



# EPUSP

Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo

# IBGE

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

# ESTUDIOS DE GRAVEDAD Y DEL MODELO DE CUASI-GEOIDE PARA LA AMÉRICA DEL SUR

**Denizar Blitzkow**

(e-mail: [dblitzko@usp.br](mailto:dblitzko@usp.br))

Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos

Gabriel do Nascimento Guimarães

María Cristina Pacino

Eduardo Andrés Lauría

Marcelo Nunes

Carlos Alberto Correia e Castro Junior

Fredy Flores

Arturo Echalar

Nuris Hurihuela Guevara

Ruber Alvarez

Reunión SIRGAS 2015

18 al 20 de noviembre de 2015,

Santo Domingos, Republica Dominicana



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE UBERLÂNDIA



## **Sumario**

- **Observaciones de gravedad en Brasil, Paraguay, Argentina, Ecuador e Venezuela**
- **Modelo de geoide en América del Sur - versión 2015**
- **Red de Gravedad Absoluta en Argentina**
- **Red de Gravedad Absoluta en São Paulo**
- **Red de Gravedad Absoluta en Venezuela**
- **Modelo de marea terrestre**

# **DATOS DE GRAVEDAD**

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

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

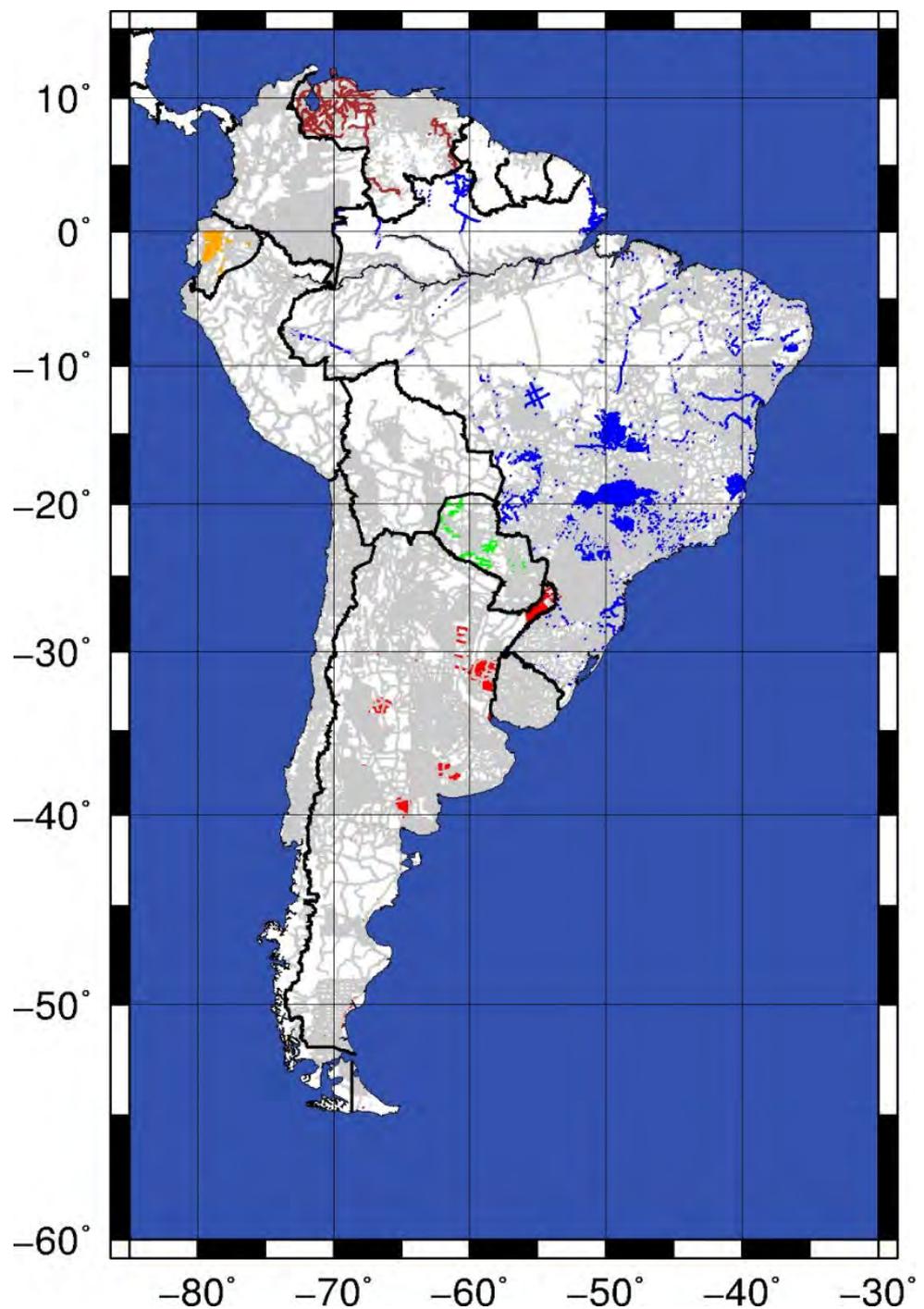
Los grandes esfuerzos realizados por diferentes organizaciones en los últimos años para mejorar la cobertura de los datos de gravedad.

**947.953**

**puntos de gravedad en América del Sur**

# DISTRIBUCIÓN DE DATOS DE GRAVEDAD

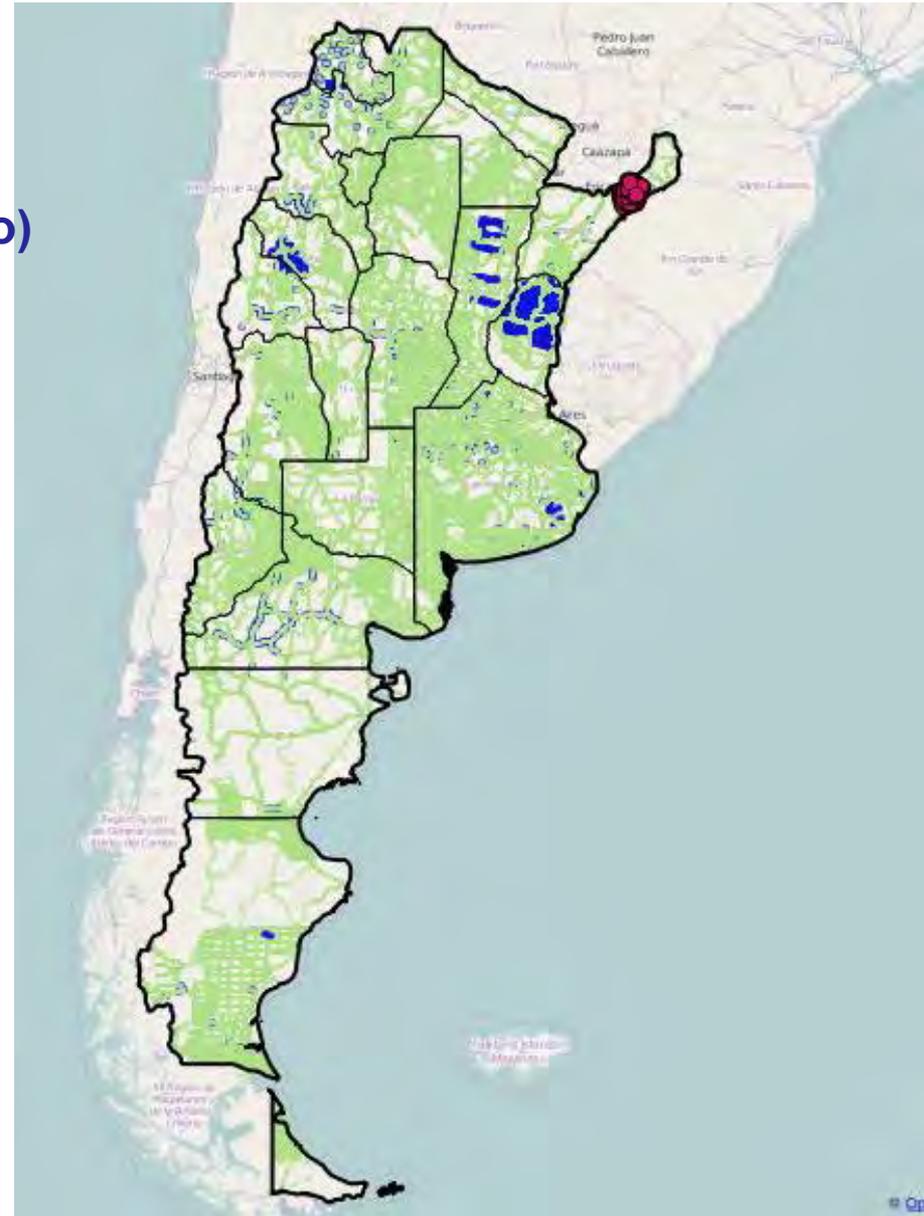
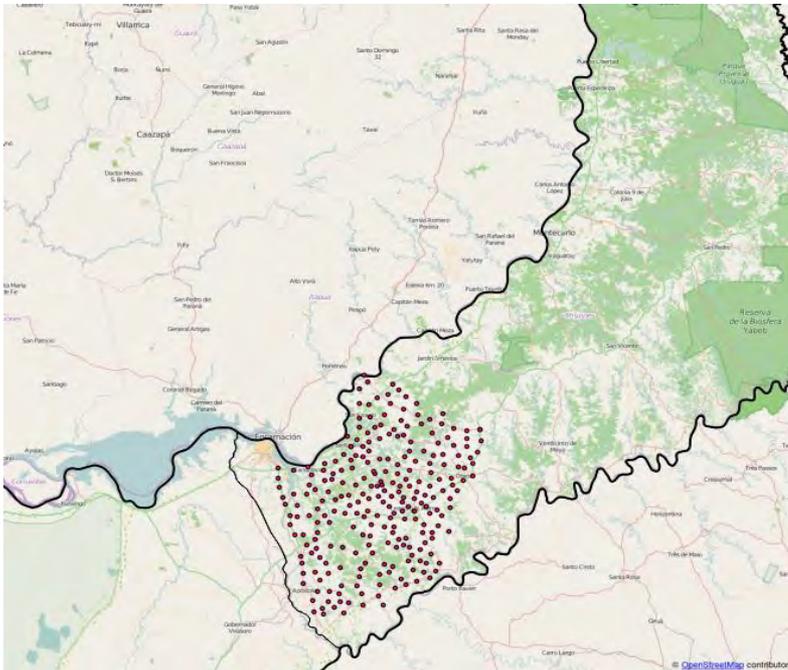
- Las nuevas observaciones de gravedad han sido realizadas con LaCoste y Romberg y/o CG5
- Receptores de doble frecuencia GNSS se han utilizado para obtener las coordenadas geodésicas para las estaciones.
- La 'altura ortométrica' para los estudios recientes se deriva de la altura geodésica utilizando el EGM2008 restringido a al grado y orden 150.



