



# Evaluación del modelo geoidal GEOID2015 en Colombia

José Napoleón Hernández <sup>(1)</sup>

*Denizar Blitzkow* <sup>(2,3)</sup>

*Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos* <sup>(3)</sup>

*Francisco Mora* <sup>(4)</sup>

- (1) Cuatro Conceptos SAS – Bogotá, Colombia.
- (2) Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo, Brasil.
- (3) Centro de Estudios de Geodesia, Brasil.
- (4) Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia.

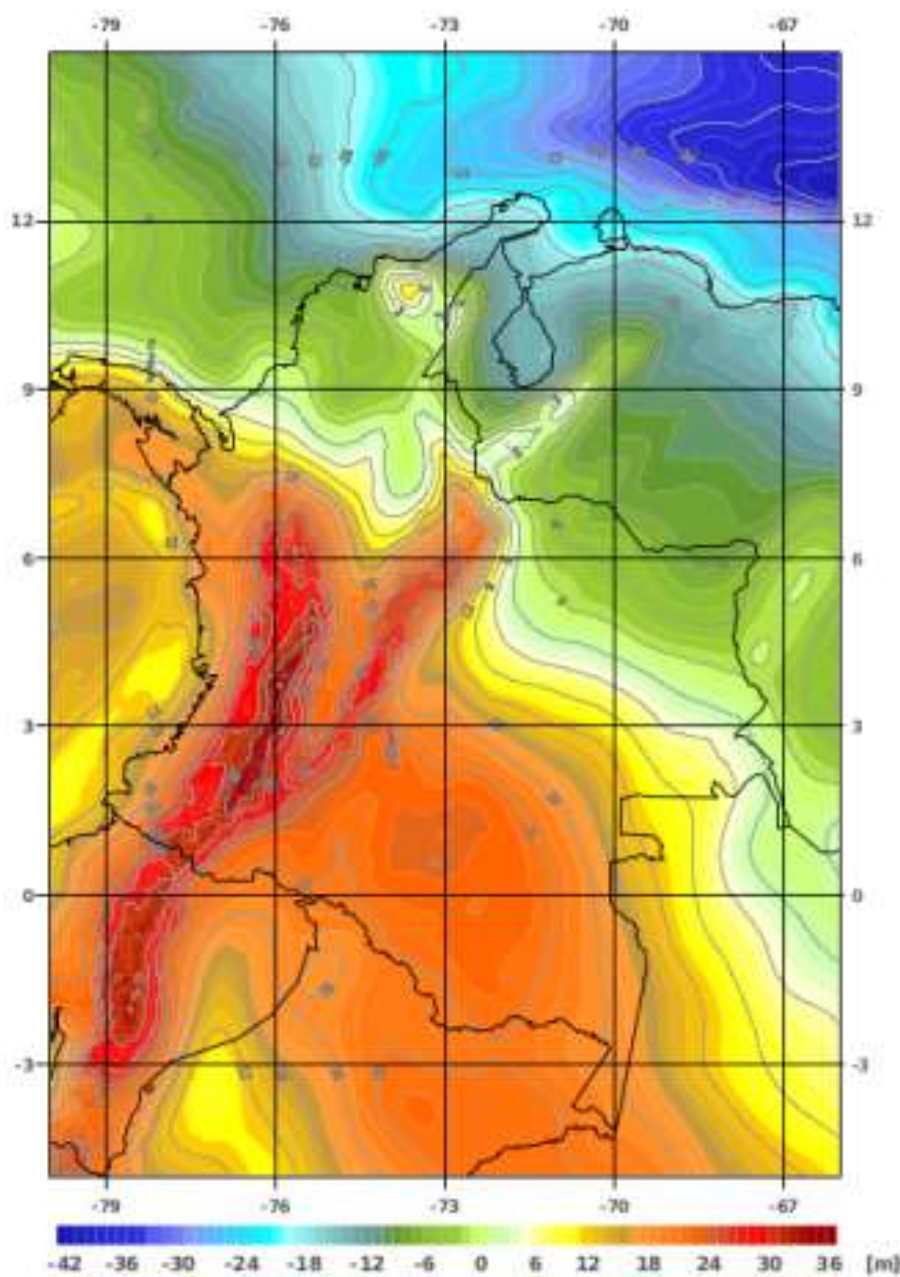
# 1. INTRODUCCIÓN

- La Sub Comisión del Geoide(SCG) de la IAG → GEOID2015;
- Esfuerzo de los países de Latinoamérica;
- El modelo GEOID2015 se ha evaluado en Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Uruguay y Venezuela.

[http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol20/37\\_Blitzkow\\_et\\_al\\_2015\\_Gravedad\\_y\\_cuasi-geoide\\_Suramerica.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol20/37_Blitzkow_et_al_2015_Gravedad_y_cuasi-geoide_Suramerica.pdf)

## 2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Evaluar las ondulaciones geoidales del modelo GEOID2015 y de modelos geopotenciales globales recientes en Colombia con las obtenidas por puntos GNSS sobre nivelación de primer orden.



### 3. ANTECEDENTES

#### El modelo GEOCOL2004

L. Sánchez (2003).  
 Determinación de la  
 superficie vertical de  
 referencia para  
 Colombia. **Thesis at  
 Technische Universität  
 Dresden**, Germany (in  
 Spanish and in German).

[http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Determinacion\\_de\\_alturas\\_fisicas\\_en\\_Colombia.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Determinacion_de_alturas_fisicas_en_Colombia.pdf)

### 3. ANTECEDENTES (continuación)

<b>GEOCOL2004</b>	
RESOLUCIÓN	2'
GRAVIMETRÍA EN EL CONTINENTE	Estandarizaron datos gravimétricos de diferentes fuentes, entre las que se encuentran el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) junto a compañías petroleras e internacionales.
TÉCNICA	Remover-calcular-restaurar
MGG	TEG-4 (200)
INTEGRACIÓN	El componente de longitud de onda corta se estimó con la técnica FFT utilizando la integral de Stokes modificada
MDT	GTOPO30
MODELO DE GRAVEDAD ADOPTADO EN EL OCÉANO	Sandwell & Smith V.9.1
CONSISTENCIA CON GNSS/NIVELACIÓN	55 cm

## 3. ANTECEDENTES (Cont.)

### El modelo GEOCOL2004

- Resolución 068: El modelo de geoide asociado al datum MAGNA-SIRGAS será el producto denominado: GEOCOL2004, que se adopta oficialmente por esta Resolución ([www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co));

