



# Determinación de alturas de las tres principales cumbres ecuatorianas mediante posicionamiento GNSS referidas al datum vertical oficial del Ecuador y dentro del marco de referencia SIRGAS-CON

María José Merizalde<sup>1</sup>, César Leiva<sup>1</sup>, Dennys Enríquez<sup>2</sup>

mjmerizalde@espe.edu.ec, caleiva@espe.edu.ec, dennys.enriquez@geograficomilitar.gob.ec

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción. Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Quito-Ecuador

<sup>2</sup> Instituto Geográfico Militar. Departamento de Geodesia. Quito-Ecuador



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Instituto  
Geográfico  
Militar

# ÁREA DE ESTUDIO

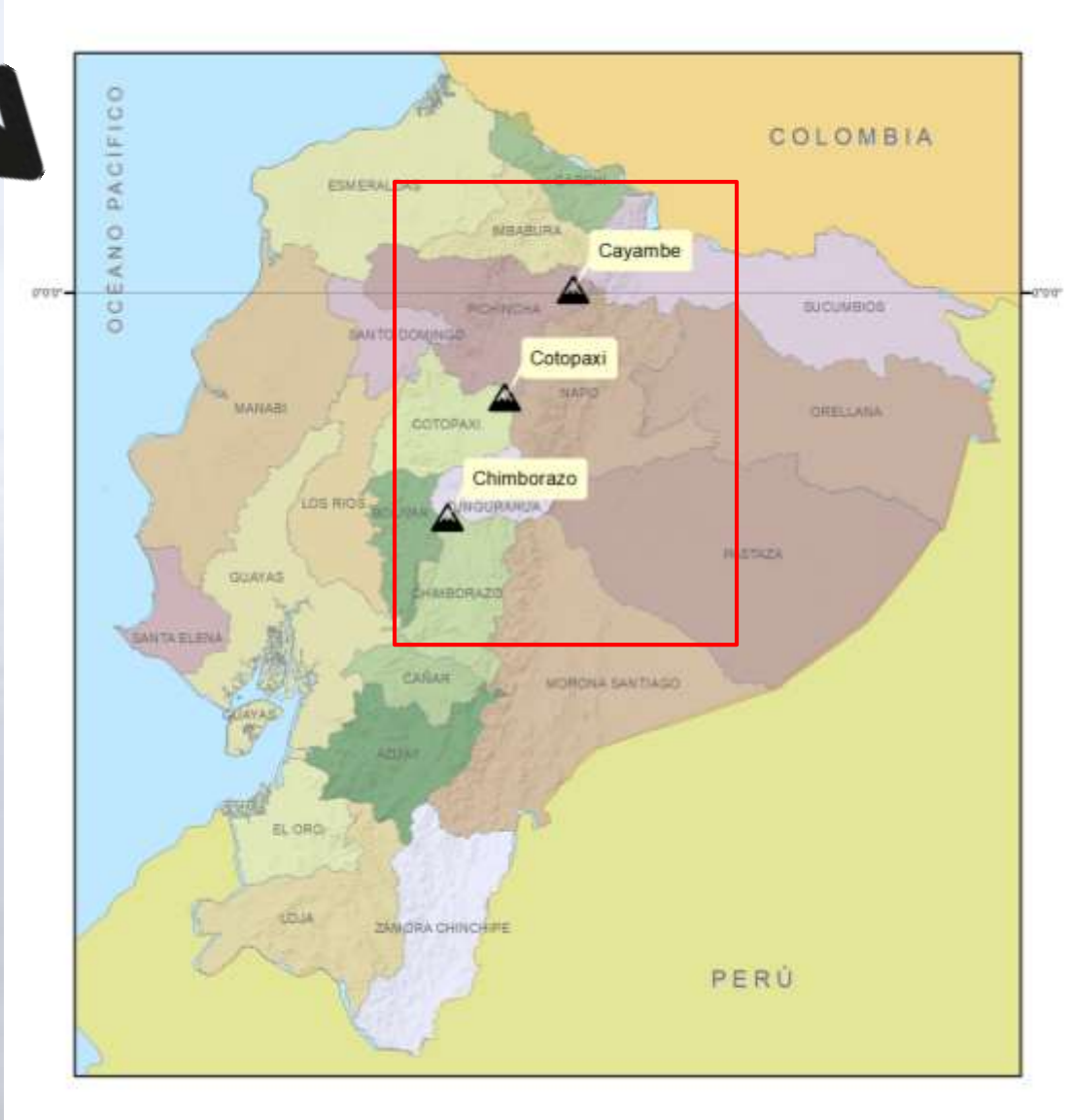
## Situación geográfica del Ecuador



Zona ecuatorial

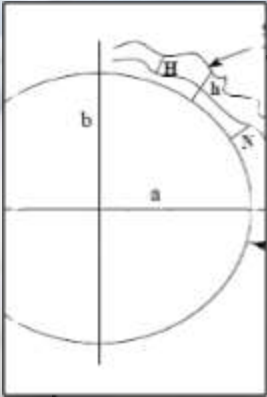


Cordillera de los Andes

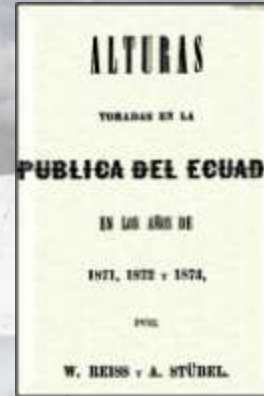




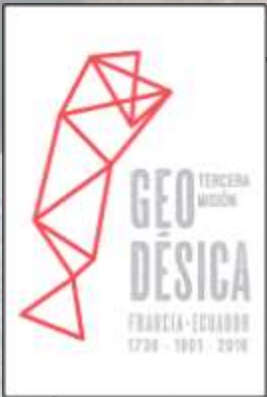
# Introducción



En Ecuador, el plano de referencia oficial de las alturas es el nivel medio del mar cuyo origen está ubicado en el mareógrafo de La Libertad.



Determinación de alturas de las principales montañas del Ecuador en 1870-1873 por W. Reiss y A. Stübel, mediante métodos trigonométricos. Wilhelm Reiss fue miembro de la Expedición Alemana a las montañas del Ecuador apoyada por García Moreno.



III Misión Geodésica Francesa-Ecuatoriana en el 2016 determina la distancia desde el centro de la Tierra del volcán Chimborazo, el cual corresponde al punto más cercano al sol.