# ESFUERZOS RECIENTES ARGENTINA

## IGN (Instituto Geográfico Nacional) UNR (Universidad Nacional de Rosario) PROYECTO SAGS

600 nuevas estaciones de gravedad se han sido medidas recientemente. En los últimos 10 años varios esfuerzos se llevaron a cabo con la mejora de la distribución de la gravedad.



# ESFUERZO RECIENTE BRASIL

SAGS2010-2011

SAGS2011-2012

SAGS2013-2014

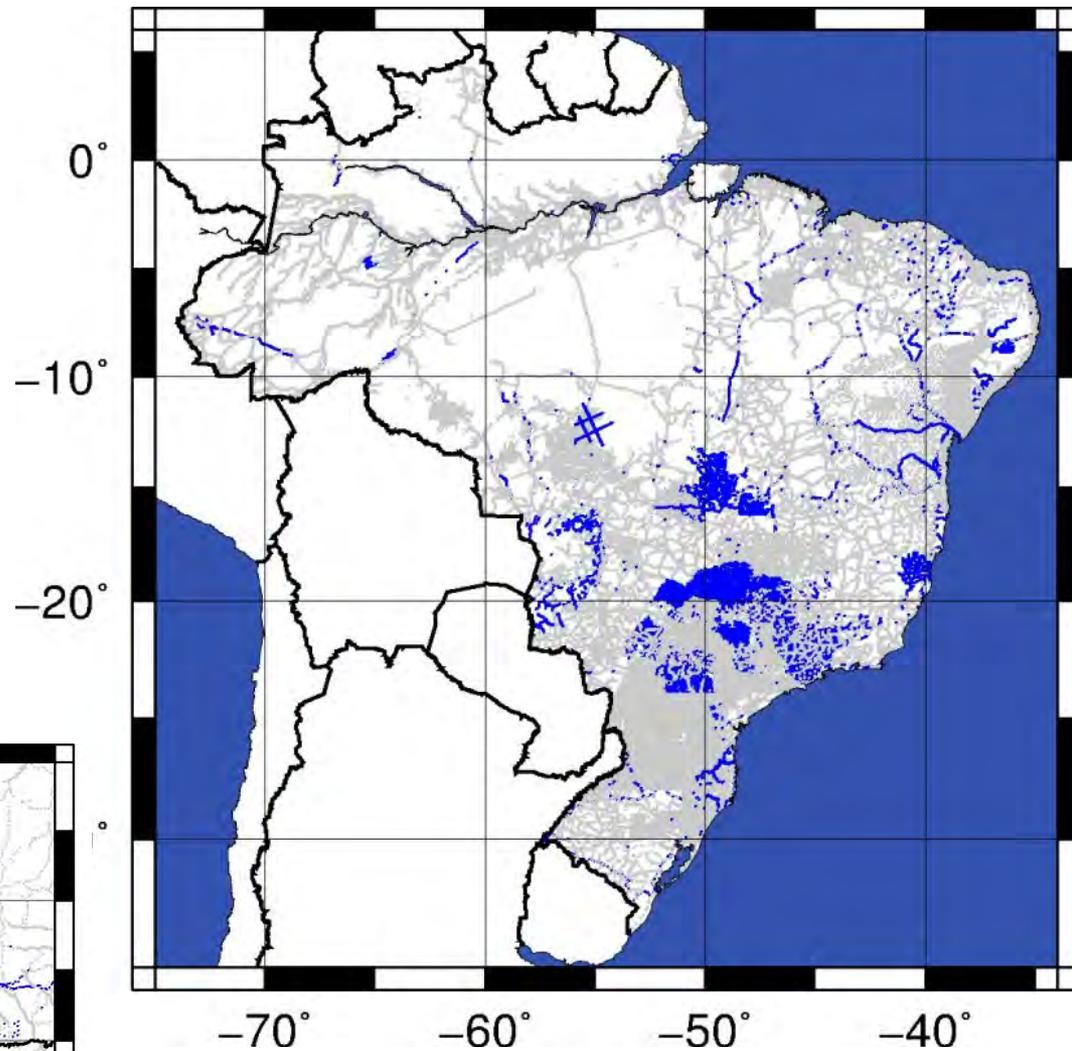
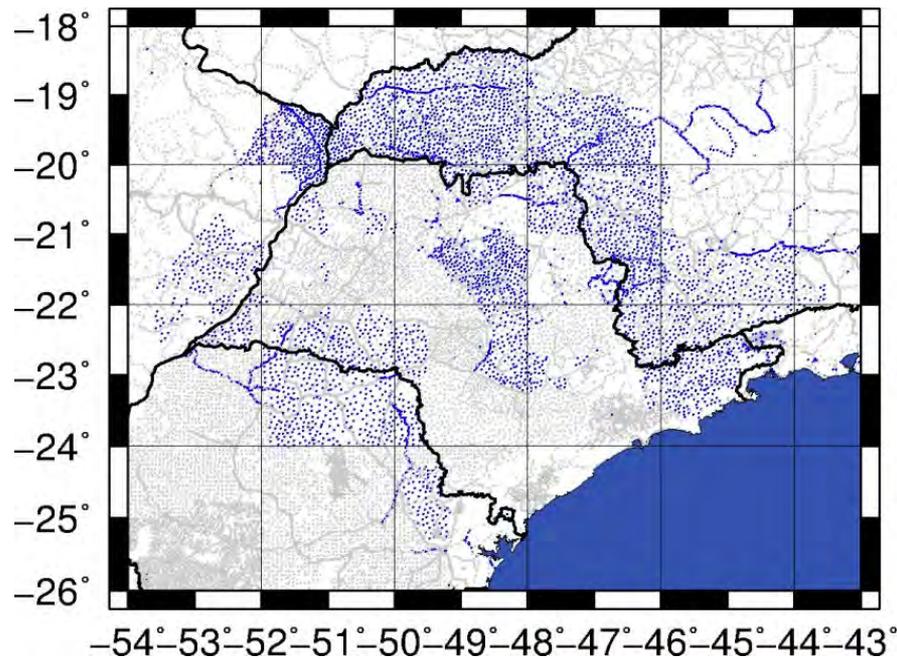
SAGS2015-2016