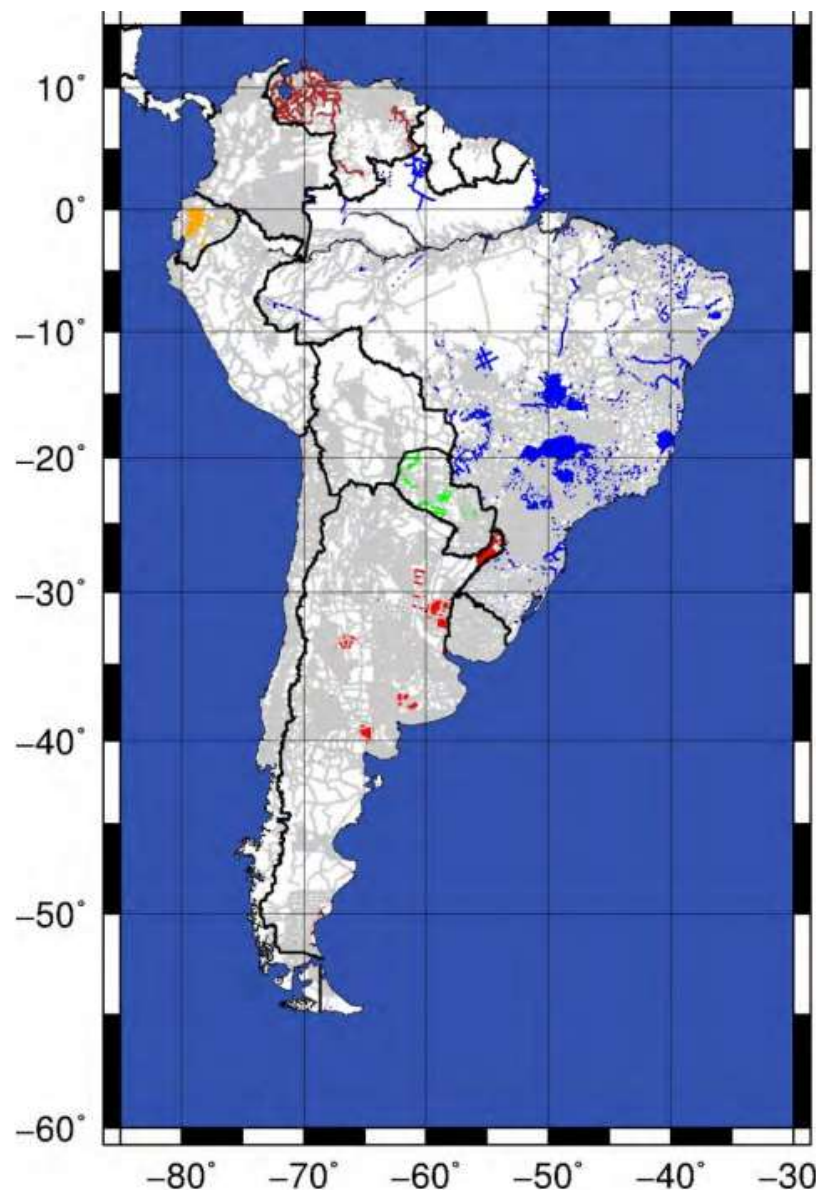


## EL MODELO GEOID 2015 (Cont.)

Actividades desarrolladas por diferentes organizaciones, universidades e institutos de investigación en América del Sur.

- IBGE (CGED)
- Instituciones civiles y militares de distintos países de América del Sur.
- NGA
- GETECH
- BGI

**947.953 puntos de gravedad.**



## 4 - El modelo de geoide GEOID2015

- El modelo fue basado en **EIGEN6C4** hasta **grado y orden 200** como campo de referencia;
- La **zona de los océanos** fue completada con la gravedad media aire-libre derivada del **modelo de altimetría de satélite Danish National Space Center, DTU10**;
- Las **anomalías completas de Bouguer, las anomalías de gravedad de Helmert y el efecto topográficos indirecto primario** fueron derivado a través del paquete canadiense **SHGEO (DTM → SAM3s\_v2)**;
- La **componente de longitud de onda corta** fue estimada por **FFT** con la modificación del Kernel propuesta por Featherstone;
- Agregó el término grado cero = -41 cm.



# GEOID2015

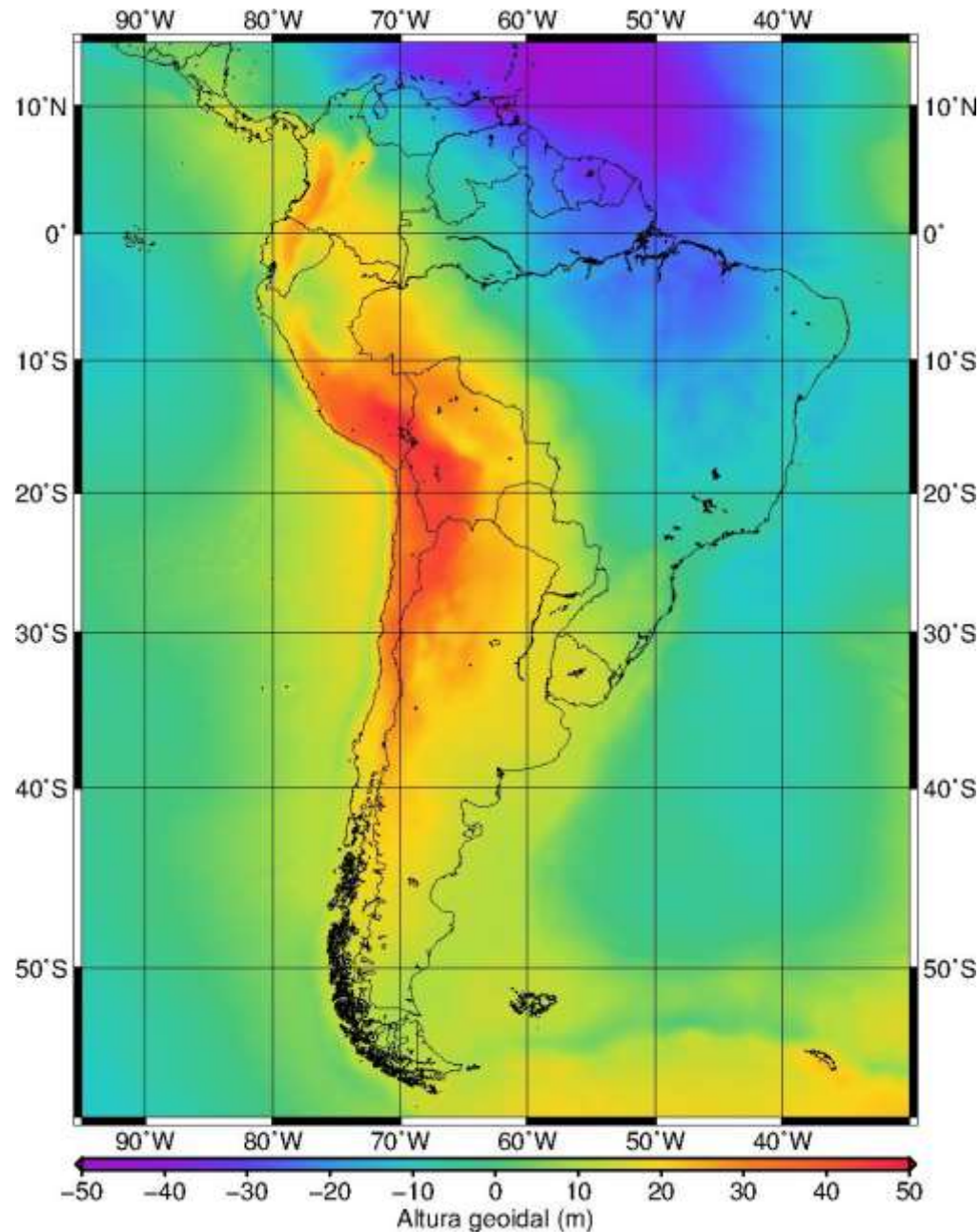
## Dimensión de la red

5' x 5'