La determinación de alturas referidas al nivel medio del mar, usualmente se lo realiza mediante técnicas convencionales como Nivelación Geométrica o Trigonométrica. Recientes estudios demostraron la factible aplicación de Nivelación GPS en el país, alcanzando errores permisibles para el tipo de cartografía que se maneja (Enríquez et al., 2019)

# Problema



Necesidad de obtener valores precisos mediante métodos directos como la NIVELACIÓN GPS



La cartografía oficial en el país tiene valores de alturas obtenidos mediante técnicas de restitución fotogramétrica



Determinación de las alturas de los principales accidentes geográficos del Ecuador se han realizado bajo métodos indirectos (excepto volcán Chimborazo)

# Objetivos



**Objetivo General:** Determinar las alturas de las tres principales cumbres del país (Chimborazo, Cotopaxi y Cayambe) mediante posicionamiento GNSS, referidas al datum vertical oficial del Ecuador



- Realizar el posicionamiento GNSS de las tres principales cumbres ecuatorianas para determinar sus coordenadas geodésicas



- Realizar el posicionamiento GNSS en las placas de control Básico Vertical cercanas, enlazadas a la Red Geodésica Nacional (REGME),



- Determinación de alturas de las principales cumbres ecuatorianas referidas al nivel medio del mar mediante nivelación GPS.



- Diferencia entre la cartografía nacional y las alturas de las tres elevaciones mediante nivelación GPS