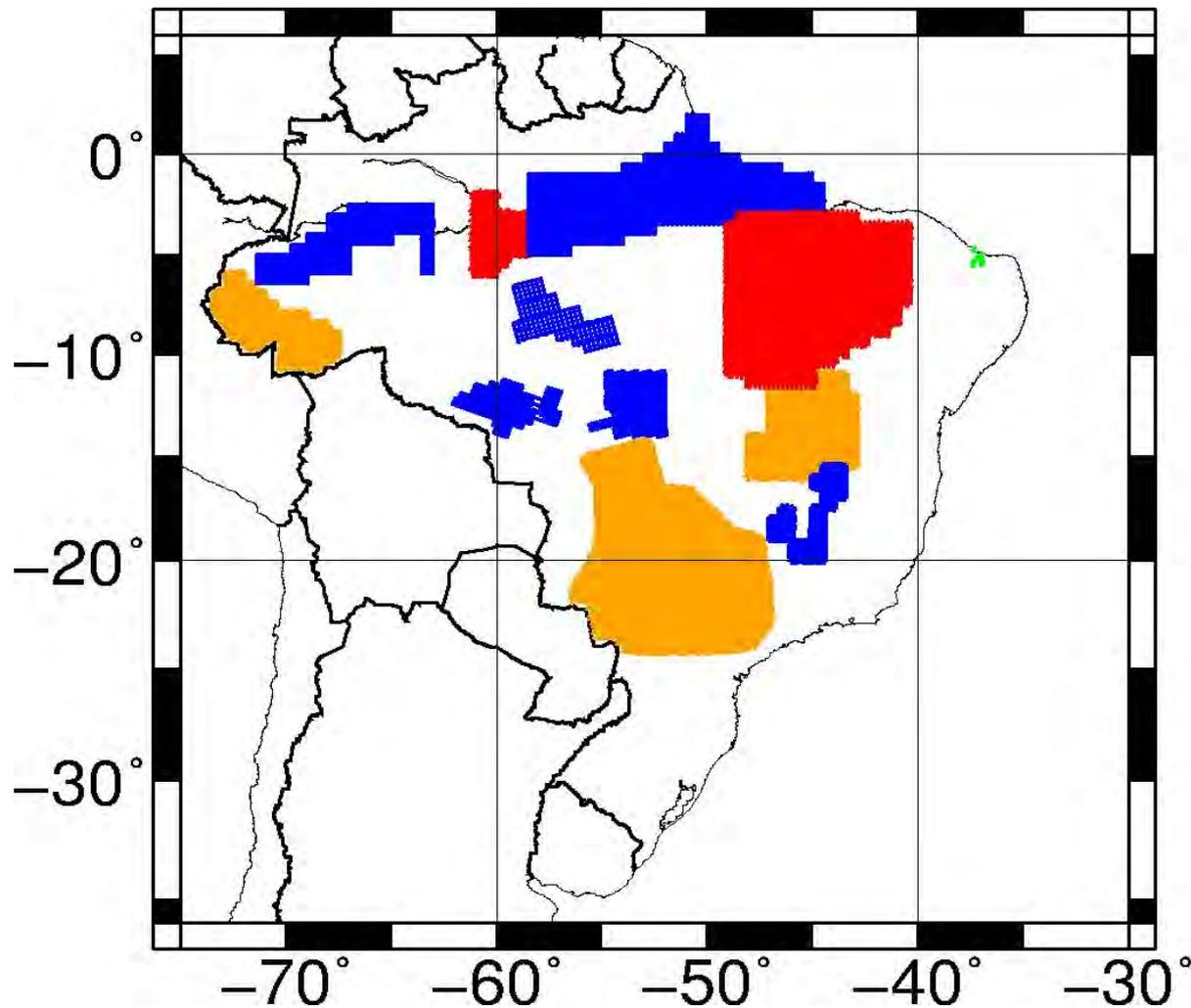
PROYECTO TEMÁTICO

PROYECTOS LTG / USP

IBGE

**18.186** nuevas estaciones de gravedad se han sido medidas en los últimos cinco años





## ESFUERZOS RECIENTES EN BRASIL

Aero gravedad  
Los datos transferidos por la ANP para calcular el nuevo modelo de geoide del IBGE

**Azul** → no informa valor de la gravedad

**Rojo** → informa el valor de la gravedad

**Naranja** → informa pseudo valor de la gravedad,

$$G_{pobs} = G_n + G_f - 0,3086 * ALT_{GPS}$$

# ESFUERZO RECIENTE ECUADOR – IGM PROYECTO SAGS

1320 nuevas estaciones de  
gravedad se han medido  
recientemente.

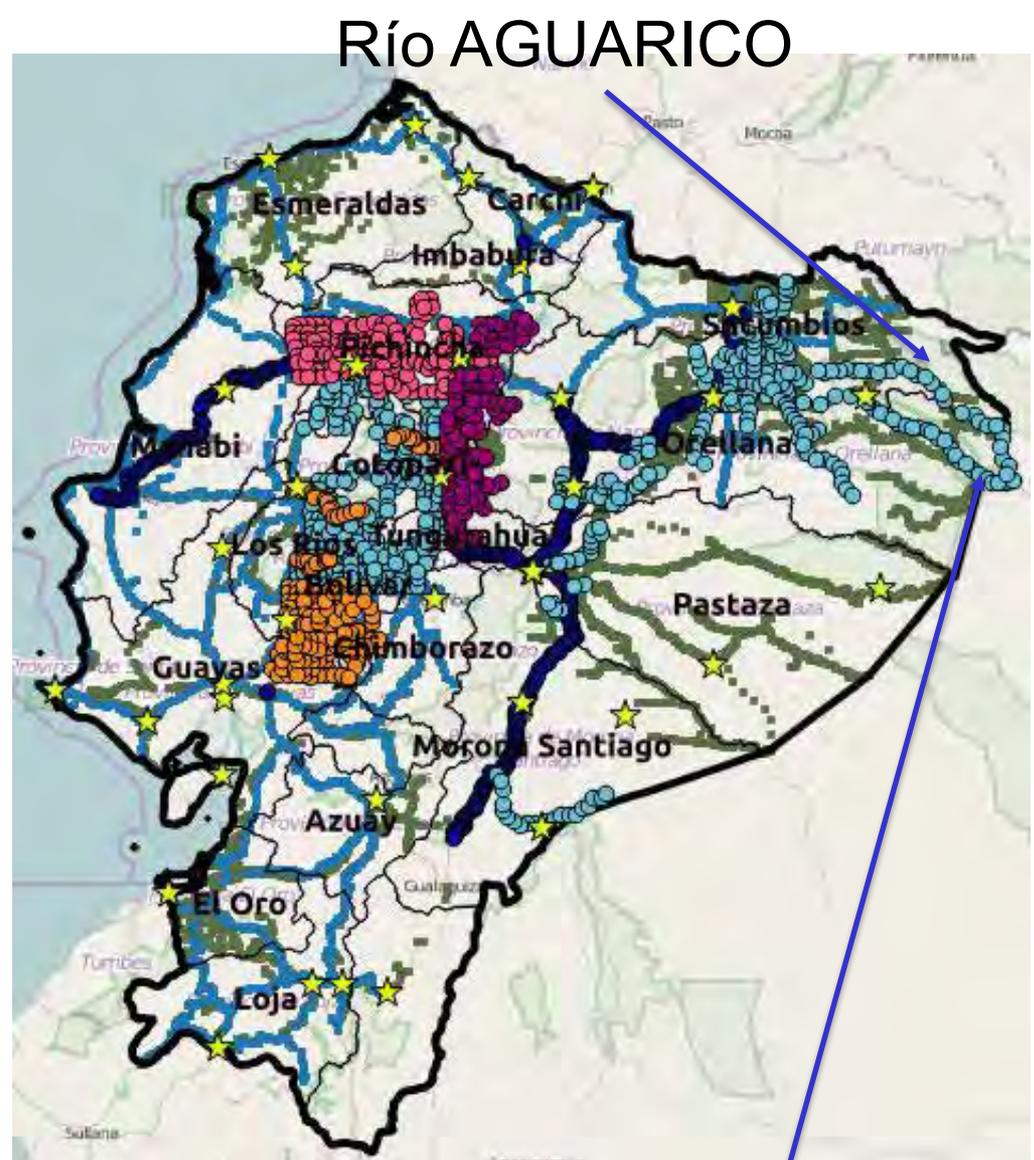
Datos de gravedad fueron obtenidos por IGM, IBGE y EPUSP en el periodo de 2010 hasta 2015 (proyecto SAGS).

**Rios Napo e Aguarico e algunos senderos.**

Una logística sofisticada fue creada para apoyar las investigaciones en los ríos. Los valores de gravedad fueron conectados al RFG (Red Fundamental de Gravedad).

En el último año, varios estudios nos fueron realizados en la parte central del país.

Se espera que las mediciones absolutas que sean hechas en el próximo año.