15° N y 57° S en latitud

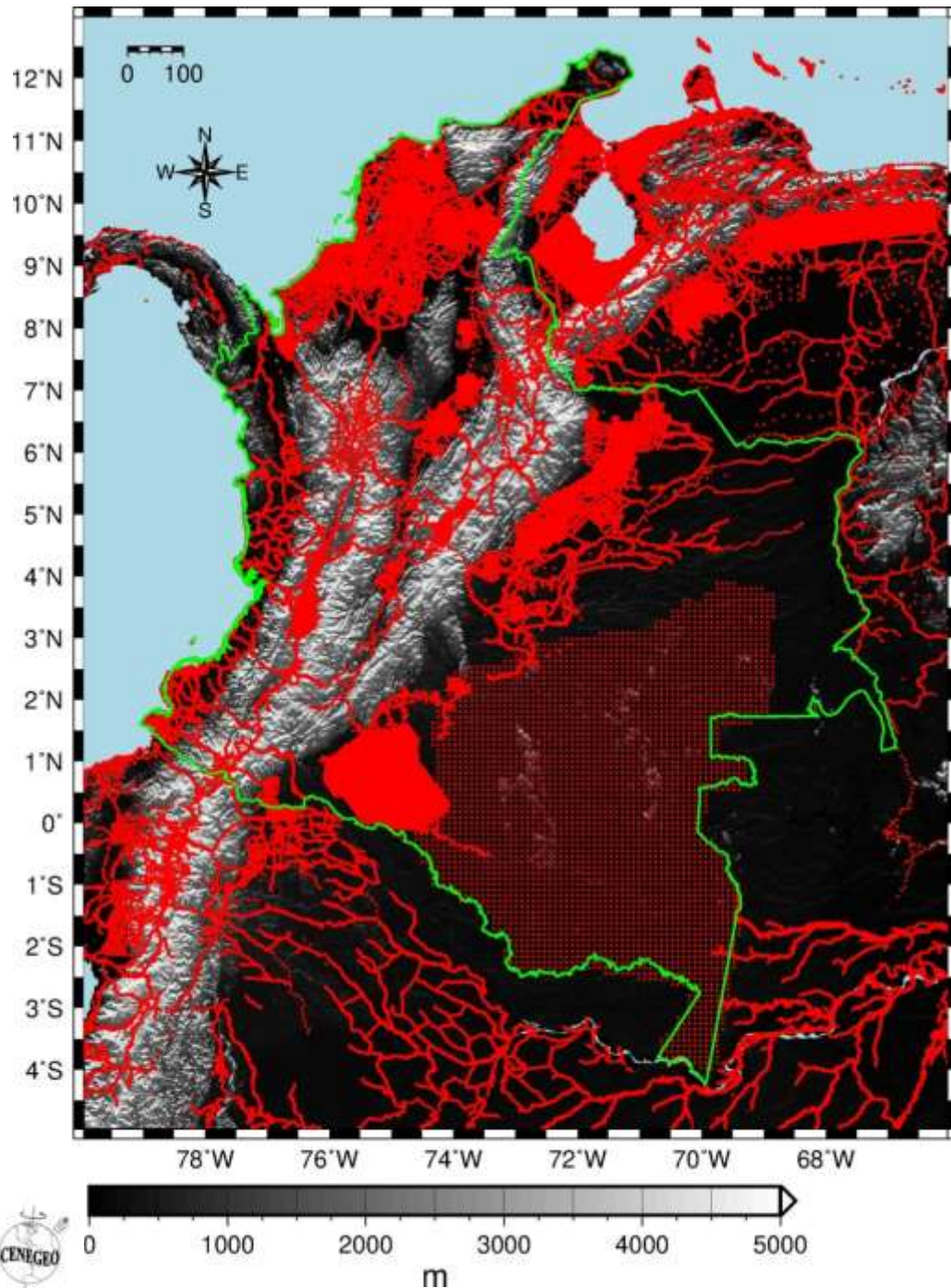
95° W y 30° W en longitud

A cuadrícula del modelo geode está disponible en *International Service for the Geoid (ISG)*



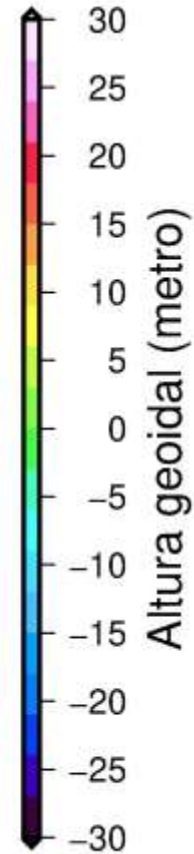
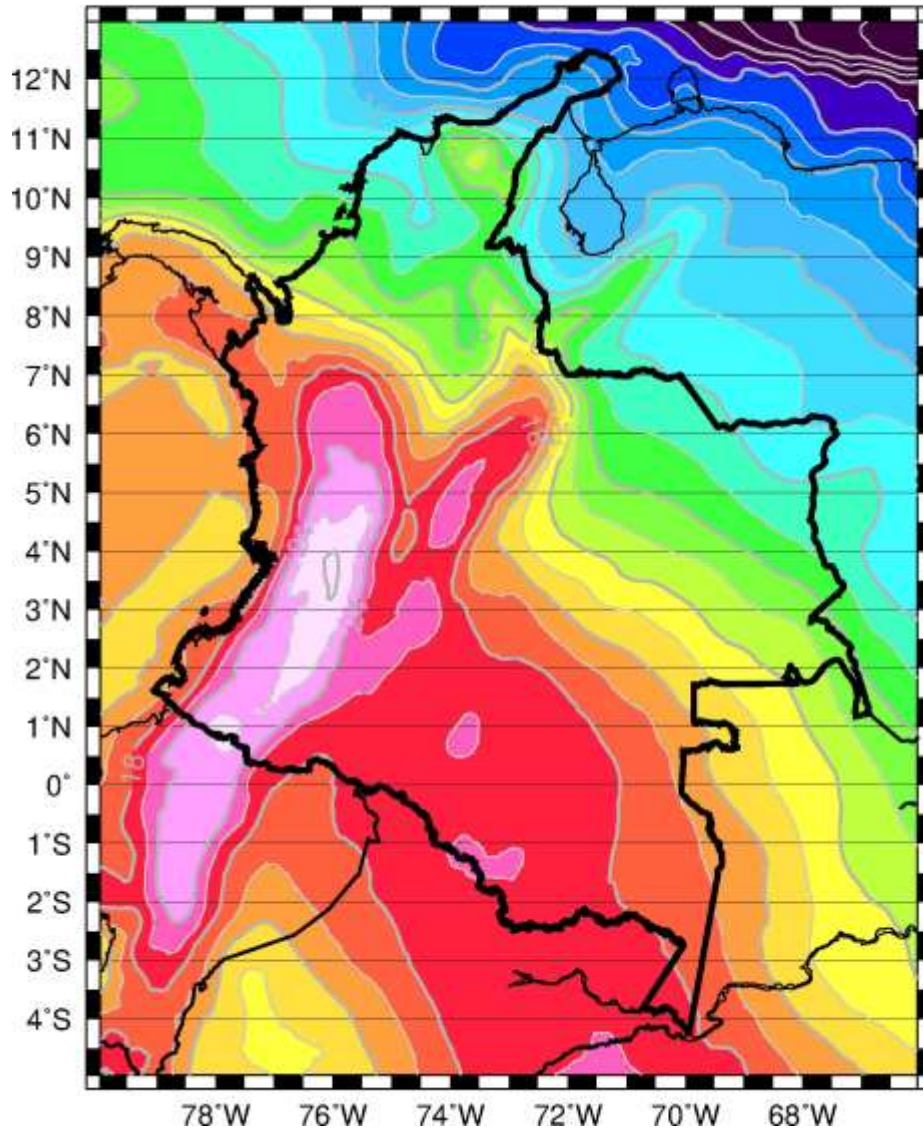
# Distribución de datos gravimétricos

