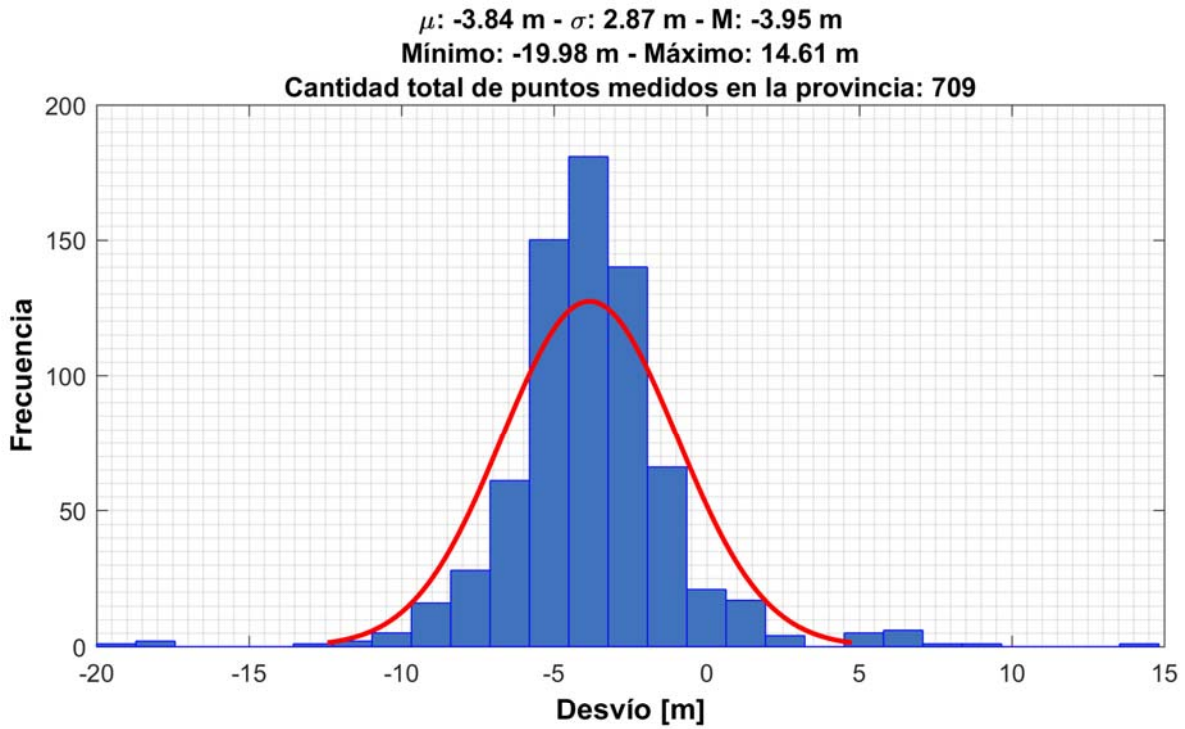


Fig. 37: Histograma de las diferencias entre las alturas de los puntos alimétricos y las alturas derivadas del MDE-Ar v2.0 en la Provincia de Tucumán

4. Conclusiones

El MDE-Ar v2.0 es un producto de gran utilidad para la República Argentina. Su libre distribución contribuye con la generación de la cartografía nacional, el apoyo a las obras civiles e hidráulicas de gran envergadura, el desarrollo de los catastros y la investigación aplicada a las ciencias de la Tierra.

La validación del MDE-Ar v2.0 se llevó a cabo a partir de 23411 puntos distribuidos en forma homogénea sobre el territorio Nacional pertenecientes a la base de datos altimétrica del IGN. La máxima diferencia positiva entre las alturas de dichos puntos y las derivadas del modelo fue de +4.16 m, mientras que la máxima diferencia negativa fue de -8.33 m. La diferencia promedio fue de -2.13 m y el desvío estándar fue igual a 1.91 m.

5. 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: http://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.
- Grohman, G & Kroenung, G & Strebeck, J. (2006). Filling SRTM voids: The delta surface fill method. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 72. 213-216.
- 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>.
- T. Tadono, H. Ishida, F. Oda, S. Naito, K. Minakawa, H. Iwamoto : Precise Global DEM Generation By ALOS PRISM, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. II-4, pp.71-76, 2014, URL: <https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-4/71/2014/isprsannals-II-4-71-2014.pdf>
- J. Takaku, T. Tadono, K. Tsutsui : Generation of High Resolution Global DSM from ALOS PRISM, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-4, pp.243-248, ISPRS, 2014, URL: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-4/243/2014/isprsarchives-XL-4-243-2014.pdf>
- J. Takaku, T. Tadono, K. Tsutsui, M. Ichikawa : Validation of 'AW3D' Global DSM Generated from ALOS PRISM, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.III-4, pp.25-31, 2016, URL: <https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/III-4/25/2016/isprs-annals-III-4-25-2016.pdf>
- T. Tadono, H. Nagai, H. Ishida, F. Oda, S. Naito, K. Minakawa, H. Iwamoto: Initial Validation of the 30 m-mesh Global Digital Surface Model Generated by ALOS PRISM, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS, Vol. XLI-B4, pp.157-162, 2016, URL: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B4/157/2016/isprs-archives-XLI-B4-157-2016.pdf>
- 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>

6. Bibliografía

- ALOS Global Digital Surface Model (DSM), 2019. Earth Observation Research Center Japan Aerospace Exploration Agency, URL: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v22_product_e.pdf
- 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/>