Río AGUARICO

Río NAPO

★ Red Fundamental de Gravedad

## ESFUERZOS EN PARAGUAY ÚLTIMOS 10 AÑOS

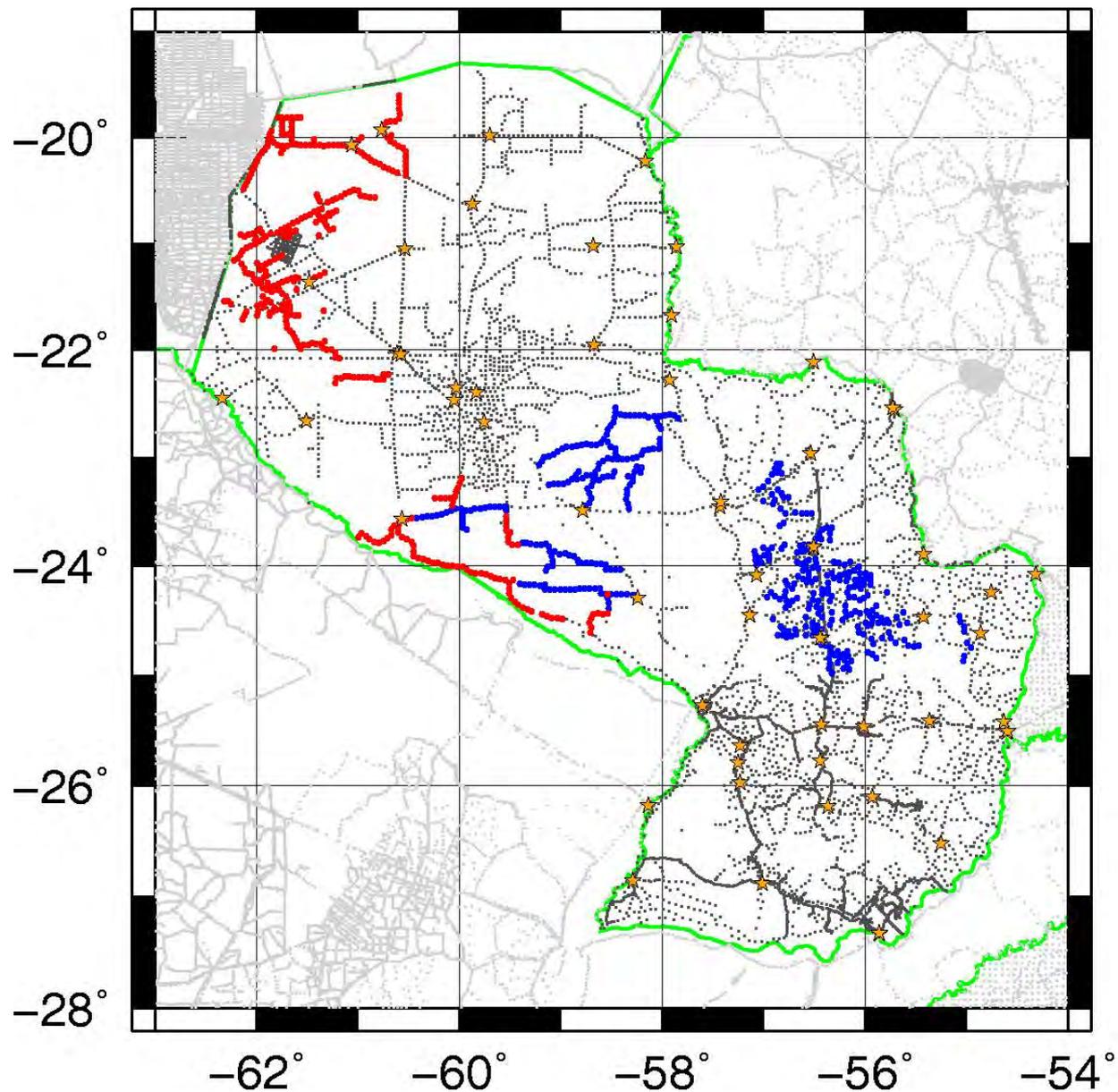
● SAGS2010-2011

● SAGS2011-2012

★ Red Fundamental de  
Gravedad

771 nuevas estaciones de  
gravedad

Observaciones gravedad  
absoluta serán llevadas a  
cabo en el futuro.



# ESFUERZO RECIENTE Venezuela

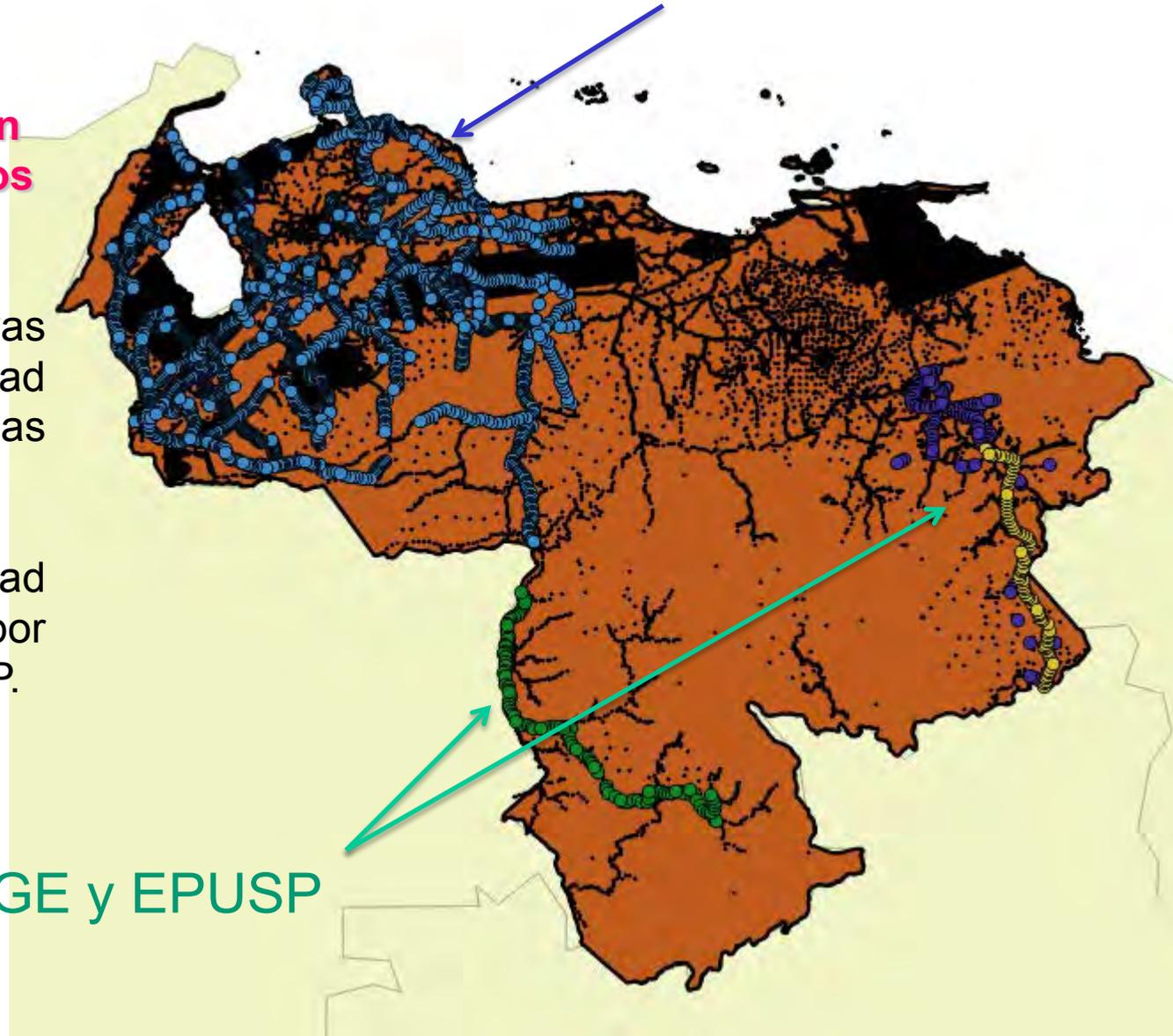
IGVSB (Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar)

**Red de densificación  
en las carreteras / ríos  
en el Sur.**

Un total de 2.804 nuevas  
estaciones de gravedad  
han sido medidas  
recientemente.

Datos de gravedad  
fueron observados por  
IGVSB, IBGE y EPUSP.

IGVSB, IBGE y EPUSP



# IGVSB (Instituto Geográfico Venezolano Simon Bolivar)

## ESFUERZO RECIENTE - Venezuela Equipo de trabajo de campo





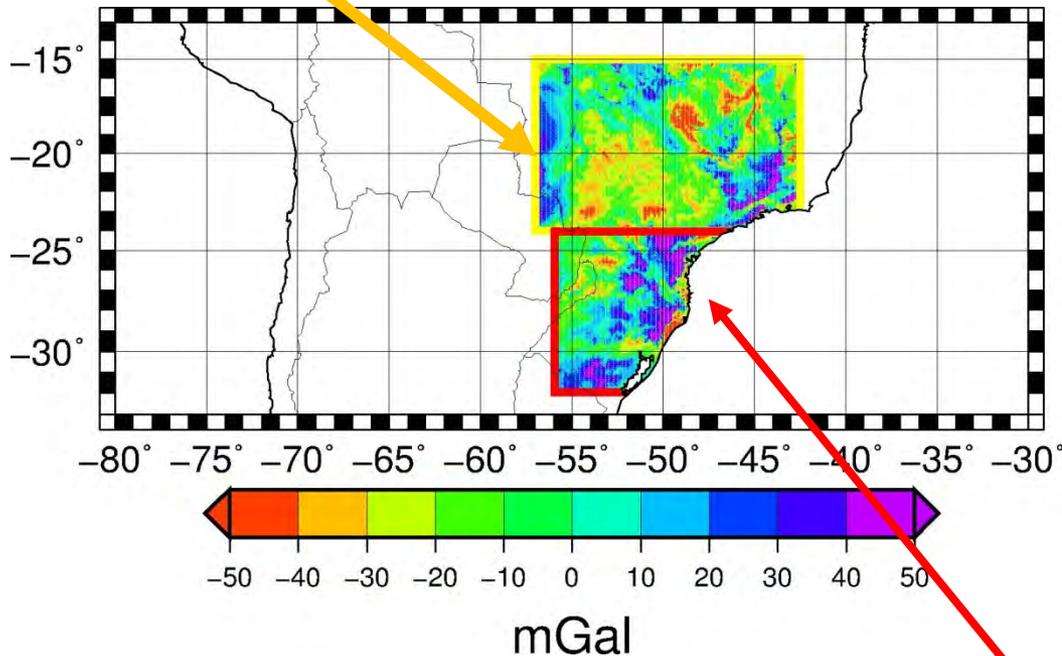
# El modelo de geoide GEOID2015

- El modelo fue basado en **EIGEN-6c4\*** 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.