Colombia →  
69.107 puntos





# GEOID2015 – COLOMBIA



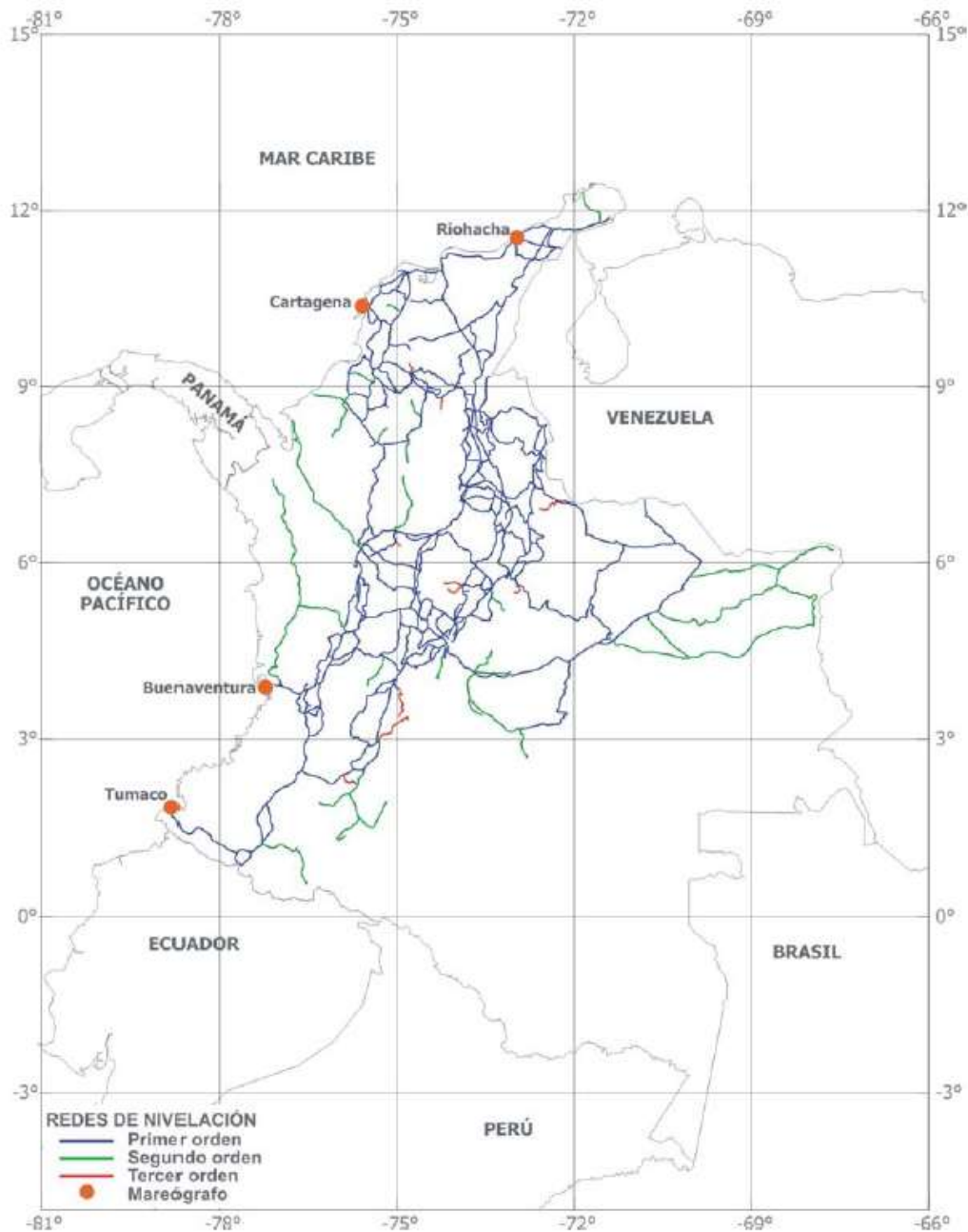
Promedio	11.69
Mediana	15.27
Desviacion estandar	10.11
Valor maximo positivo	30.80
Valor maximo negativo	-20.72

## 5. GPS/Nivelación

- Obtención de alturas geoidales de 464 puntos de GPS/Nivelación;
- Conociendo las debilidades de las alturas “ortométricas”, ya que éstas no se encuentran corregidas por la corrección gravimétrica, es importante señalar que es la única herramienta disponible para la evaluación, cuyos resultados serán considerados para tomar las futuras acciones para una optimización de la determinación geoidal en la región.
- GPS:
  - Modo estático-diferencial.
  - Vinculado a MAGNA ECO.
  - Receptores doble frecuencia.