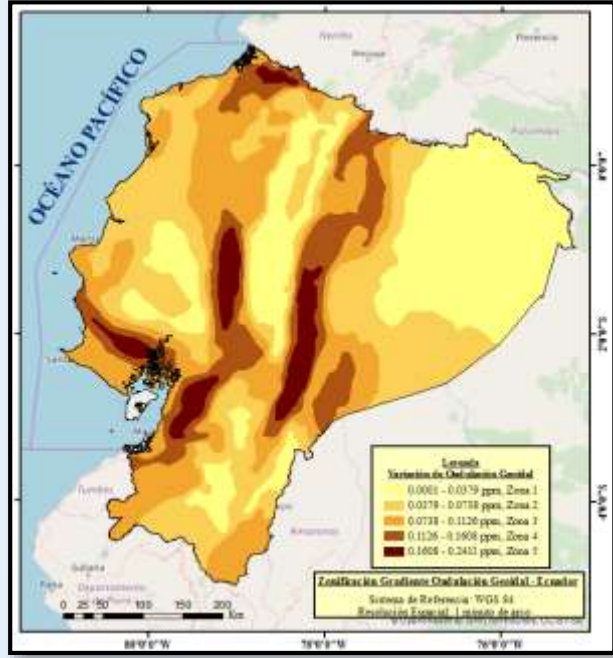
# Metodología



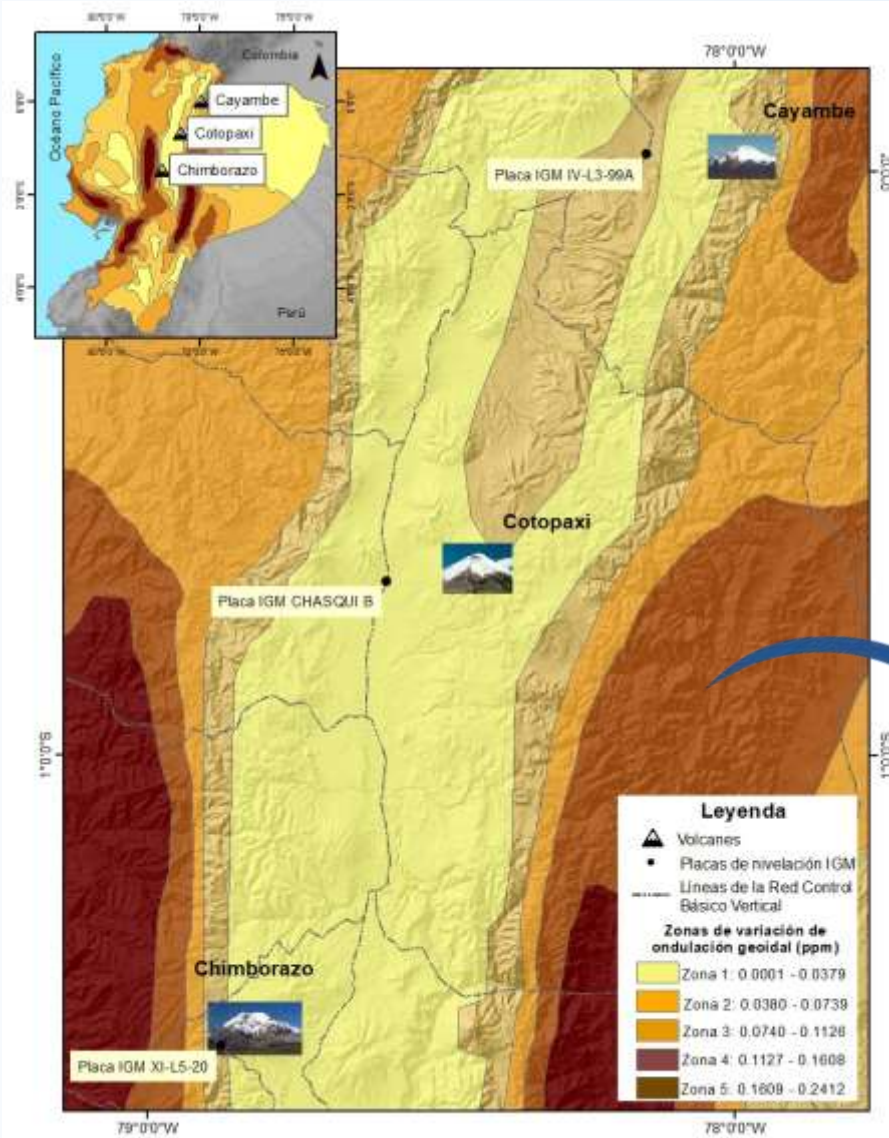
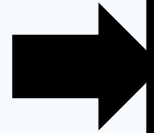
# Antecedentes

Según el trabajo denominado "VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE NIVELACIÓN GPS EN EL ECUADOR CONTINENTAL, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE ONDULACIÓN GEOIDAL" se estableció la planificación del trabajo.

Las consideraciones son las siguientes:



Las zonas de variación de la ondulación geoidal en el Ecuador continental se muestran según la variación del modelo EGMO8



# Planificación de trabajo

De acuerdo a los datos requeridos para aplicar nivelación GPS, es necesario tener puntos nivelados cercanos al punto a determinar su altura.