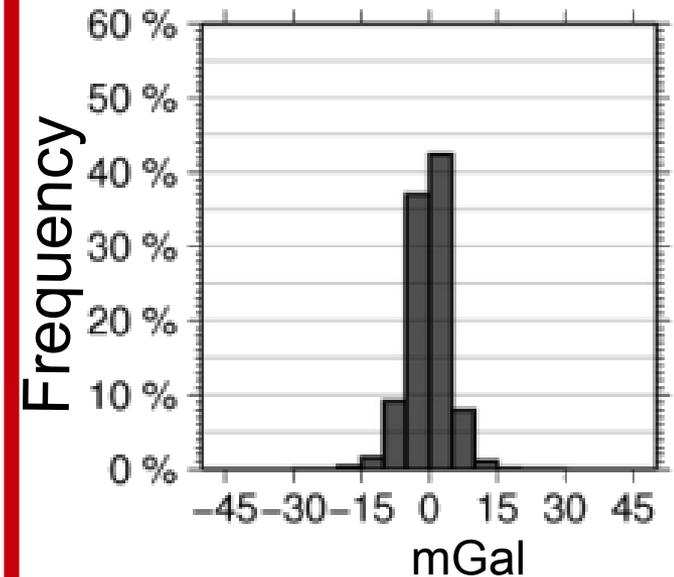
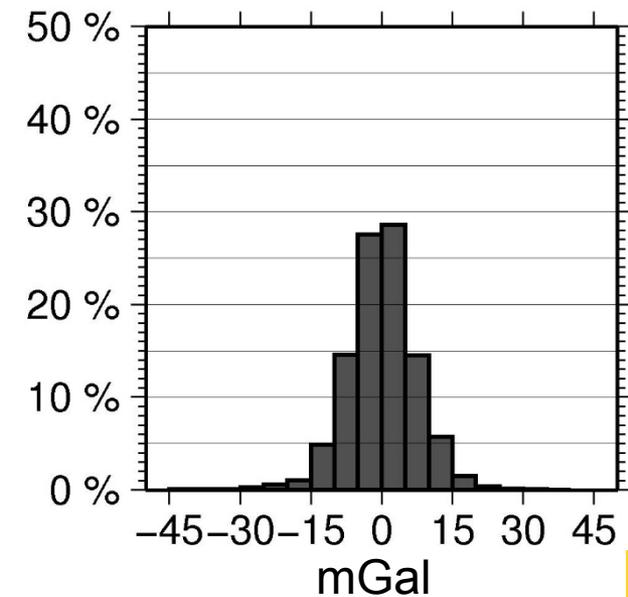
# Red neuronal

## Anomalía de Helmert

18.691 puntos para la estimación, 4.627 puntos utilizados para la validación, en un total de 23.363.



16.686 puntos para la estimación, 4.171 puntos utilizados para la validación, por un total de 20.857.



**Modelo geoidal  
(cuasi-geoide)  
en América del Sur**

**GEOID2015**

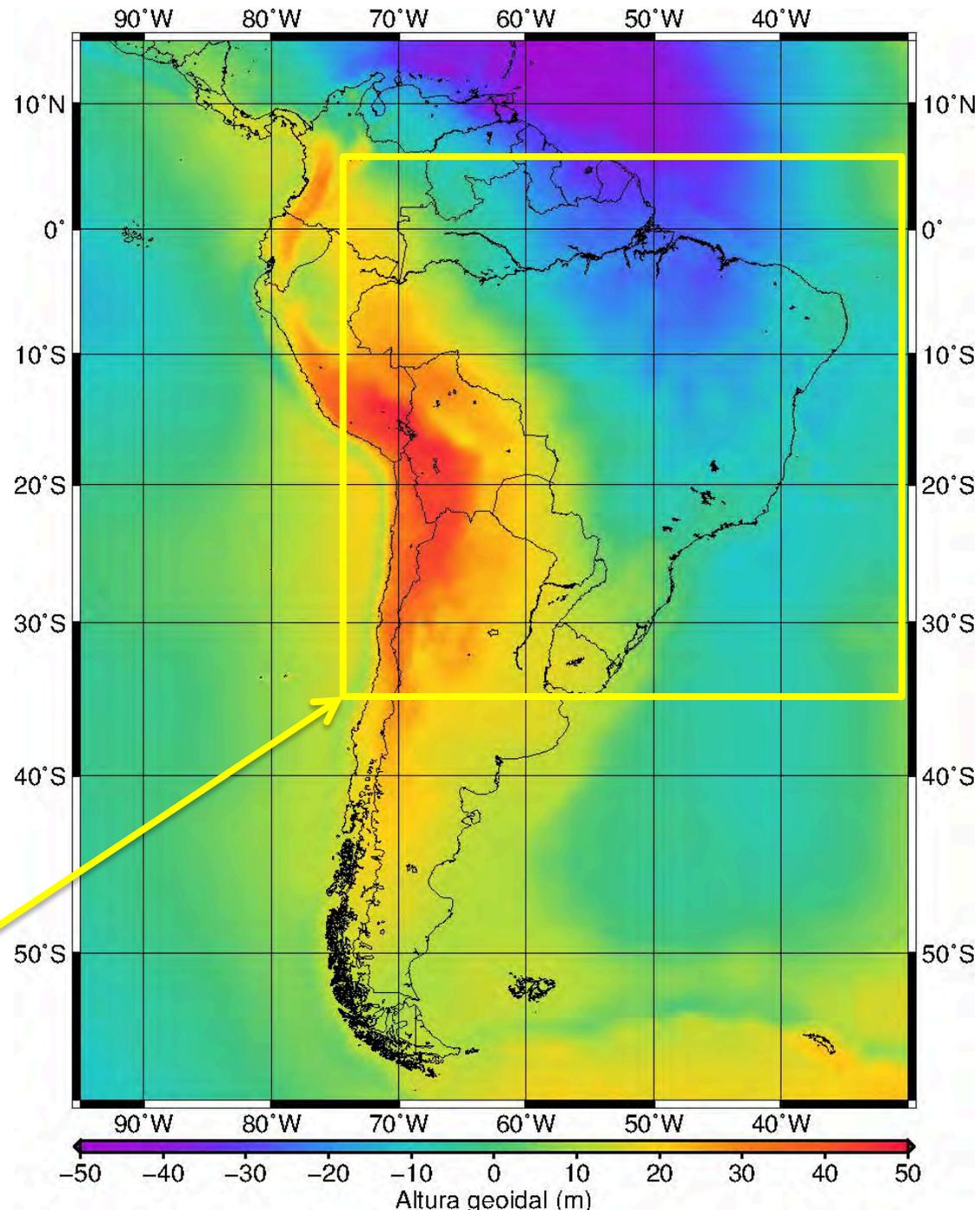
**Dimensión de la red  
5' x 5'**

15° N y 57° S  
en latitude

95° W y 30° W  
en longitude

International Service for the  
Geoid (ISG)

**MAPGEO2015**



# El análisis estadístico de **1.319** GNSS/nivelación en América del Sur

	<b>EGM2008 (2190)</b>	<b>EIGEN-6C4 (2190)</b>	<b>DIR_R5 (300)</b>	<b>GEOID2015</b>	<b>GEOID2015 Sin grau- cero</b>
<b>Mean</b>	0.11	0.09	0.09	0.23	-0.18
<b>RMS diff</b>	0.40	0.34	0.50	0.46	0.49
<b>Max.</b>	2.51	2.57	3.00	2.30	1.86
<b>Min.</b>	-3.01	-3.31	-2.63	-2.52	-2.97

**EIGEN-6C4** presenta un mejor resultado.

En **GEOID2015** y **MGGs** fue agregado un **termo de grau-cero de -41cm.**

## Diferencia RMS entre alturas geoidales de puntos GNSS /Niv y anomalías de altura de los MGGs (grado máximo) para cada país en metros.