## RED DE NIVELACIÓN DE COLOMBIA

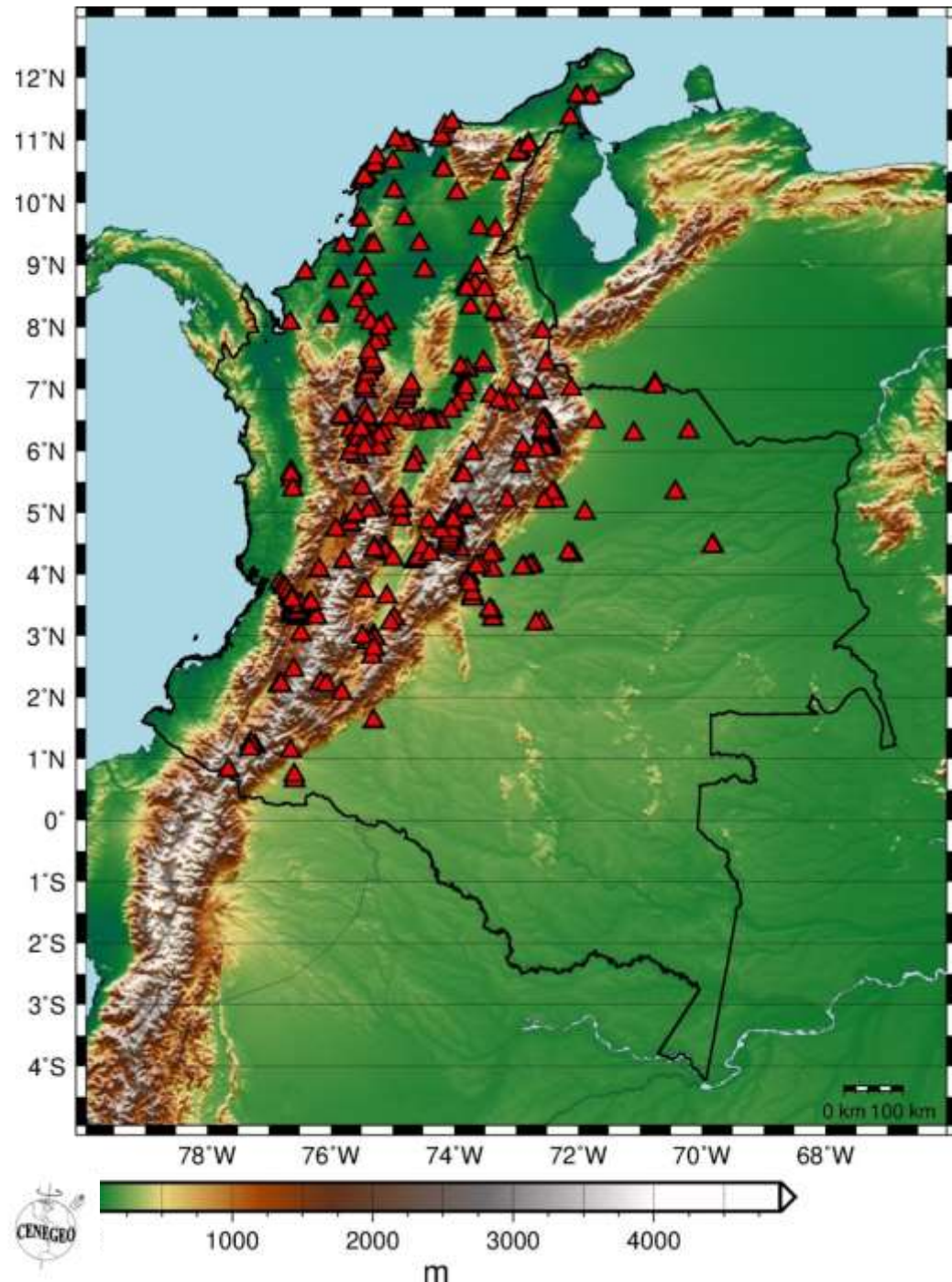
Fuente: [www.igac.co](http://www.igac.co)

- Mareógrafo CERO (0) para la nivelación de Colombia: Mareógrafo de Buenaventura
- Exactitud de la nivelación. Estimador de  $\pm 4\text{mm}\sqrt{k}$ , k en kilómetros.



Distribución de **464**  
**nuevos puntos**  
GPS/nivelación en  
Colombia

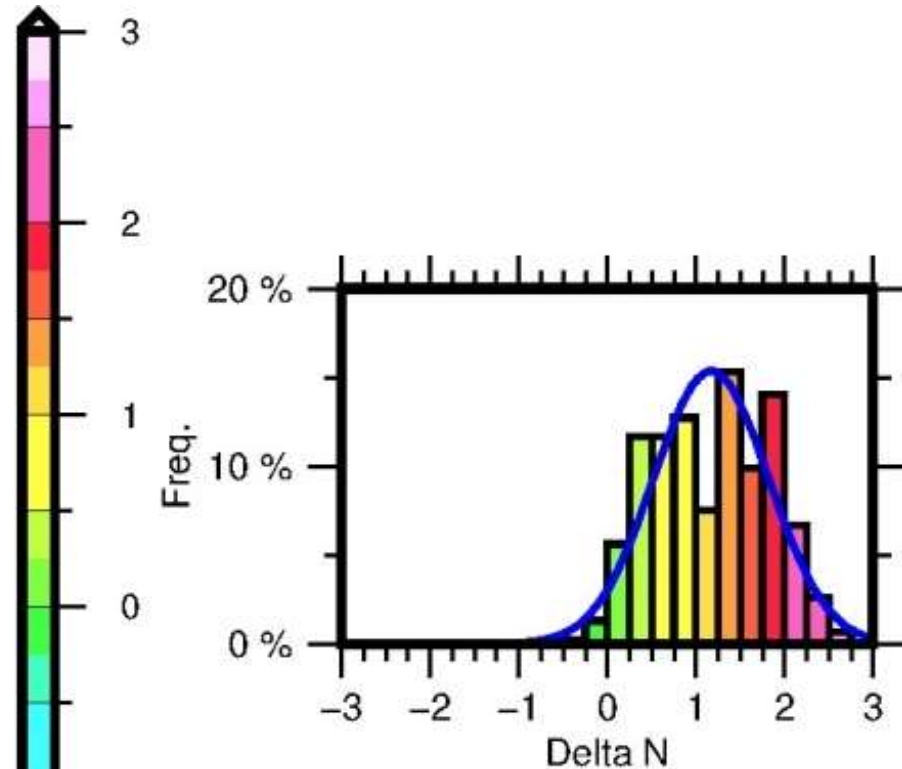
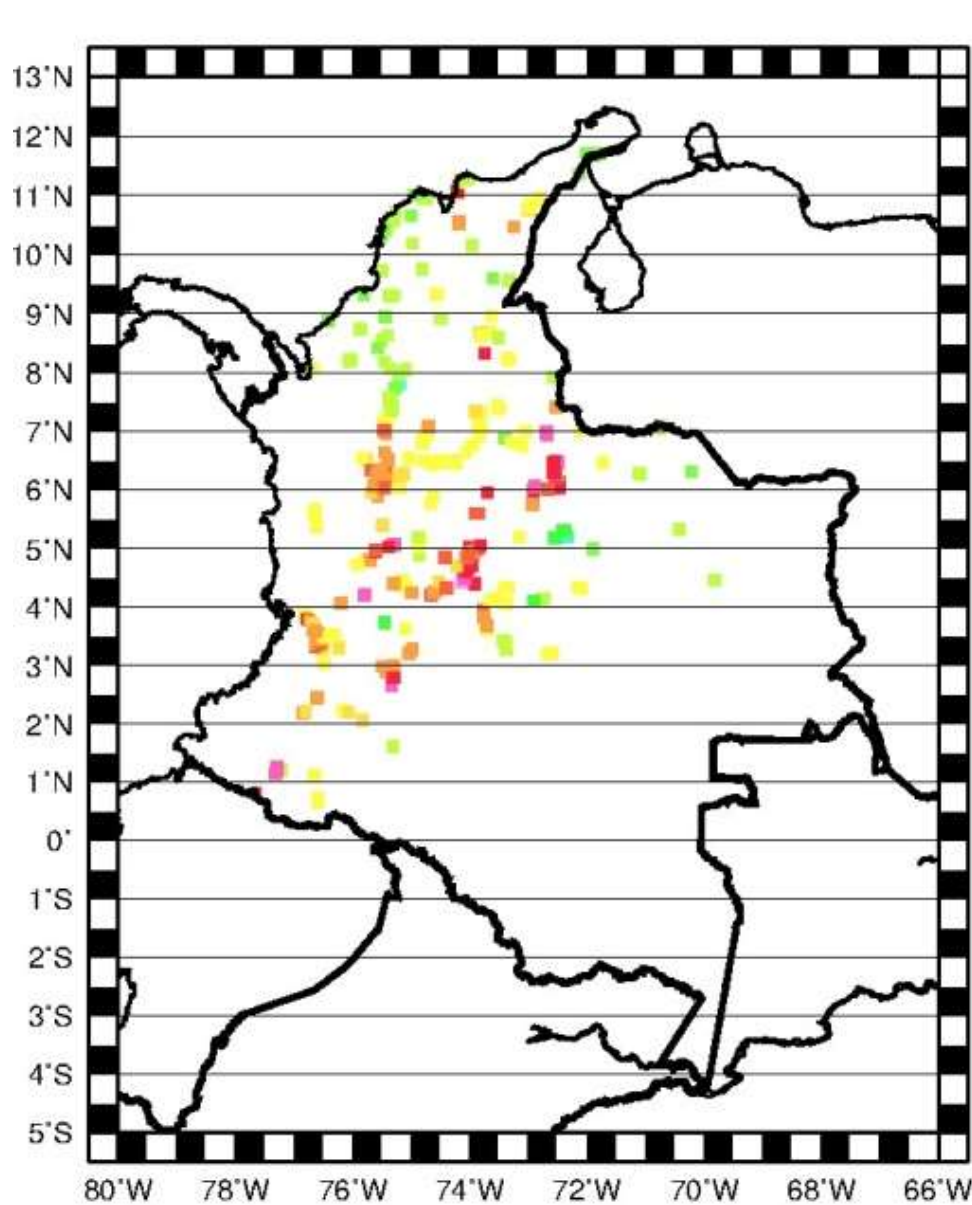
Puntos de nivelación  
situados desde **3** hasta  
**3850** msnm.