La aplicabilidad de este método en el Ecuador, en función de la ondulación geoidal con el modelo EGMO8, determinando los errores típicos por distancia:

Zona de variación	Errores			Distancias (km)
	5 (cm)	10 (cm)	15 (cm)	
1	10.4	13.7	14.6	
2	7.8	11.2	13.8	
3	6.9	10.1	12.0	
4	5.1	7.3	10.1	
5	3.8	6.8	8.9	

Volcán	Placa de nivelación	Zona de variación	Distancia
Cotopaxi	CHASQUI B	1	17 km
Cayambe	IV-L3-99A	1	17 km
Chimborazo	XI-L5-20	1	7 km



# Posicionamiento GNSS en cumbres VOLCÁN COTOPAXI 28 abril 2019

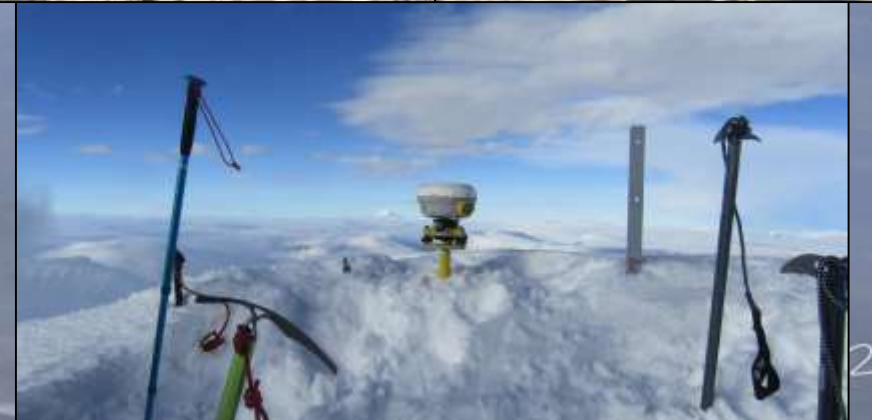
Punto	Hora Inicio	Hora Fin	Satélites
Refugio Cotopaxi "José Ribas"	00h23	10h30	GPS GLONASS

## Equipos:

- 2 antenas GPSTRIMBLE R4  
Doble frecuencia
- 1 trípode
- 2 bases nivelantes

**Método Estático (Refugio)**  
**Método Estático rápido (Cumbre)**

Punto	Hora Inicio	Hora Fin	Satélites
Cumbre volcán Cotopaxi	06h34	07h49	GPS GLONASS



2018



# Posicionamiento GNSS en cumbres VOLCÁN CAYAMBE

08 junio 2019

Punto	Hora Inicio	Hora Fin	Satélites
Refugio Cayambe "Ruales Berge" Oleas	00h28	11h10	GPS GLONASS

## Equipos:

- 2 antenas GPS TRIMBLE R4  
Doble frecuencia
- 1 trípode
- 2 bases nivelantes

**Método Estático (Refugio)**  
**Método Estático rápido (Cumbre)**

Punto	Hora Inicio	Hora Fin	Satélites
Cumbre volcán Cayambe	06h35	07h28	GPS GLONASS



# Posicionamiento GNSS en cumbres VOLCÁN CHIMBORAZO

11-12 julio 2019

Punto	Hora Inicio	Hora Fin	Satélites
Refugio Chimborazo "Hermanos Carrel"	21h24 (11 de julio)	13h06 (12 de julio)	GPS GLONASS

## Equipos:

- 2 antenas GPSTRIMBLE R4  
Doble frecuencia
- 1 trípode
- 2 bases nivelantes

**Método Estático (Refugio)**  
**Método Estático rápido (Cumbre)**

Punto	Hora Inicio	Hora Fin	Satélites
Cumbre Chimborazo	06h24	07h26	GPS GLONASS





# Posicionamiento GNSS en placas de nivelación

Placa / Volcán	Fecha	Hora Inicio	Hora Fin	Intervalo Registro	Satélites
CHASQUI B Cotopaxi	17 agosto	11h06	12h10	5 s	GPS GLONASS



Placa / Volcán	Fecha	Hora Inicio	Hora Fin	Intervalo Registro	Satélites
IV-L3-99A Cayambe	7 agosto	13h04	15h05	5 s	GPS GLONASS



Placa / Volcán	Fecha	Hora Inicio	Hora Fin	Intervalo Registro	Satélites
XI-L5-20 Chimborazo	12 julio	12h08	13h06	5 s	GPS GLONASS



# Procesamiento de datos

El proyecto fue configurado bajo las siguientes condiciones:

- Proyección: UTM Zona 17 S
- Máscara de elevación: 15°
- Intervalo de procesamiento: 5 s
- Tipo de efeméride: precisa
- Satélites: GPS, GLONASS