País (Número de puntos GNSS/RN)	<b>EGM2008 (2190)</b>	<b>EIGEN-6C4 (2190)</b>	<b>DIR_R5 (300)</b>	<b>GEOID2015</b>	<b>GEOID2015 Sin grau-cero</b>
<b>Argentina (296)</b>	<b>0.32</b>	0.32	0.36	0.60	<b>0.29</b>
<b>Brazil (592)</b>	0.27	0.19	0.30	<b>0.17</b>	0.44
<b>Chile (173)</b>	0.63	0.62	0.72	0.77	<b>0.57</b>
<b>Ecuador (60)</b>	0.74	<b>0.66</b>	0.97	1,17	0.87
<b>Uruguay (11)</b>	<b>0.55</b>	0.57	0.58	0.65	0.56
<b>Venezuela (187)</b>	<b>0.43</b>	<b>0.43</b>	0.69	0.47	0.64

**EIGEN-6C4** y **EGM2008** muestran resultados similares en Argentina e Venezuela.

**EIGEN-6C4** muestra mejores resultados en Chile y Ecuador

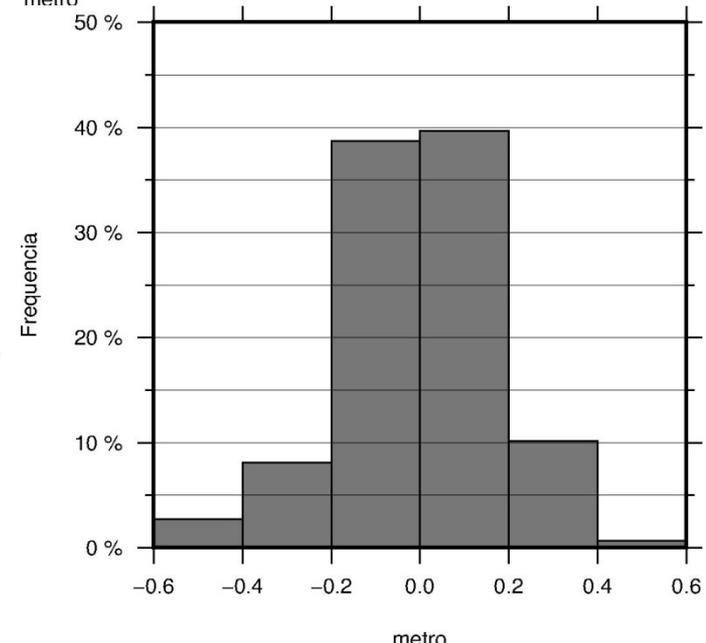
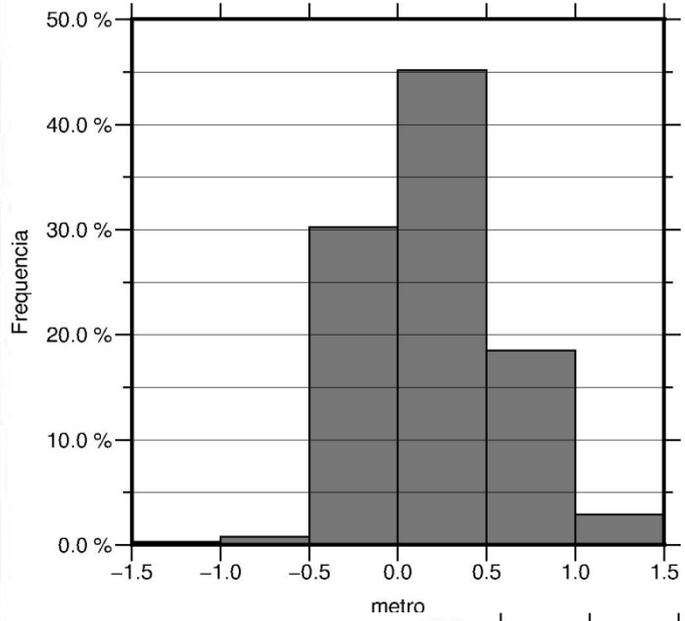
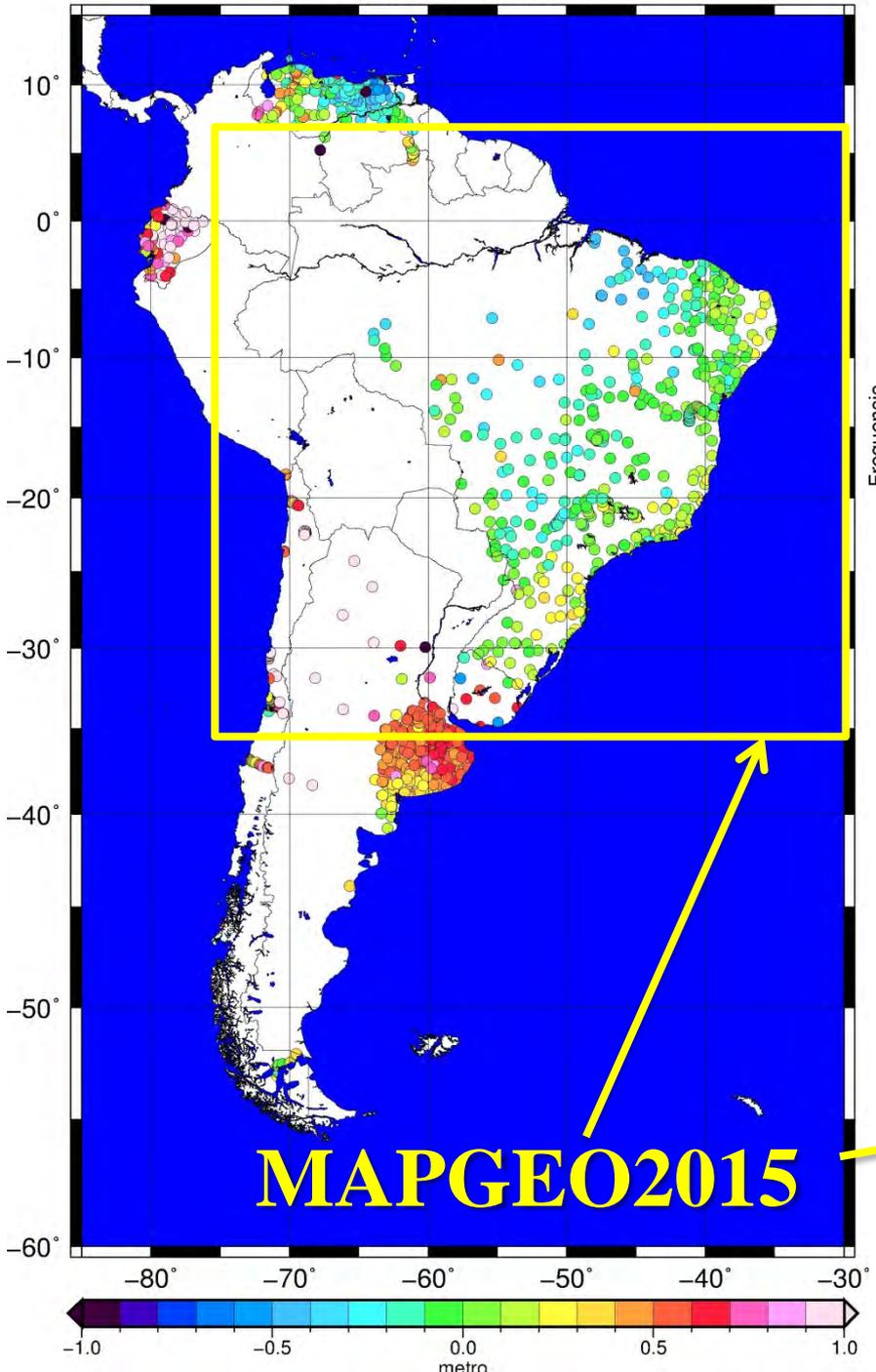
El **GEOID2015** muestra los mejores resultados para Brasil.

En **GEOID2015** y **MGGs** fue agregado un **termo de grau-cero de -41cm.**

**PROBLEMA:** diferencias entre los diferentes sistemas de altura de los países estudiados.

$\Delta N(\text{GNSS}/\text{NIV} - \text{GEOID2015})$

# El análisis estadístico de 1.319 GNSS/NIV ubicado en América del Sur GEOID2015 - EIGEN-6C4 (200)



# CONCLUSIÓN – GEOID2015

- ❖ A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años, por las diferentes organizaciones, universidades e institutos de investigación para llenar las áreas sin datos de gravedad terrestre, todavía hay grandes vacíos.
- ❖ Las alturas del geoide asociados con GNSS/NIV tienen su inexactitud debido al error del espíritu de nivelación geométrica, así como del GNSS. Sin embargo, la comparación es muy útil para cuidar la coherencia entre las dos alturas.
- ❖ Se espera que los estudios de nueva gravimetría y GPD/NIV en Estado de Amapá (Brasil) para 2015/2016. Acuerdo entre el gobierno del estado de Amapá, IBGE, LTG ya está establecido.

# Gravedad absoluta

El proyecto en Brasil, Argentina y Venezuela con la coordinación de EPUSP/LTG y CENEGEO (Centro de Estudios de Geodesia) para establecer la red absoluta

Soporte:

**IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) en Brasil**

**IGN (Instituto Geográfico Nacional) en Argentina**

**IGVSB (Instituto Geográfico Venezolano Simon Bolivar) em Venezuela**



# Gravímetro absoluto Micro-g LaCoste A-10/32



Observatório Astronómico  
Valinhos – SP

El gravímetro absoluto A-10 está trabajando en Brasil, Argentina y Venezuela para establecer puntos fundamentales de gravedad con gran precisión.