# 6. RESULTADOS

## N GNSS/Niv – N GEOID2015 (m)



Promedio	1.17
Mediana	1.19
Desviacion estandar	0.65
RMS de la diferencia	1.34
Valor maximo positivo	2.64
Valor maximo negativo	-0.64

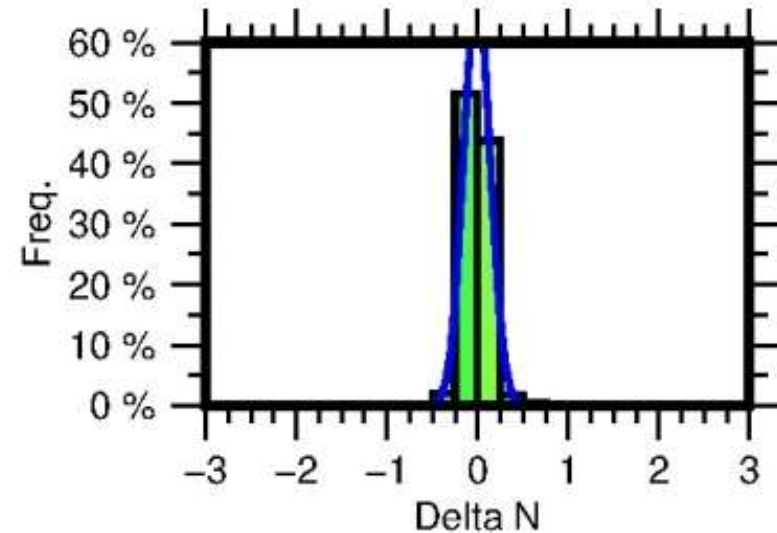
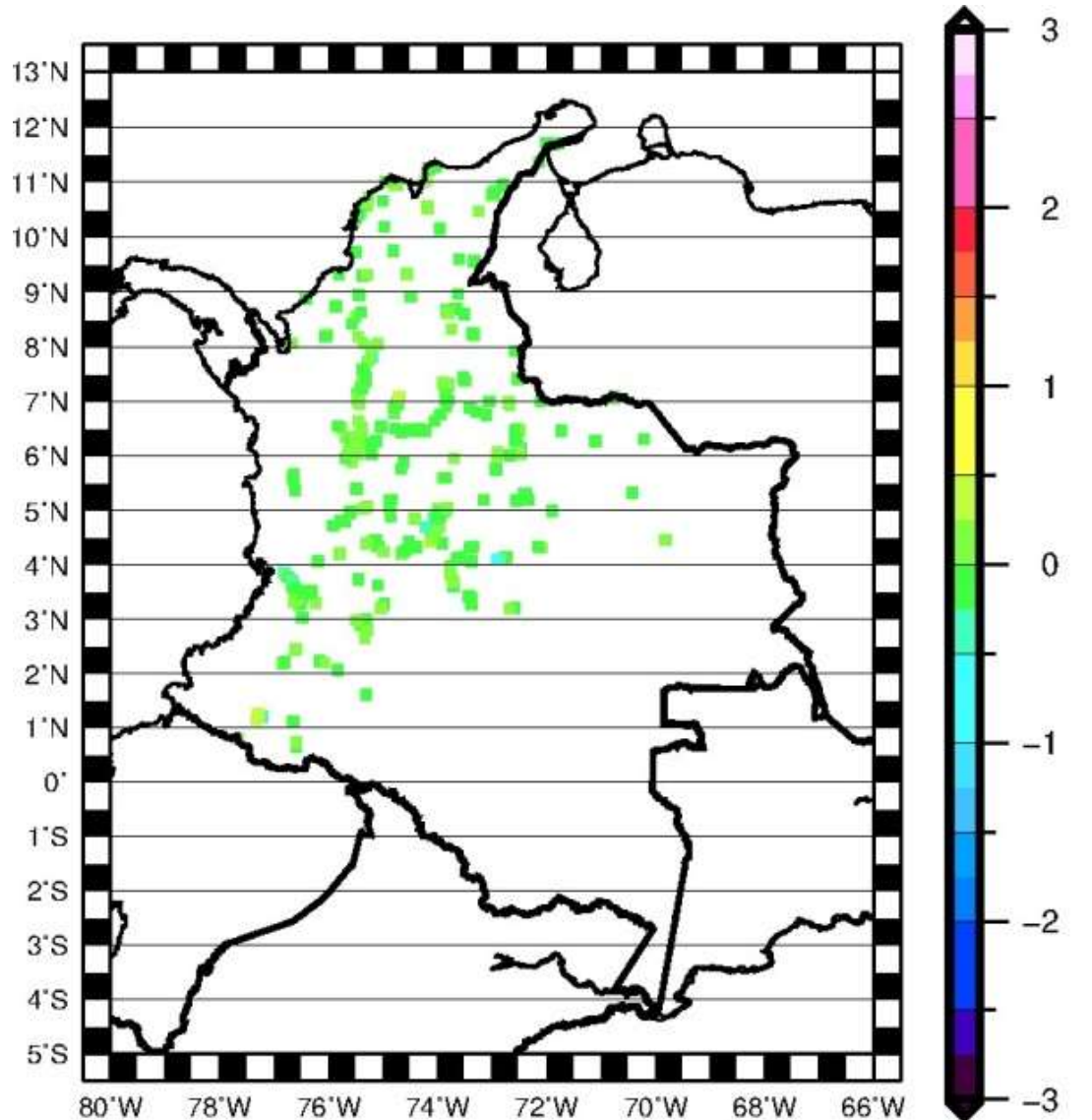
# Ajuste del modelo geoidal por promedio ponderado

## Programa fitgeoid.for perteneciente al paquete computacional GRAVSOF

Forsberg, R & Tscherning, CC 2008, 'An overview manual for the GRAVSOF geodetic gravity field modelling programs'.