Procesamiento  
Refugios-Estaciones de  
Monitoreo Continuo

Procesamiento  
Refugios-Cumbres

Procesamiento  
Refugios-Placas de  
nivelación

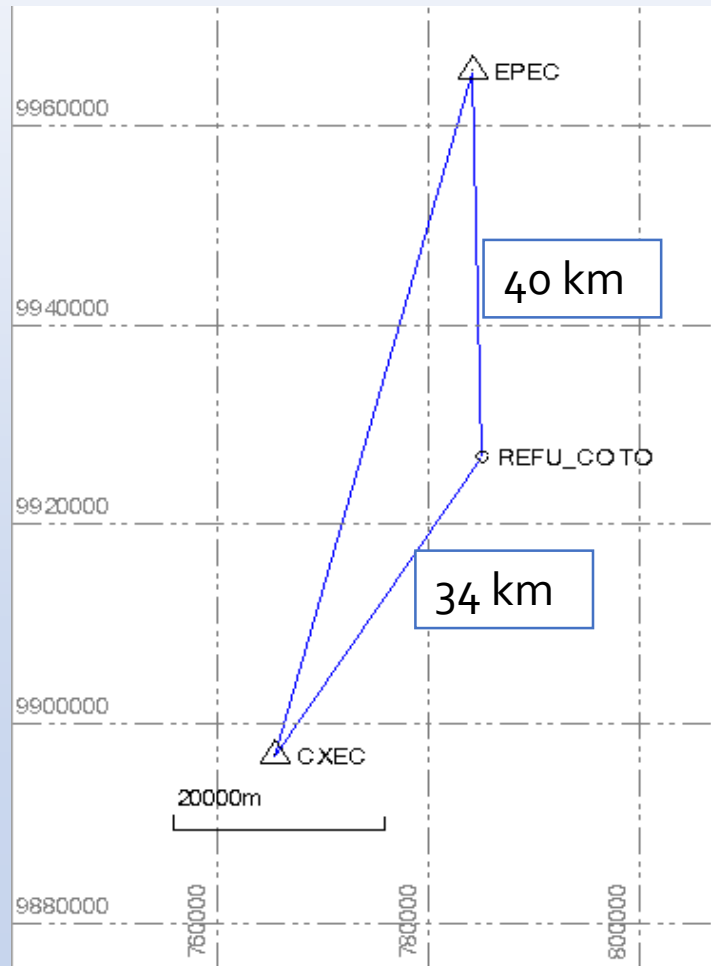


# VOLCÁN COTOPAXI

Punto	Coordenadas			Error		
	Este	Norte	Alt. Elipsoidal	$\sigma E$ (m)	$\sigma N$ (m)	$\sigma h$ (m)
REFUGIO	785128.1439	9926556.5890	4884.6563	0.003	0.003	0.011
CXEC	765451.1479	9896539.8281	2808.4937	-	-	-
EPEC	784250.7904	9965160.3867	2522.9757	-	-	-

# Resultados Procesamiento Refugios

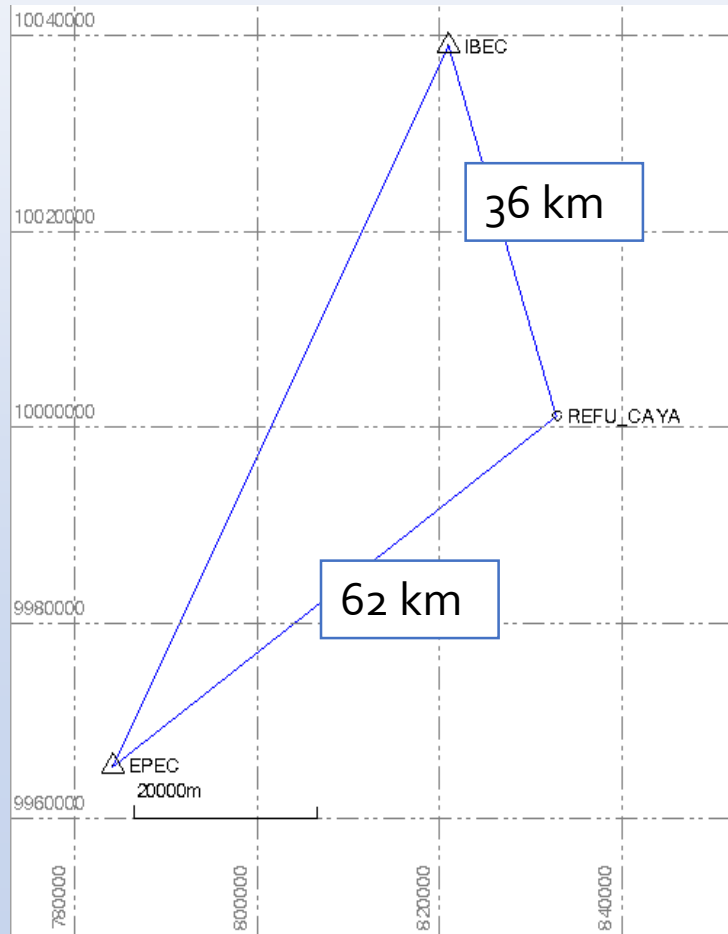
Se enlazó a dos EMC más cercanas a cada refugio