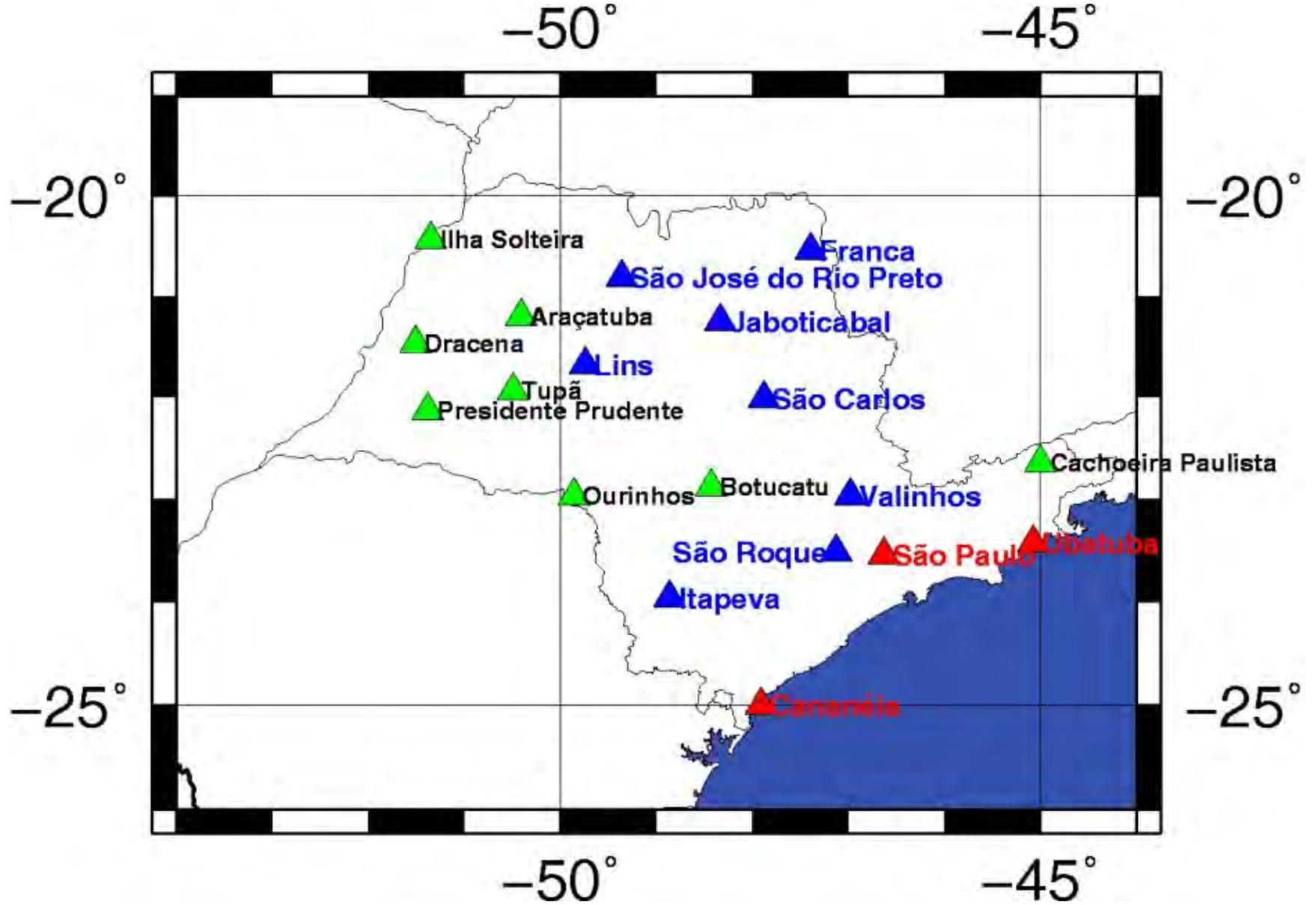
También se utiliza para controlar la deriva de la gPhone cuando necesario.