# N GNSS/Niv – N GEOID2015(m)

## GEOID 2015 ajustado con promedio ponderado



Promedio	-0.01
Mediana	-0.00
Desviacion estandar	0.14
RMS de la diferencia	0.14
Valor maximo positivo	0.54
Valor maximo negativo	-1.36



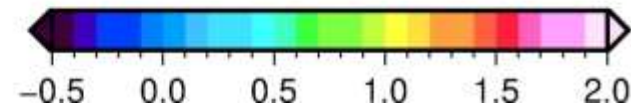
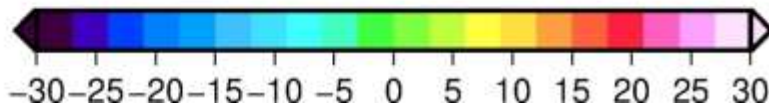
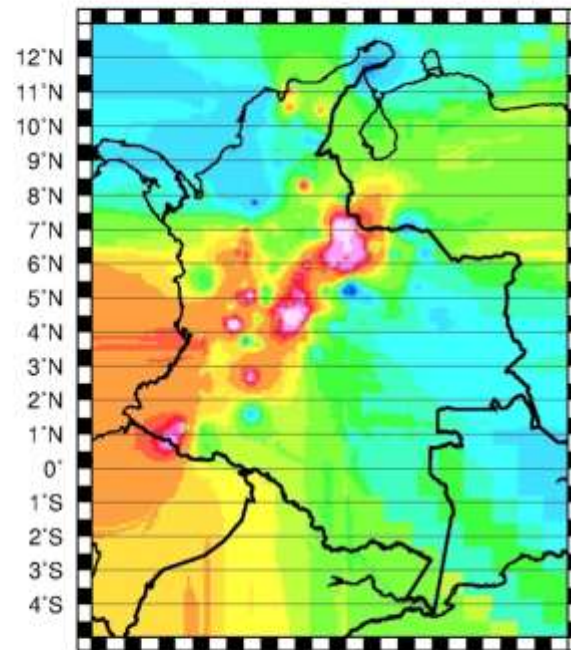
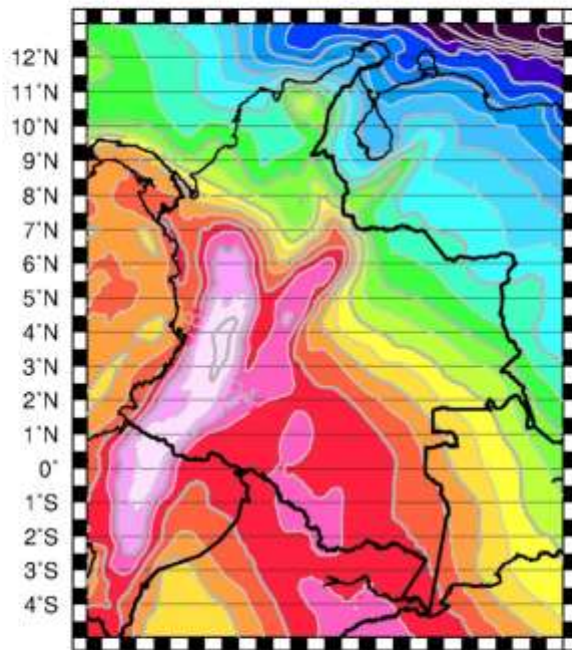
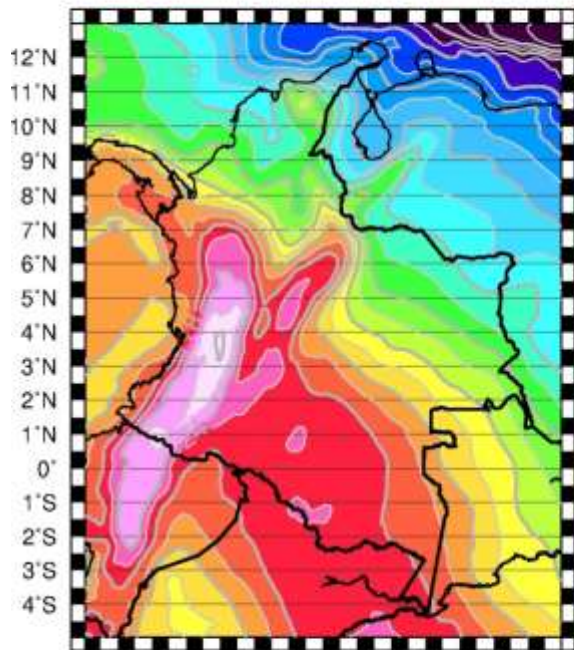
# GEOID2015 ajustado - promedio ponderado



GEOID2015

GEOID2015 ajustado

Diferencia(ajustado-original)

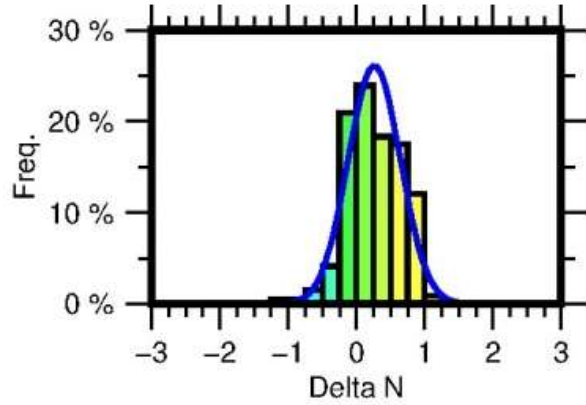


# Modelos geopotenciales globales

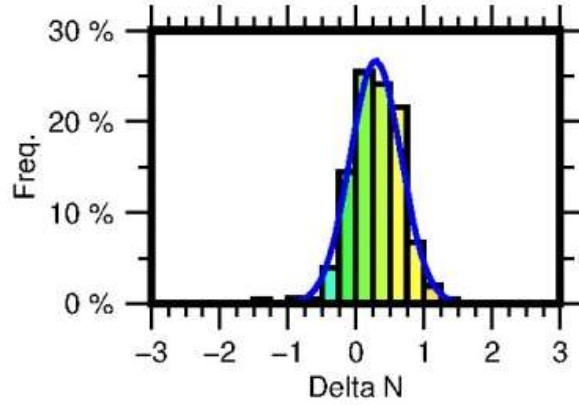
MGG	Año	GRADO	DATOS	REFERENCIAS
XGM2019 e	2019	2190	Satélite (GOCC06s), altimetria y gravimetria*	Zingerle, P. et al, 2019
EIGEN6C4	2014	2190	Satélite (GOCE, GRACE y LAGEOS), altimetria y gravimetria*	Förste, C. et al, 2012
EGM2008	2008	2190	Satélite (GRACE), altimetria y gravimetria*	Pavlis, N.K. et al, 2008

\*mediciones terrestres a bordo de naves aéreas

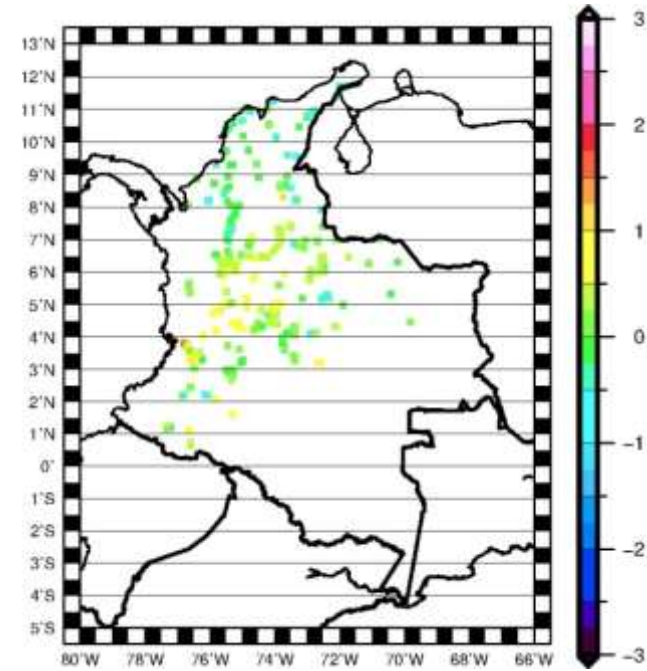
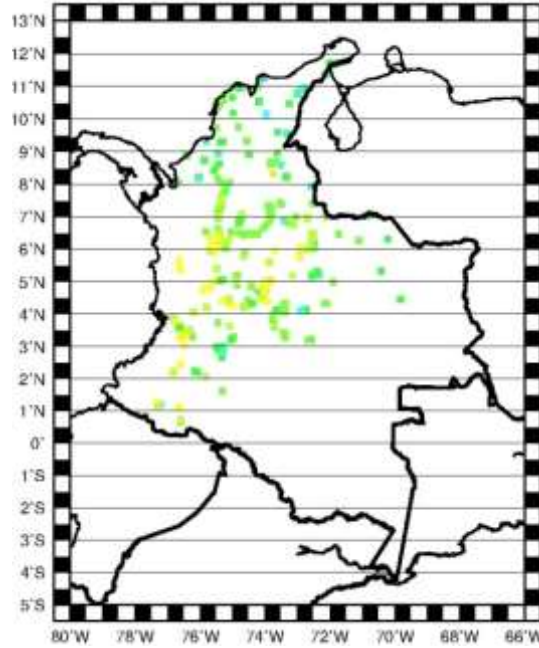
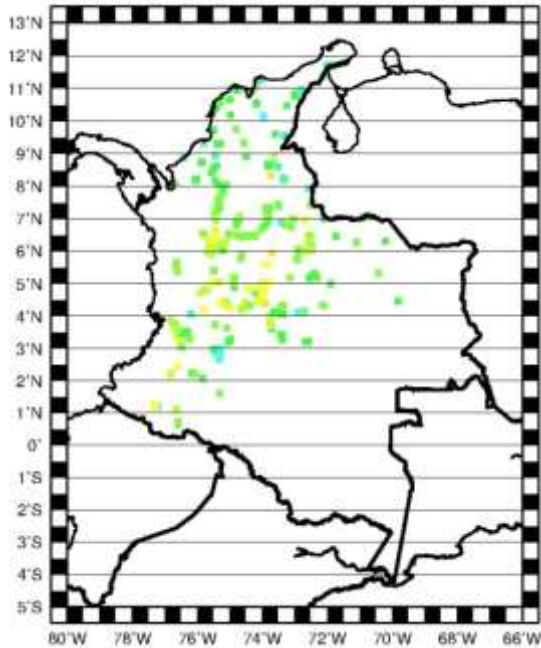
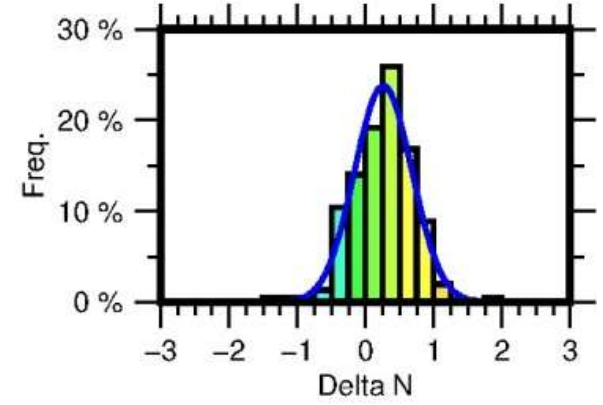
N GNSS/Niv – N XGM2019 (m)



N GNSS/Niv – N EIGEN6C4 (m)



N GNSS/Niv – N EGM2008 (m)





# COLOMBIA

Análisis estadístico de la diferencia entre 464 puntos GNSS/Nivelacion y GEOID2015  
MGGs (XGM2019, EIGEN6C4 y EGM2008)

	N GEOID2015	N XGM2019*	N EIGEN6C4*	N EGM2008*	N GEOID2015 promedio ponderado
PROMEDIO	1,17	0,26	0,29	0,26	-0,01
DESVIACION ESTADAR	0,65	0,38	0,37	0,42	0,14
RMS DE LA DIFERENCIA	1,34	0,46	0,47	0,49	0,14
VALOR MÁXIMO POSITIVO	2,64	1,09	1,39	1,79	0,54
VALOR MÁXIMO NEGATIVO	-0,64	-1,09	-1,34	-1,32	-1,36

\* Calculado por el sitio web de ICGEM

Opciones:

Geoid (Grado maximo de MGGs)

sistema de mareas: libre de mareas

sistema de referencia: WGS84

agregado el término de grado cero

# CONCLUSIÓN Y PROPUESTAS FUTURAS

- Los datos de gravedad terrestres de Colombia, en la base de datos USP, son antiguos y tienen una distribución no homogénea.
- Por lo tanto, en la base de datos USP, hay zonas con grandes vacíos en la información gravimétrica, principalmente en los Andes. Estas áreas están influenciadas por el modelo MGG adoptado hasta el grado 200 en el cálculo de GEOID2015.
- Gran parte de los datos GPS/Nivelación utilizados en esta evaluación se encuentran en una región con grandes altitudes.

# CONCLUSIÓN Y PROPUESTAS FUTURAS (Cont)

- GEOID2015 se demuestra menos convergente con 464 puntos GNSS/Nivelación para Colombia que los MGGs estudiados.
- De todos modos, en la validación con MGGs, el RMS de la diferencia fue cercano a 50 cm.
- Por otro lado, existe la posibilidad de ajustar el GEOID2015 a los puntos GNSS/Nivelación por el promedio ponderado o el método de colocación por mínimos cuadrados. Estos ajustes pueden usarse de manera confiable en zonas donde se encuentran los puntos GNSS/Nivelación.

# CONCLUSIÓN Y PROPUESTAS FUTURAS (Cont)

Futuro:

- Tener una referencia absoluta para vincular las mediciones de gravedad;
- Obtener más datos gravimétricos;
- Validar la calidad de datos gravimétricos;
- Reemplazar datos antiguos dudosos con nuevas mediciones gravimétricas;
- Obtener más puntos GPS/Nivelación;
- Validar la calidad de puntos GPS/Nivelación;
- Utilizar un modelo geopotencial y modelo digital de terreno más recientes;
- Ajustar y validar el modelo geoidal a puntos GPS/Nivelación (usando promedio ponderado y/o método de colocación por mínimos cuadrados).

# MUCHAS GRACIAS