Estaciones de  
Monitoreo  
Continuo  
forman parte  
de la  
RED  
SIRGAS- CON

# VOLCÁN CAYAMBE

Punto	Coordenadas			Error		
	Este	Norte	Alt. Elipsoidal	$\sigma E$ (m)	$\sigma N$ (m)	$\sigma h$ (m)
REFU_CAYA	832898.2055	10000939.2204	4647.4776	0.002	0.002	0.007
IBEC	821082.4595	10038752.3857	2246.1876	-	-	-
EPEC	784250.7873	9965160.3867	2522.9718	-	-	-



# Resultados Procesamiento Refugios

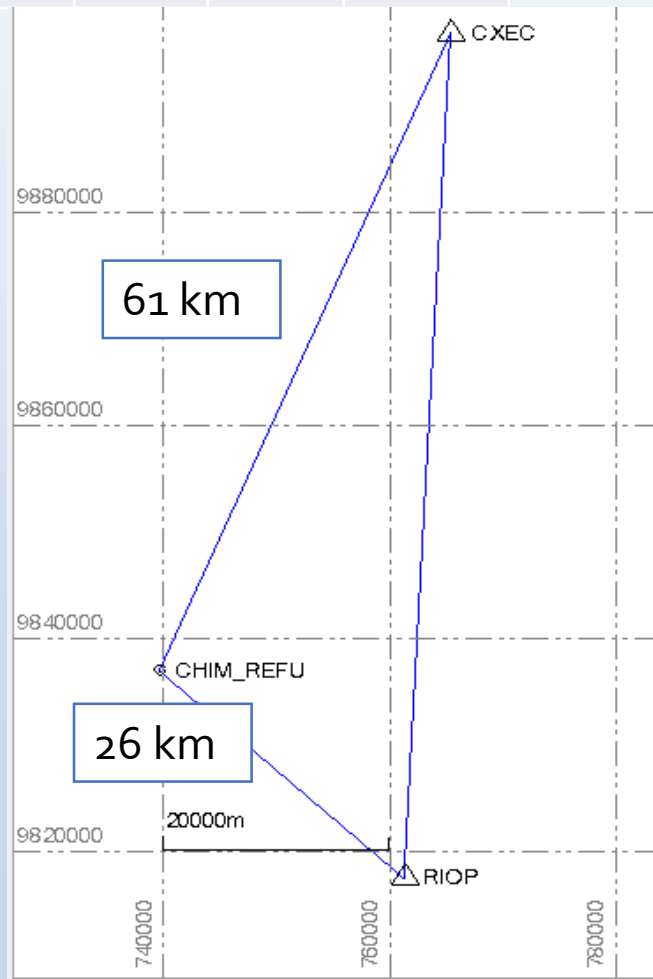
Se enlazó a dos EMC más cercanas a cada refugio

Estaciones de Monitoreo Continuo forman parte de la RED SIRGAS- CON



# VOLCÁN CHIMBORAZO

Punto	Coordenadas			Error		
	Este	Norte	Alt. Elipsoidal	$\sigma E$ (m)	$\sigma N$ (m)	$\sigma h$ (m)
CHIM_REFU	739675.8901	9836854.8716	4873.6360	0.003	0.003	0.007
CXEC	765451.1448	9896539.8312	2808.4938	-	-	-
RIOP	761338.8162	9817404.8452	2817.1704	-	-	-



# Resultados Procesamiento Refugios

Se enlazó a dos EMC más cercanas a cada refugio

Estaciones de Monitoreo Continuo forman parte de la RED SIRGAS- CON

# Resultados

## Procesamiento Cumbres

Cumbres	Coordenadas			Error		
	Este	Norte	Alt. Elipsoidal	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)
Cotopaxi	785194.333	9924705.67	5920.5575	0.002	0.001	0.01
Cayambe	835201.212	10002792.7	5823.142	0.002	0.002	0.005
Chimborazo	742820.378	9837544.69	6295.4363	0.001	0.001	0.008

## Procesamiento Placas de nivelación

Placa2	Coordenadas			Error		
	Este	Norte	Alt. Elipsoidal	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)
CHASQUI B						
Cotopaxi	767922.7663	9922396.1767	3154.7603	0.003	0.002	0.021
IV-L3-99A Cayambe	817331.401	10003440.1639	2811.3345	0.002	0.002	0.013
XI-L5-20 Chimborazo	736493.8243	9834171.3943	4373.9226	0.002	0.002	0.004

# Aplicación de la nivelación GPS

$$H_P^n = H_Q^n + (h_P - h_Q) - (\eta_P - \eta_Q)$$

Donde:

$H_Q^n$ : altura nivelada del punto Q

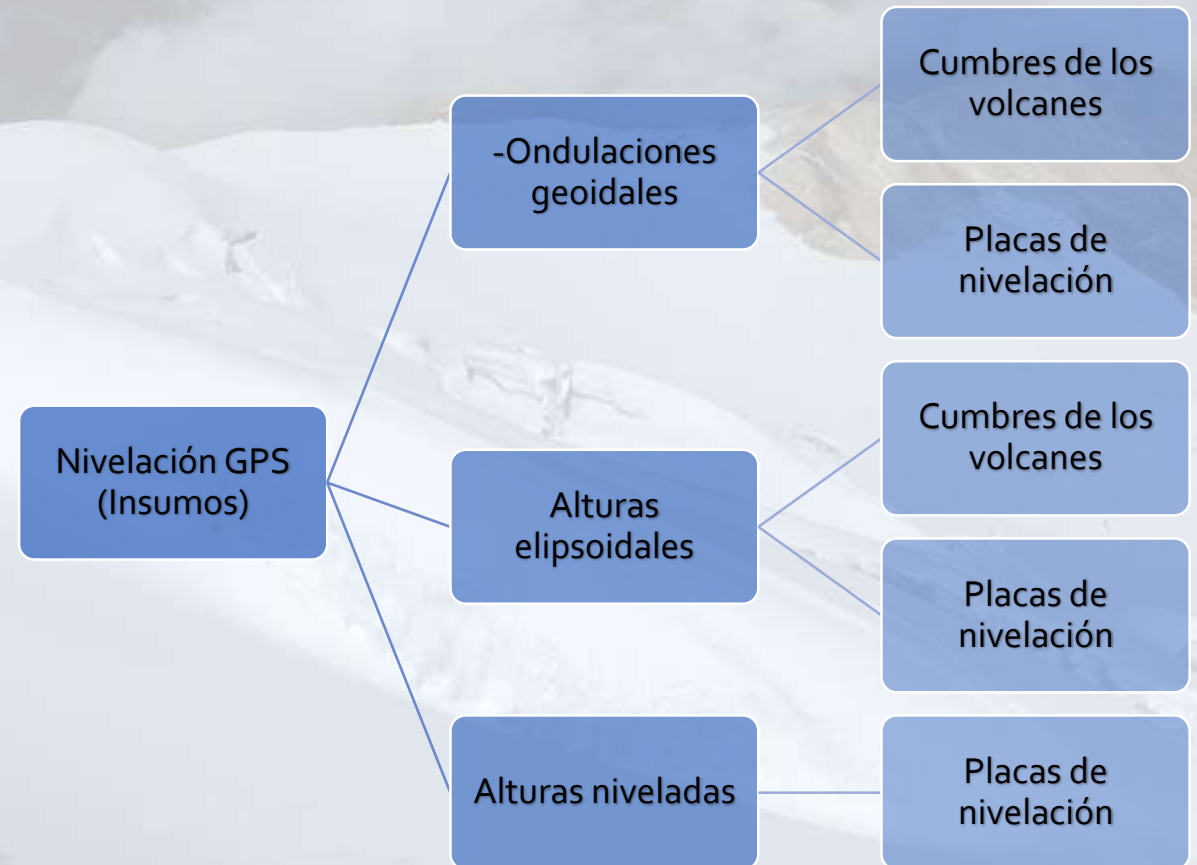
$\eta_Q$ : ondulación geoidal del punto Q

$h_Q$ : altura elipsoidal del punto Q

$H_P^n$ : altura nivelada del punto P

$\eta_P$ : ondulación geoidal del punto P

$h_P$ : altura elipsoidal del punto P





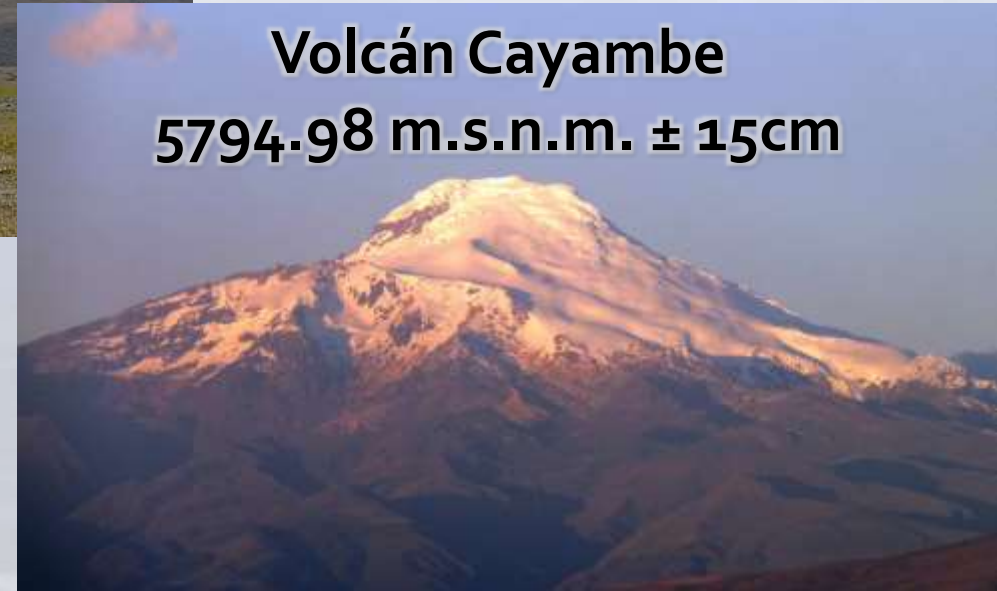
**Volcán Chimborazo**  
**6267.25 m.s.n.m. ± 5cm**



**Volcán Cotopaxi**  
**5892.24 m.s.n.m. ± 15cm**



**Volcán Cayambe**  
**5794.98 m.s.n.m. ± 15cm**



# Resultados

# Comparación de resultados con cartografía oficial del Ecuador

## Datos de alturas

Volcán	Alturas niveladas (con NIV GPS) 2019 (m)	Alturas Cartografía oficial del Ecuador (m)	Diferencia (m)
Chimborazo	6267.254	6310	-42.746
Cotopaxi	5892.2472	5897	-4.7528
Cayambe	5794.9822	5790	4.9822

### Volcán Chimborazo

Expediciones de W. Reiss y A. Stubel 1870-1873, mediante métodos trigonométricos.



### Volcán Cotopaxi

IGM 1993. Métodos estereofotogramétricos



### Volcán Cayambe

IGM 1999. Métodos estereofotogramétricos



**Lista comparativa de las distancias desde el centro de la Tierra en relación al volcán Chimborazo (punto más cercano al sol)**

Orden	Elevación	Distancia desde el centro de la Tierra (m)	Diferencia con distancia del volcán Chimborazo (m)	País	Tipo de montaña
1	<b>Chimborazo</b>	6384418.505	-	Ecuador	Volcán activo
2	<b>Huascarán</b>	6384361.512	56.993	Perú	Macizo
3	<b>Yerupaja</b>	6384097.904	320.601	Perú	Nevado
4	<b>Cotopaxi</b>	6384054.566	363.939	Ecuador	Volcán activo
5	<b>Huandoy</b>	6384009.666	408.839	Perú	Nevado
6	<b>Kilimanjaro</b>	6383971.306	447.199	Tanzania-Kenia	Nevado (Más alto de África en referencia al n.m.m.)
7	<b>Chopicalqui</b>	6383962.982	455.523	Perú	Nevado
8	<b>Cayambe</b>	6383960.138	458.367	Ecuador	Volcán activo
9	<b>Antisana</b>	6383893.461	525.044	Ecuador	Volcán activo
10	<b>Palcaraju</b>	6383849.967	568.538	Perú	Nevado
11	<b>Monte Everest</b>	6382306.772	2111.733	Nepal-China	Nevado (Más alto del mundo en referencia al n.m.m.)
12	<b>Ojos del Salado</b>	6380661.03	3757.475	Chile-Argentina	Nevado
13	<b>Aconcagua</b>	6378910.511	5507.994	Argentina	Nevado (Más alto de América en referencia el n.m.m.)



A scenic view of a mountain peak at sunrise or sunset. The sun is low on the horizon, casting a warm glow over a vast sea of clouds that fills the valley. In the foreground, a dense forest of cypress trees covers the mountain slope. The sky is a mix of blue and orange, with wispy clouds.

**GRACIAS!!**

**[mjosemmg94@gmail.com](mailto:mjosemmg94@gmail.com)**