# Gravedad absoluta – Vehículo usado



# Gravedad absoluta – Interior del vehículo





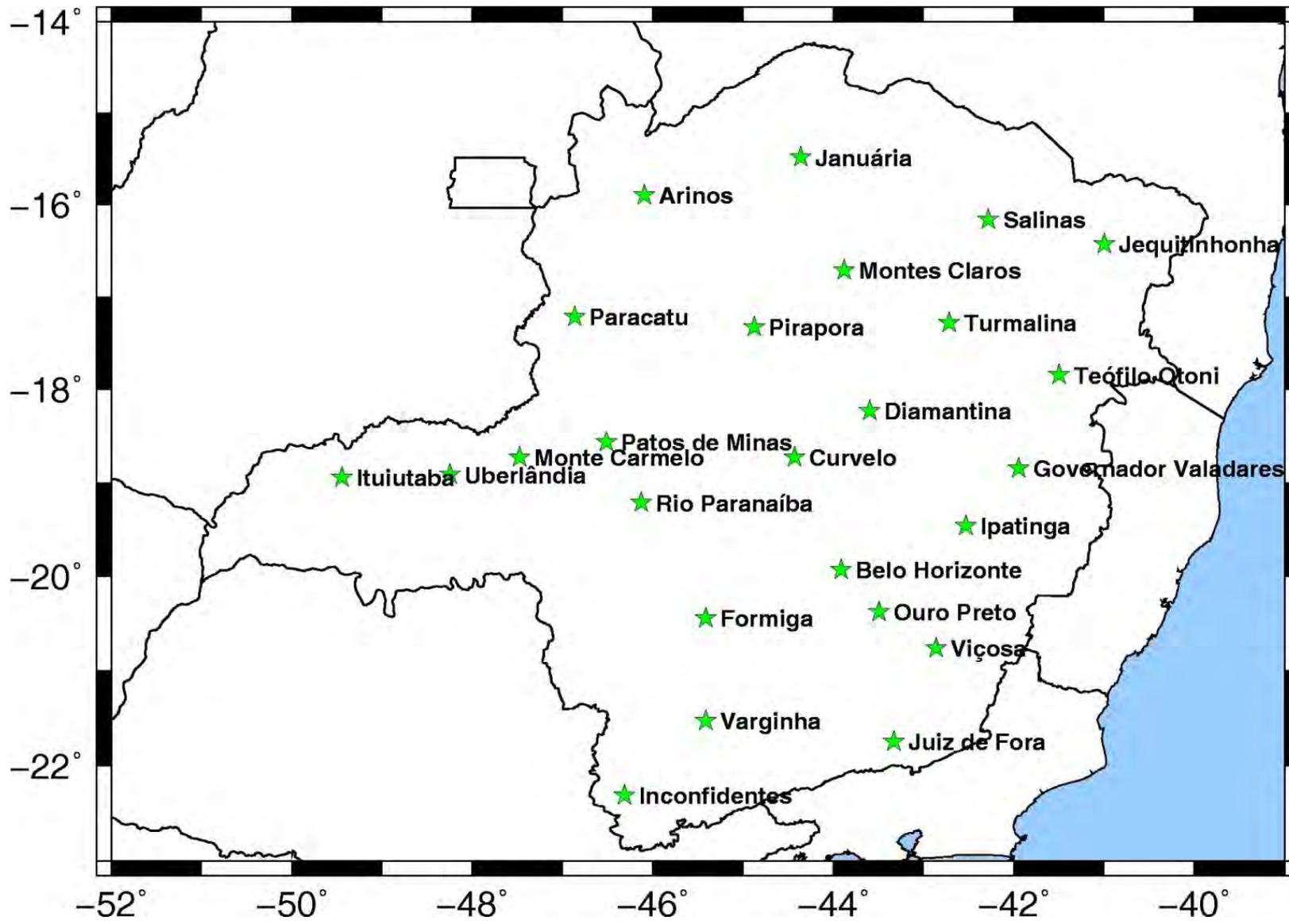
**Re observación (3)**

**Nuevas estaciones (8)**

**Futuro (8)**

# Red absoluta en Minas Gerais

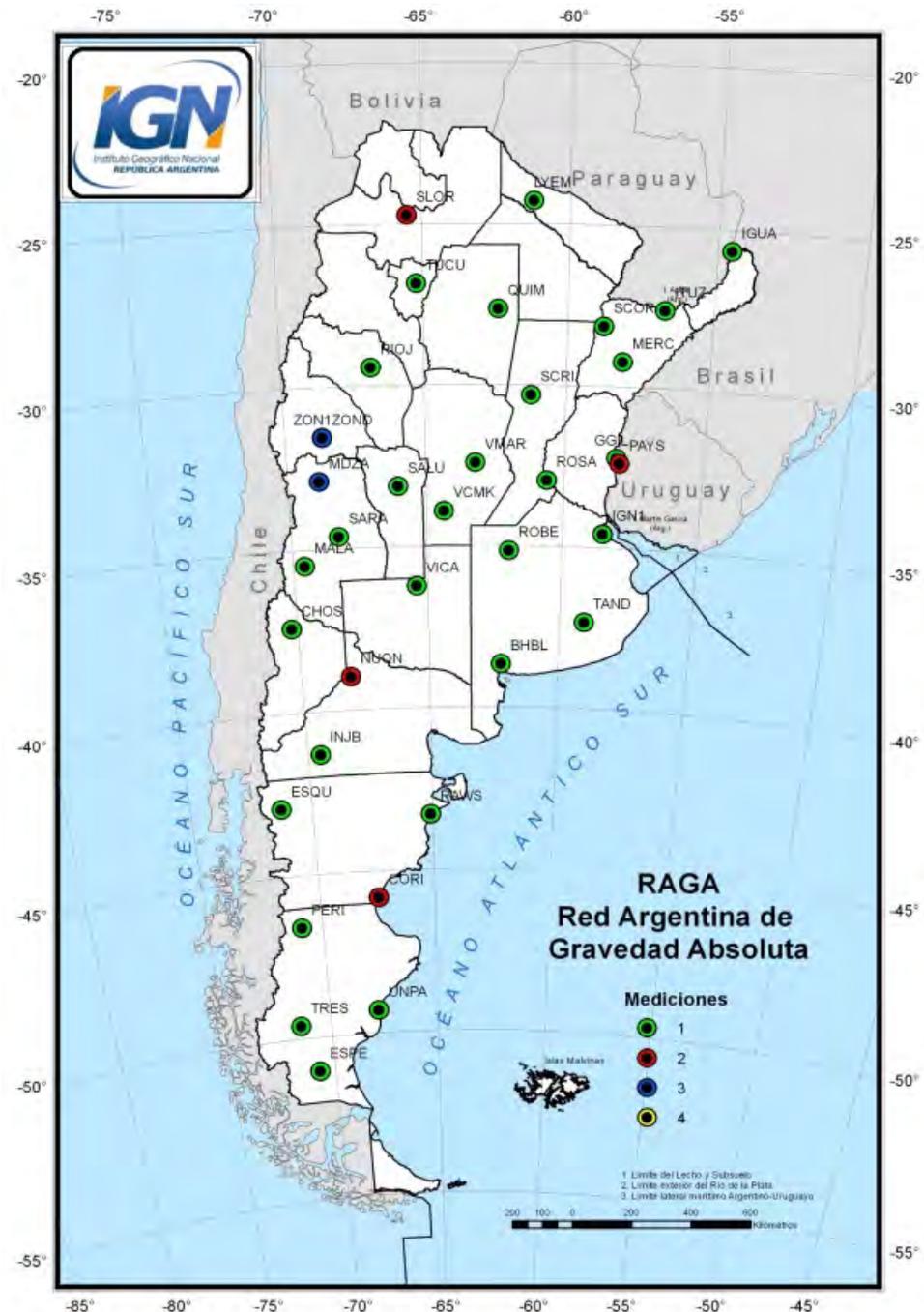
Está previsto un total de 25 puntos



## 2. IGN (Instituto Geográfico Nacional) proyecto en Argentina

2 campañas:  
Norte (17 puntos)  
Sur (15 puntos)

Una red de gravedad absoluta (RAGA) se establecieron en dos campañas diferentes en **2013 y 2014**. El total de 35 estaciones fueran observadas con el **A-10 (32)**. Parte de las estaciones fue una contribución de **BGI**.



# IGVSB (Instituto Geográfico Venezuelano Simon Bolivar)

## Proyecto de mediciones absolutas

Está previsto un total de 10 puntos que se establecerá en dos campañas.

En el momento en que un primer esfuerzo está en marcha.



# Modelo de marea terrestre

**Un proyecto en Brasil  
coordinado por  
EPUSP / LTG y CENEGEO  
(Centro de Estudios de  
Geodesia) para establecer un  
modelo de marea de la Tierra**

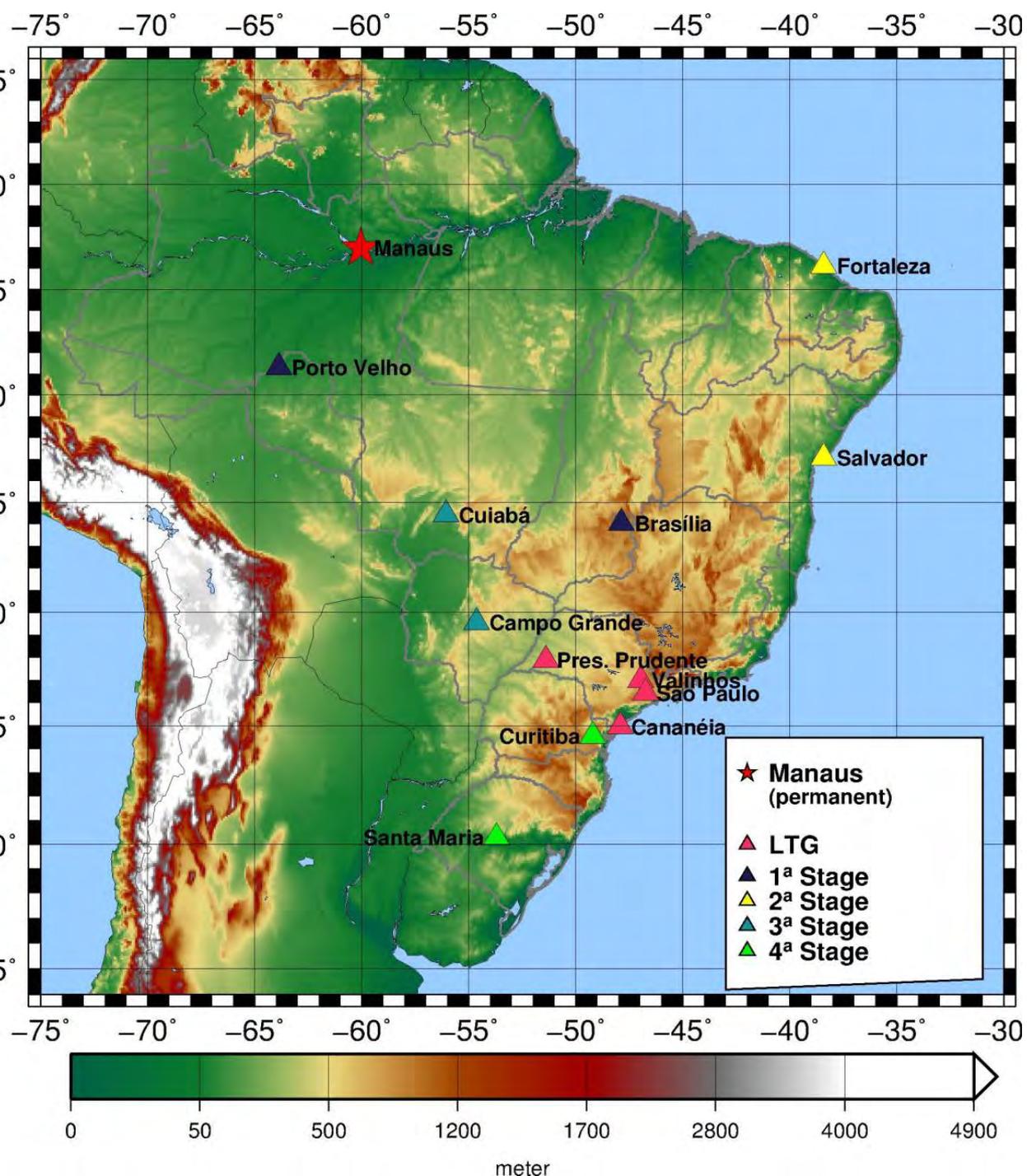


Soporte:  
GEORADAR Levantamentos Geofísicos S.A.



# gPhone Micro-g LaCoste 105 – Presidente Prudente - UNESP





2012 – São Paulo y Valinhos

2013/2014 – Presidente Prudente y Cananeia

2014/2015 - Porto Velho

2015 - **Manaus** (CENSIPAM)

2016 – Brasília

**Estamos utilizando programas de computadora TSoft y ETERNA para la preparación de los datos y para el análisis de las mareas.**

Los proyectos proporcionarán información para las mejoras de los modelos de geoide.

Permitirán transformar altura geodésica, obtenidos en las investigaciones con Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS), en altura ortométrica con el mismo nivel de precisión de la determinación geodésica.

# Agradecimientos

Los autores agradecen:

- Prof. Dr. Arthur Ellmann (Universidad Tecnológica de Tallinn), el Prof. Dr. Peter Vanicek Dr. y Prof. Marcelo Carvalho dos Santos (Universidad de New Brunswick) para enseñar el uso del paquete informático SHGEO.
- Fundación del Estado de São Paulo (FAPESP) por el soporte al proyecto temático;
- GETECH (Ian Somerton), NGA (Steve Kenyon);
- Las organizaciones civiles y militares en América del Sur (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Uruguay y Venezuela) por los inestimables esfuerzos para la Cooperación;
- GEORADAR Levantamentos Geofísicos S.A;
- Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC).