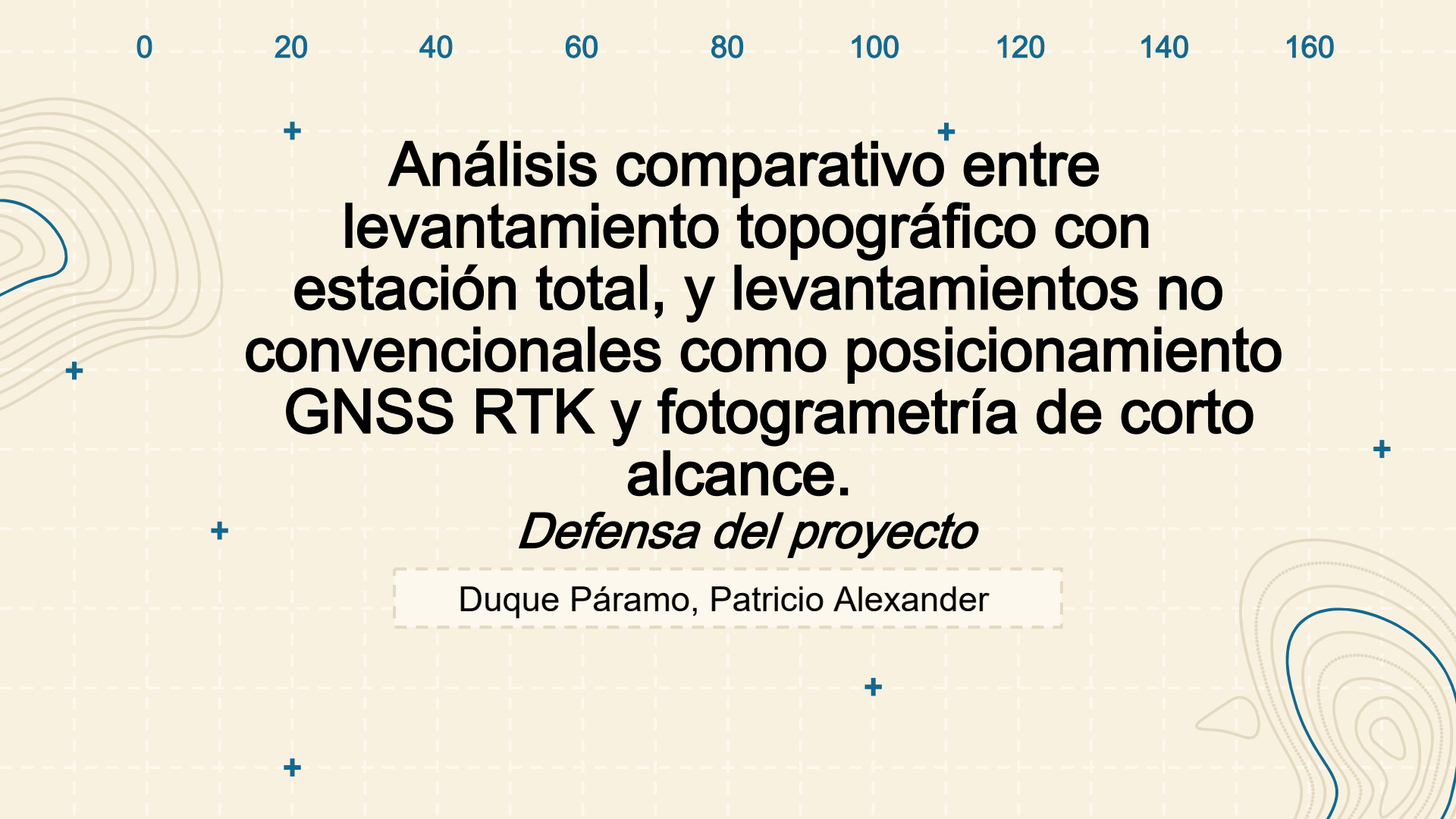


The background features a light beige topographic map with brown contour lines. A white grid is overlaid on the map, with numerical values (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160) in blue at the top. Small blue plus signs are scattered across the grid. The main title is centered in large, bold, black text.

# **Análisis comparativo entre levantamiento topográfico con estación total, y levantamientos no convencionales como posicionamiento GNSS RTK y fotogrametría de corto alcance.**

*Defensa del proyecto*

Duque Páramo, Patricio Alexander



Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"  
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción  
Carrera de Ingeniería Geoespacial  
PREGRADO 2024501 MAY24- SEP24  
Proyecto de Integración Curricular

*"Análisis comparativo entre levantamiento topográfico convencional con estación total, y levantamientos no convencionales como posicionamiento GNSS RTK y fotogrametría de corto alcance."*

Autor: Patricio Alexander Duque Páramo  
Director del proyecto: Ing. Marco Patricio Luna Ludeña, PhD  
Docente evaluador: Dr. Alfonso Rodrigo Tierra Criollo

+ Director de carrera: Ing. Alexander Alfredo Robayo Nieto, MSc.  
Secretario Académico: Abg. Carlos Darwin Calahorrano Mena

Sangolquí  
Agosto 2024



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



# Ejes temáticos

- Matemática .
- Estadística.
- Geodesia.
- Topografía .
- Fotogrametría .
- Cálculo de compensación.
- Cartografía
- Geoestadística.
- Control de calidad de los datos geográficos .



# Contenidos

1

**Introducción**

2

**Objetivos**

3

**Metodología**

4

**Resultados**



0

20

40

60

80

100

120

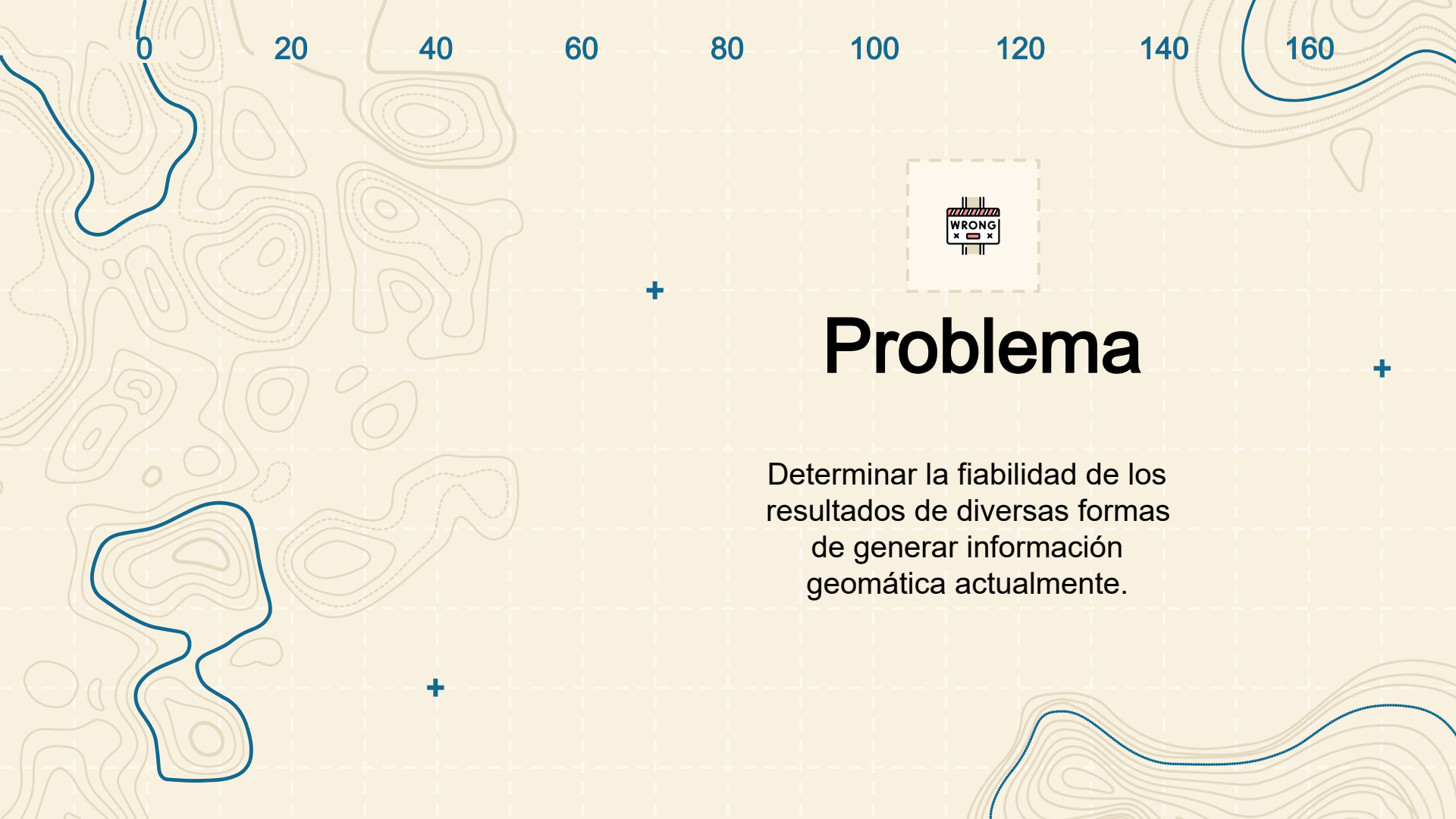
140

160

1

# Introducción

***AJUSTADO A UN FIN,  
AJUSTADO A UNA NECESIDAD***



# Problema

Determinar la fiabilidad de los resultados de diversas formas de generar información geomática actualmente.

0

20

40

60

80

100

120

140

160



# Solución

Generar cartografía escala  
1:1000 del predio de la  
Universidad de las Fuerzas  
Armadas ESPE mediante  
diferentes técnicas  
geoespaciales para determinar  
sus resultados



# Área de estudio



0

20

40

60

80

100

120

140

160

2

# Objetivos

0

20

40

60

80

100

120

140

160



# Objetivo General

*Realizar el análisis comparativo entre levantamiento topográfico con estación total y levantamientos no convencionales como posicionamiento GNSS – RTK y fotogrametría de corto alcance.*



# Objetivos Específicos

- *Realizar el análisis comparativo entre levantamiento topográfico con estación total y levantamientos de posicionamiento GNSS – RTK.*
- *Realizar el análisis comparativo entre levantamiento topográfico con estación total y fotogrametría de corto alcance.*





0

20

40

60

80

100

120

140

160

3

# Metodología

0

20

40

60

80

100

120

140

160

# Procedimiento



## 1. Control Horizontal

Red Geodésica Local



## 2. Control Vertical

Nivelación vértices geodésicos



## 3. Levantamiento

Topografía con estación total



## 4. Plano

Dibujo AutoCAD escala 1:1000



0

20

40

60

80

100

120

140

160

# Procedimiento



## 5. Fotogrametría

Generación de fotografía  
aérea con UAS



## 6. Digitalización

Vectorización sobre  
ortofoto



## 7. Control de calidad

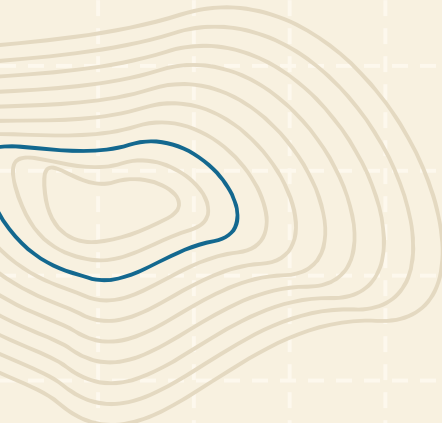
Muestreo con GNSS  
cinemático



## 8. Resultados

Análisis comparativo de  
las técnicas geomáticas

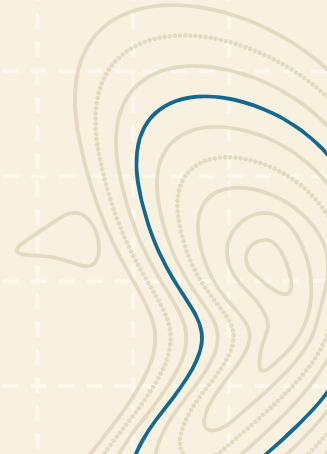


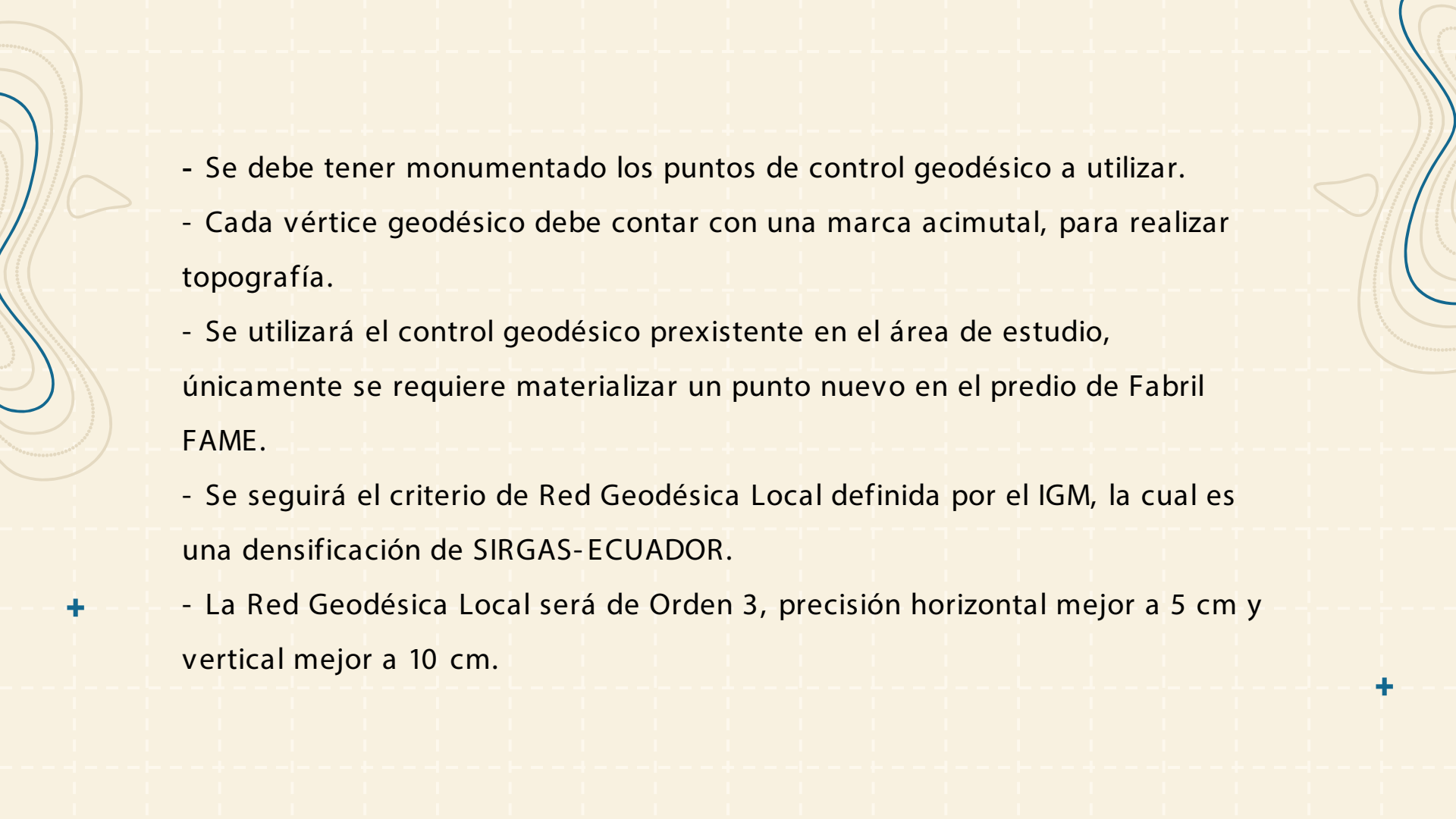


# 3.1

## Control Horizontal

*Red Geodésica Local*



- 
- Se debe tener monumentado los puntos de control geodésico a utilizar.
  - Cada vértice geodésico debe contar con una marca acimutal, para realizar topografía.
  - Se utilizará el control geodésico preexistente en el área de estudio, únicamente se requiere materializar un punto nuevo en el predio de Fabril FAME.
  - Se seguirá el criterio de Red Geodésica Local definida por el IGM, la cual es una densificación de SIRGAS-ECUADOR.
  - + - La Red Geodésica Local será de Orden 3, precisión horizontal mejor a 5 cm y vertical mejor a 10 cm.
- 



| Monumentación                 | Disponible | Imagen                                                                              |
|-------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Hito IGM-B                    | 8          |  |
| Hito tubular centrado forzoso | 8          |  |
| Pilar de hormigón             | 8          |  |
| Placa de aluminio             | 13         |  |
| Geoclavo                      | 2          |  |
| Clavo de acero y estacas      | IND        |  |
| GCP                           | 35         |  |
| <b>Total</b>                  | <b>78</b>  |                                                                                     |

Fuente: Autor (2024)





| Orden | Equipo                  | Cantidad |
|-------|-------------------------|----------|
| 1     | Equipo GNSS Trimble R4  | 1        |
| 2     | Equipo GNSS Trimble R8s | 8        |
| 3     | Trípode                 | 9        |
| 4     | Base nivelante          | 9        |
| 5     | Extensión 0.25 m        | 9        |
| 6     | Hoja de campo           | 26       |
| 7     | Flexómetro              | 9        |
| 8     | Aplicativo Trimble DL   | 9        |

Principios básicos de  
posicionamiento GNSS

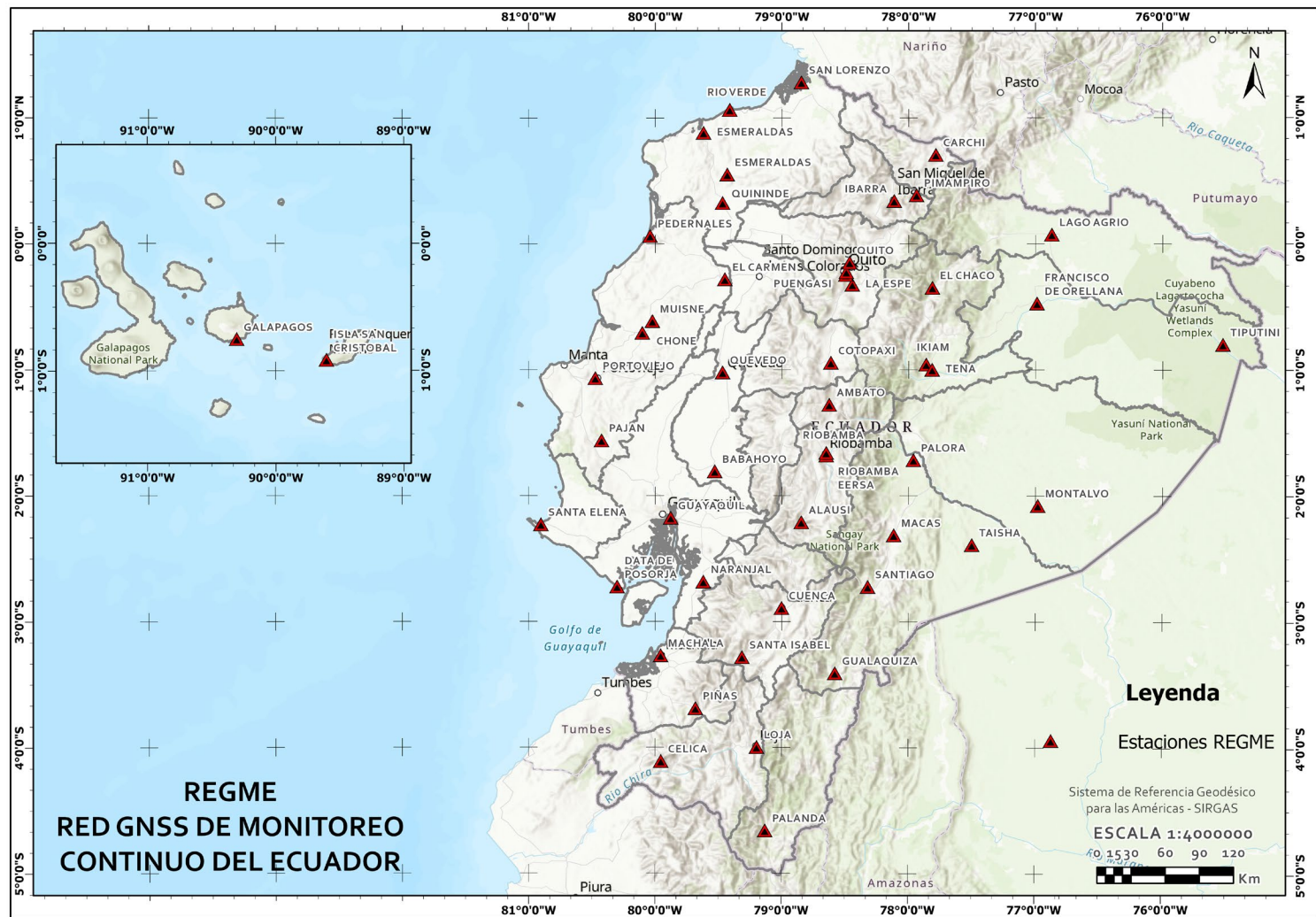
Se utilizarán las especificaciones del protocolo de fiscalización del IGM para trabajos escala 1:1000

|                                 |                                    |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Equipo utilizado                | GNSS de precisión Doble Frecuencia |
| Tipo de posicionamiento         | Estático Diferencial               |
| Número de satélites enganchados | Mínimo 5                           |
| Ángulo de enmascaramiento       | 10 grados                          |
| Intervalo de grabación          | 1 Segundo                          |
| GDOP                            | < 5                                |

*Correcto nivelado y centrado de la antena sobre el punto, considerando que el eje vertical de la antena sea perpendicular al centro geométrico del punto a determinarse.*

*Correcta orientación de la antena, de forma que señale al norte magnético.*





- Red de 13 vértices
- La red estará enlazada a la red del IGM a través bases CORS REGME, por lo tanto, está enlazado a SIRGAS.
- Estaciones REGME QUI1 | Quito – IGM y CXEC | Cotopaxi.
- Se utilizará los ocho equipos GNSS doble frecuencia Trimble R8s y un equipo Trimble R4 que dispone la universidad.
- Dos observaciones por nodo.
- La red se densificará mediante lados en común del triángulo.
- Rotación del equipo en cada sesión.
- Se observo las constelaciones satelitales: NAVSTAR/GPS+GLONASS+GALILEO+Compass/BeiDou.

- Se realizaron dos mediciones de la altura de la antena, 1 medición al iniciar la observación, y otra al finalizar.
- La referencia de la altura de la antena en todo momento fue el centro del tope protector.
- Posicionamiento en 3 sesiones, usando lados en común de los triángulos de la red.
- El ajuste se realizó a través de Trimble Business Center, a través de vectores independientes.
- Tiempo de rastreo: 02h00 (1) y 04h00 (2).
- Los intervalos de rastreo fueron de 08h00 a 10h00 y de 11h00 a 13h00.

$$t_{[min]} = 30_{[min]} + 2 * d_{[km]}$$

# + Parámetros Red Geodésica MIC ESPE 2024

- Trimble Business Center 2024.0 (Demo)
- Efemérides precisas finales del CODE
- Sistema de referencia del IGS20 y modelo geoidal EGM08
- Intervalo de procesamiento 10 seg.
- Procesamiento de todas las constelaciones disponibles.
- Mascara de elevación  $10^{\circ}$
- Coordenadas de la base extraídas de SIRGASCON para la semana 2306.
- 28 vectores independientes.
  - Horizontal  $0.005 \pm 1$  PPM
  - Vertical  $0.010 \pm 2$  PPM
  - Red Orden B

# + Parámetros Red Geodésica MIC ESPE 2024

- Sistema de Referencia: Sistema de Referencia Geodésico para las Américas – SIRGAS.
- Marco de Referencia: Marco de Referencia Terrestre Internacional de 2020 – IGS20.
- Época de Referencia: 2024.22
- Semana GPS: 2306.
- Día Juliano: 079 – 080.
- Elipsoide de referencia: Sistema de Referencia Geodésico de 1980 – GRS80.
- Proyección: UTM 17 SUR
- Datum vertical: Nivel medio del mar medido en la Estación Mareográfica INOCAR “La Libertad”.

# Transformación SIRGA-Ecuador

1. Tierra estática

2. Helmert + Velocidades

$$\begin{pmatrix} X_{08} \\ Y_{08} \\ Z_{08} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{pmatrix} + (1 - \delta) \begin{pmatrix} 1 & r_Z & -r_Y \\ -r_Z & 1 & r_X \\ r_Y & -r_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{20} \\ Y_{20} \\ Z_{20} \end{pmatrix}$$

*Parámetros de conversión entre marcos de referencias terrestre IGS20 – ITRF2008*

| Parámetro | T <sub>x</sub> [mm] | T <sub>y</sub> [mm] | T <sub>z</sub> [mm] | d     | R <sub>x</sub> [mas] | R <sub>y</sub> [mas] | R <sub>z</sub> [mas] | Época   |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|
| Valor     | -1.4                | -0.9                | 1.4                 | -0.42 | 0.00                 | 0.00                 | 0.00                 | 2015.00 |

Fuente: ITRF(2024)

*Coordenadas ECEF ITRF08 2024.22*

# Transformación SIRGA-Ecuador

$$\begin{pmatrix} X_{2t_1} \\ Y_{2t_1} \\ Z_{2t_1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{2t_0} \\ Y_{2t_0} \\ Z_{2t_0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{pmatrix} (t_0 - t_1)$$

*Modelo de velocidades SIRGAS2022*

| Parámetro | $v_X$ [m/a] | $v_Y$ [m/a] | $v_Z$ [m/a] | Fecha inicio | Fecha fin  |
|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|------------|
| Valor     | -0.00191    | 0.0012      | 0.01166     | 2016-04-17   | 2022-04-30 |

Fuente: Sánchez et. al (2022).

*Coordenadas ECEF ITRF08 2016.43  
SIRGAS ECUADOR*

# + Transformación SIRGA-Ecuador

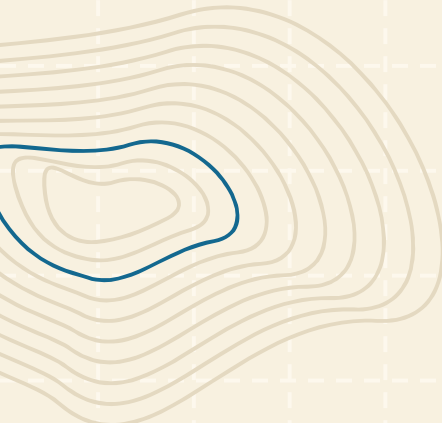


$$error_{este} = Este_{IGS20} - Este_{SIRGAS-Ecuador}$$

$$error_{norte} = Norte_{IGS20} - Norte_{SIRGAS-Ecuador}$$

$$error_{xy} = \sqrt{(error_{este})^2 + (error_{norte})^2}$$

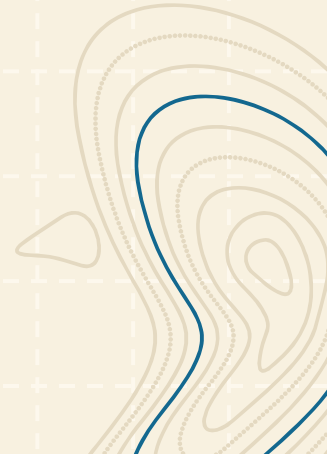




3.2

# Control Vertical

*Nivelación vértices geodésicos*



# Control Vertical Red Geodésica MIC ESPE 2024



Cada vértice de la red debe estar enlazado al plano de referencia vertical oficial del Ecuador de acuerdo con el reglamento a la Ley de la Cartografía de 1991 en su art. 18, sección d.

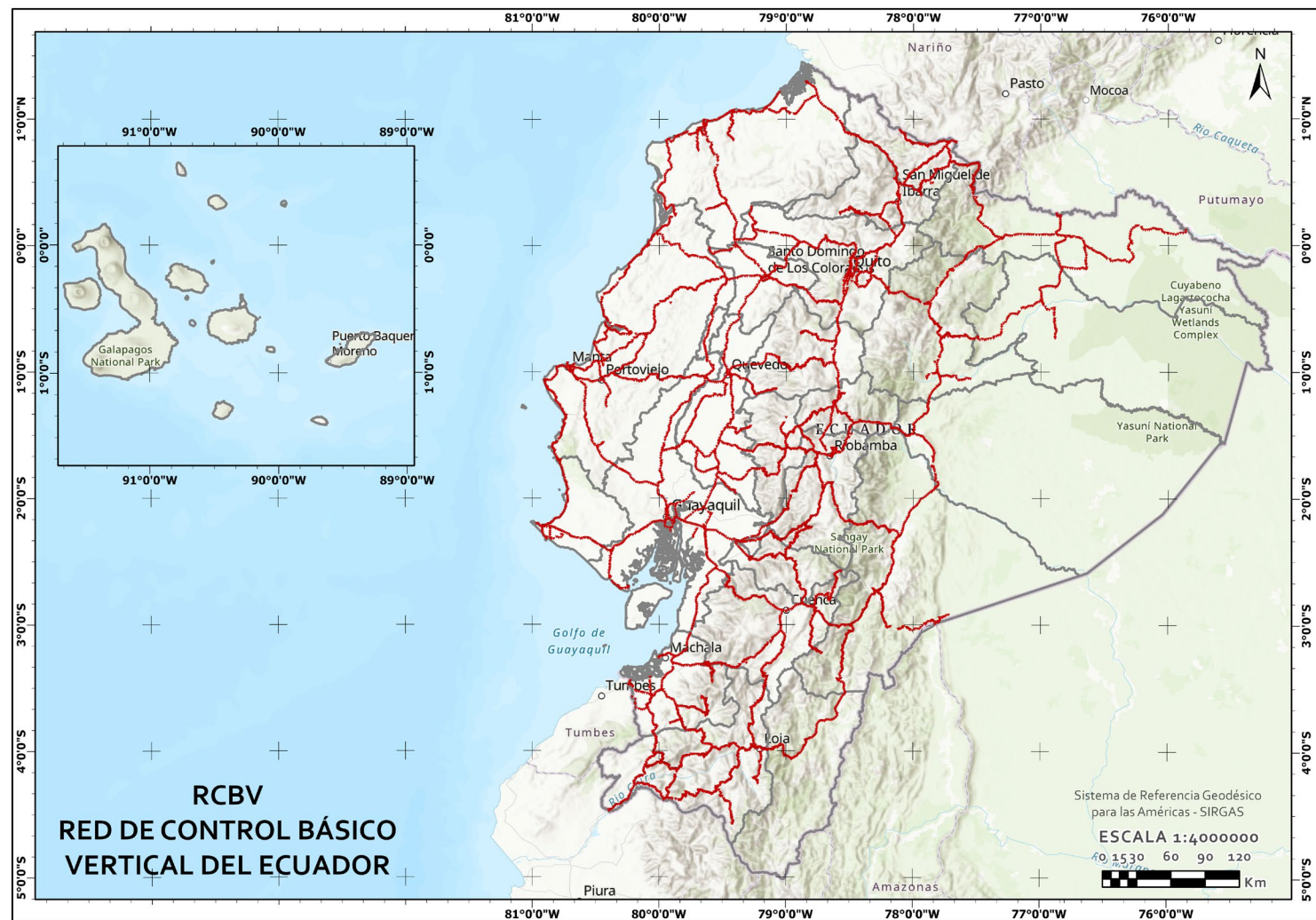


La forma de determinar las cotas es mediante :

- Nivelación GNSS
- Nivelación Geométrica.
- Nivelación Trigonométrica .
- Modelo de ondulación geoidal.

Por ende, todo el levantamiento estará enlazado al control vertical oficial del Ecuador.







# Placas orden I

*Placa IGM SR-P-1A*

Cota: 2 497.2168 msnm

Enero 2009

Ubicación: Av. General Rumiñahui, junto a  
la prevención ESPE

Red de control básico vertical del Ecuador

Tolerancia  $4mm\sqrt{k}$

# CROQUIS

GANCHAS

E.S.P.E.

CAJERO  
"RUMINAHUI"



ENTRADA

SALIDA

E.S.P.E.

+SR-P-IA

SAN RAFAEL

N

URBANIZACION  
"LA COLINA"

SANGOLQUI

COORD. APROX. UTM WGS 84

NORTE 9965132

ESTE 784699

ZONA 17

DATOS FOTOGRAFICOS

**COTA:**  
**2497.2168 msnm**

PLACA  
SR- P-IA  
1- 2009

# Placas orden II

*Placa IGM PE 28159-X*

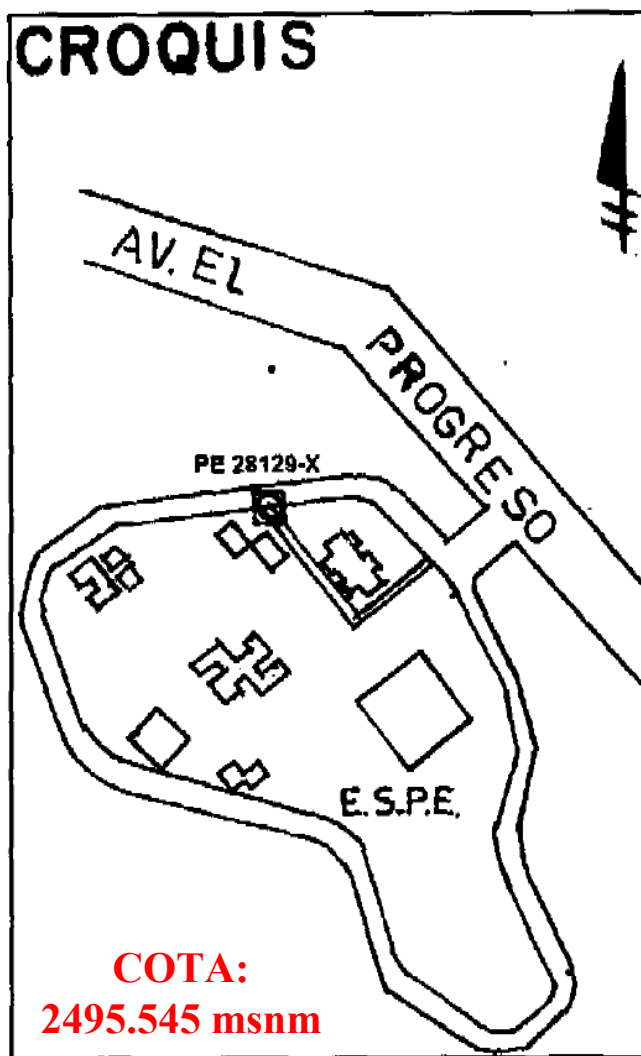
Cota: 2 495.545 msnm

Julio 2005

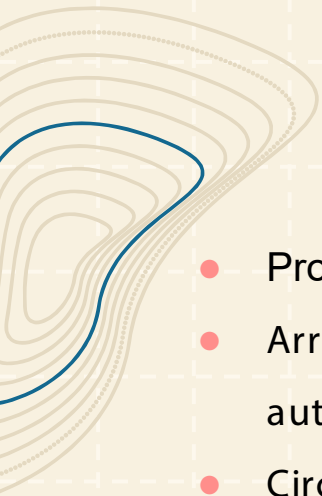
Ubicación: Anillo Vial ESPE, junto a la Biblioteca  
Alejandro Segovia.

Red de control básico suplementario de Quito

Tolerancia  $8.4mm\sqrt{k}$



## 3.2.1. Nivelación Geométrica

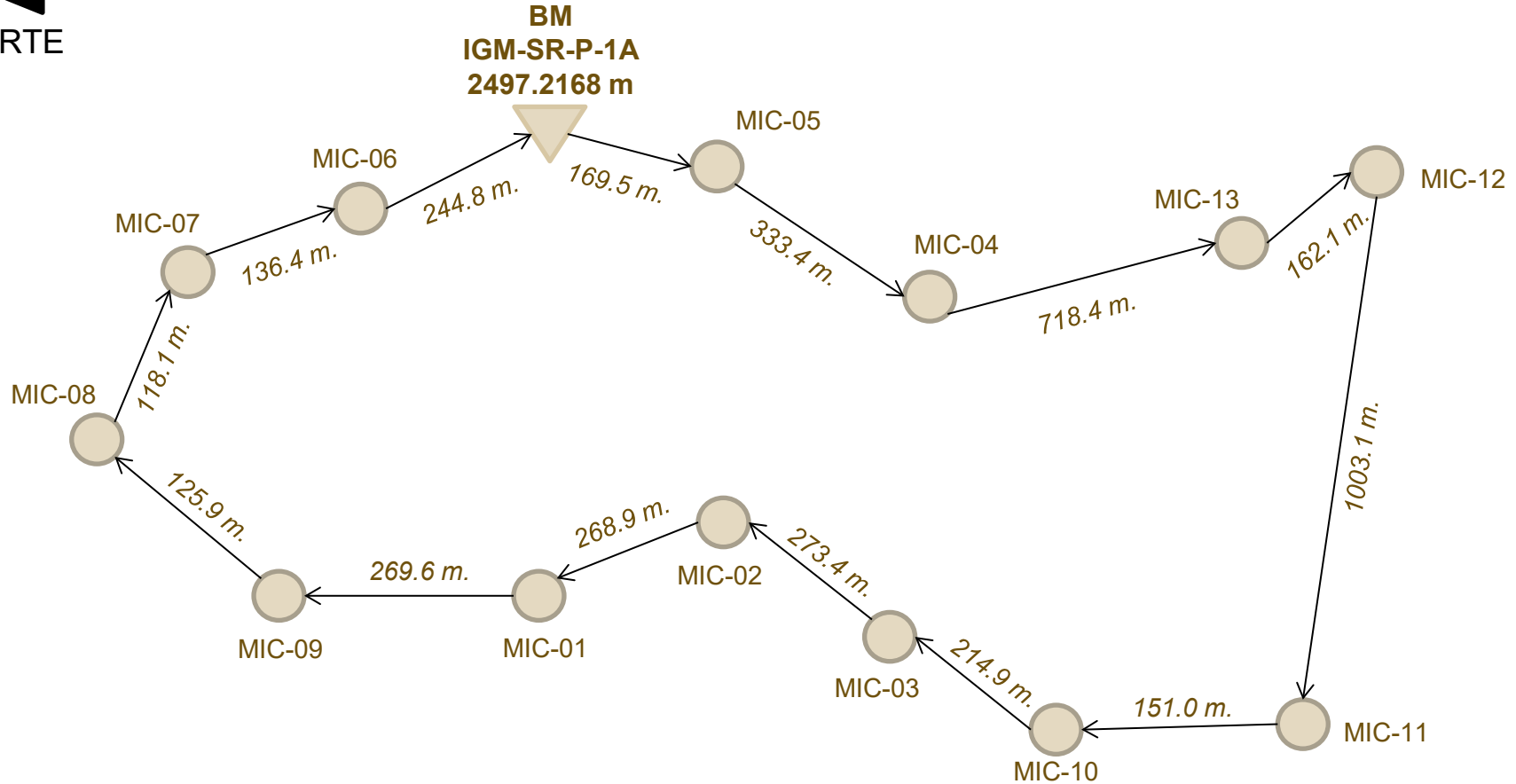


- Proceso costoso y extenso, muy fiable en resultados.
- Arrastre desde la placa IGM SR P-1A mediante una red de nivelación con nivel automático de ingeniero.
- Circuito de 4.19 Km dentro del campus con un cierre geométrico de 3 mm, tolerancia de orden I.
- Requiere de un operador, un anotador, dos cadeneros, y una persona de soporte.





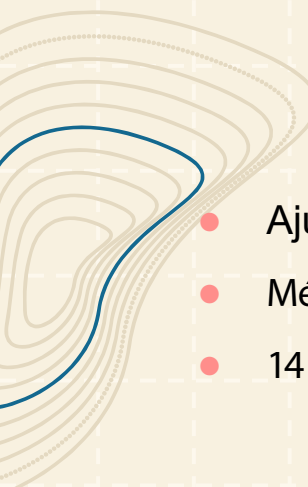
# DIAGRAMA NIVELACIÓN



NO A ESCALA

## 3.2.1. Nivelación Geométrica



- 
- Ajuste por mínimos cuadrados.
  - Método correlativo
  - 14 observaciones, 13 incógnitas, una ecuación, un punto fijo.

$$\sum \Delta H_n = 0$$

- Generación el modelo de ondulaciones geoidales local geométrico

$$n = h - H_n$$

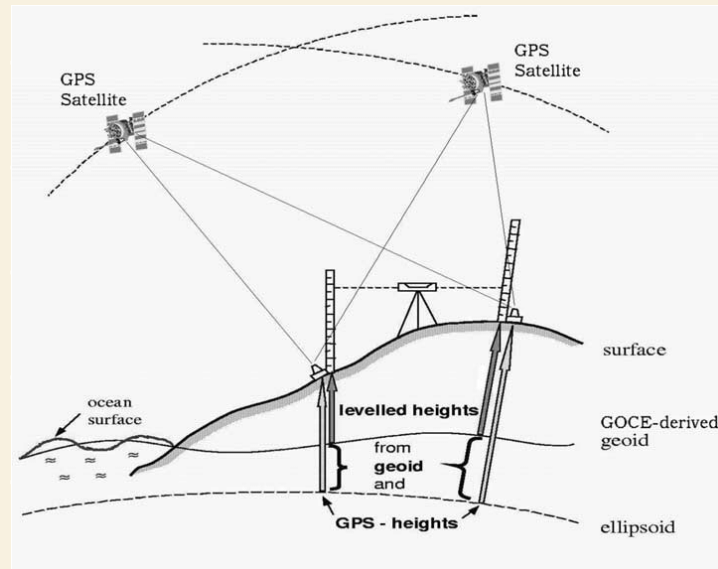


## 3.2.2. Nivelación GNSS

Arrastre desde la placa IGM PE  
28129-X con GNSS durante el ajuste  
de la red, cota de partida 2495.545  
msnm

$$Hn_B = \Delta h_{AB} + Hn_A - (n_B - n_A)$$

- Alturas elipsoidales
- Altura nivelada del punto base
- Modelo de ondulación geoidal



Johannessen et al. (2003)

# Comparativa

*Partida del vértice MIC-06 (PE 28159-X)  
Cota 2495.545 msnm. | Alt elipsoidal: 2522.8234 m.*

## Sin modelo de ondulación geoidal

Se asume que la superficie geoidal es  
equivalente donde

$$n_A = n_B = 0$$

## Con modelo de ondulación geoidal

Se toma en cuenta el modelo EGM08 y  
el modelo geoidal local

$$n_A \neq n_B \neq 0$$
$$n = h - H_N$$

*Modelo geoidal local generado con Kriging Universal*



The background of the slide is a light beige color with a white dashed grid. On the left side, there are several concentric contour lines in a light tan color, with the innermost line being a darker blue. On the right side, there are also contour lines, with the outermost line being a darker blue. In the bottom left corner, there are three small blue plus signs arranged in a horizontal line. In the bottom right corner, there is a small blue plus sign.

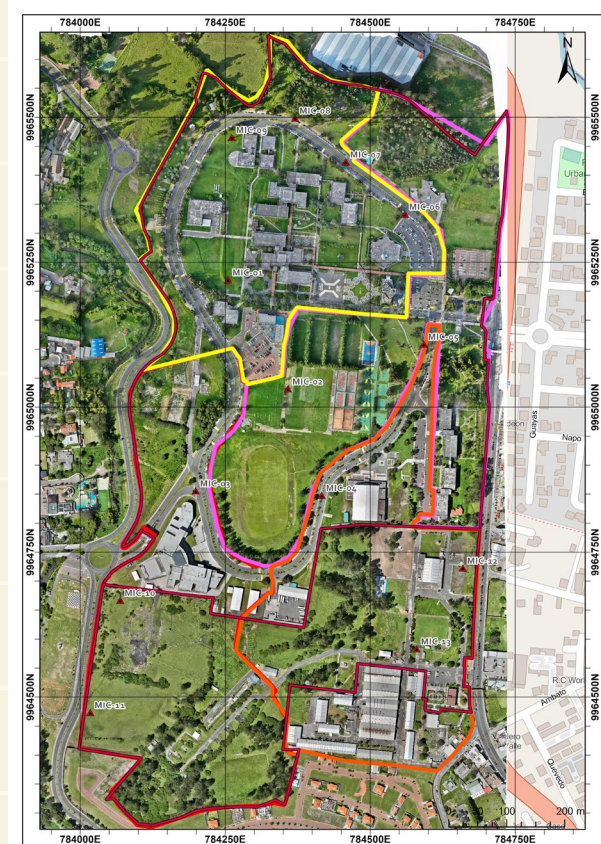
# 3.3

# Levantamiento

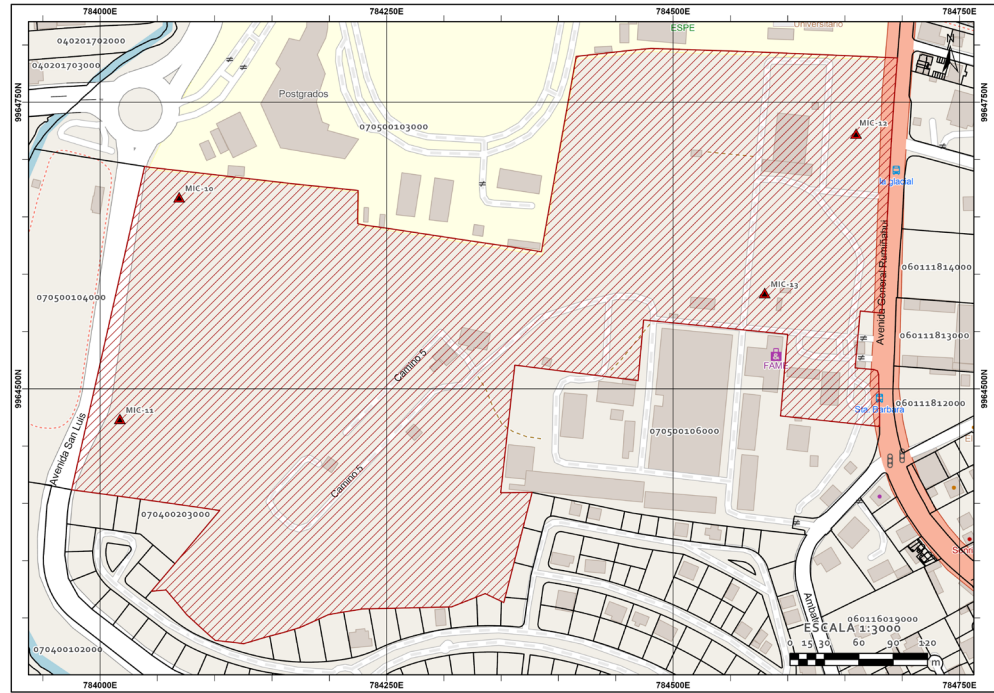
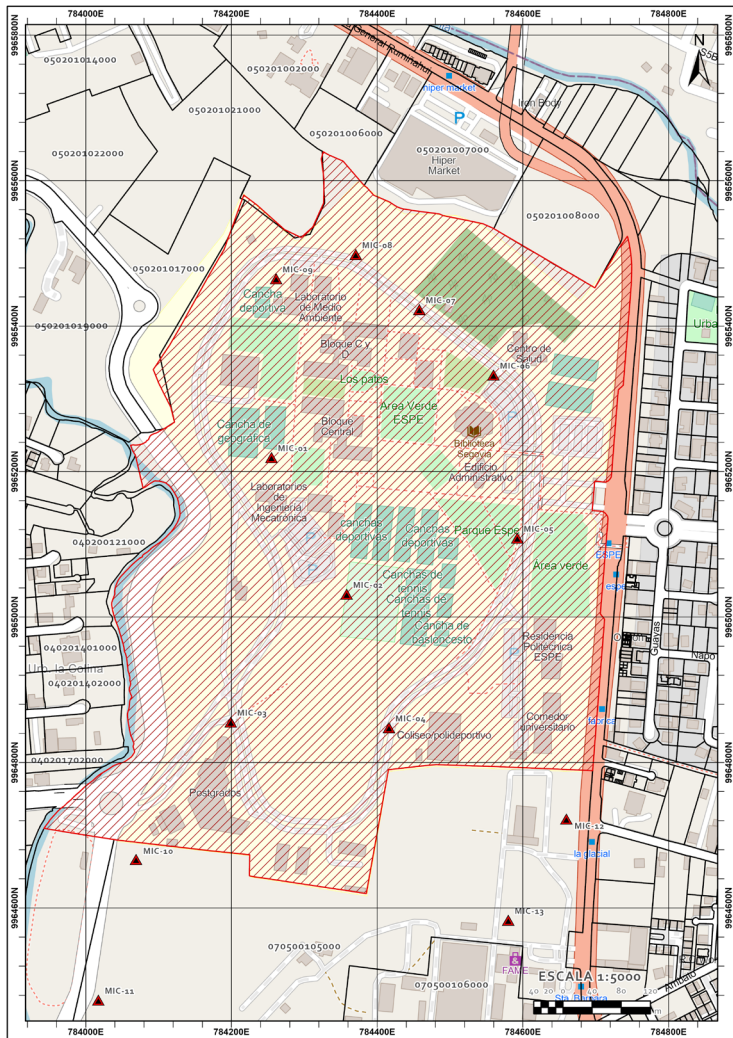
*Topografía con estación total*

# Levantamiento Topográfico

- Topografía escala 1:1000
  - Precisión horizontal 0.30 m
  - Precisión vertical 0.25 m
- Uso de estación total Trimble M3 5" DR
- Radiación y Poligonales
- Levantamiento de dos predios
  - 48 ha del Campus Matriz
  - 20 ha de Fabril FAME
- Verificación de linderos a través de la IDE GeoRumiñahui







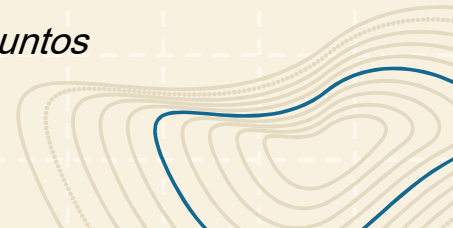
# Levantamiento Topográfico

## Objetos a levantar

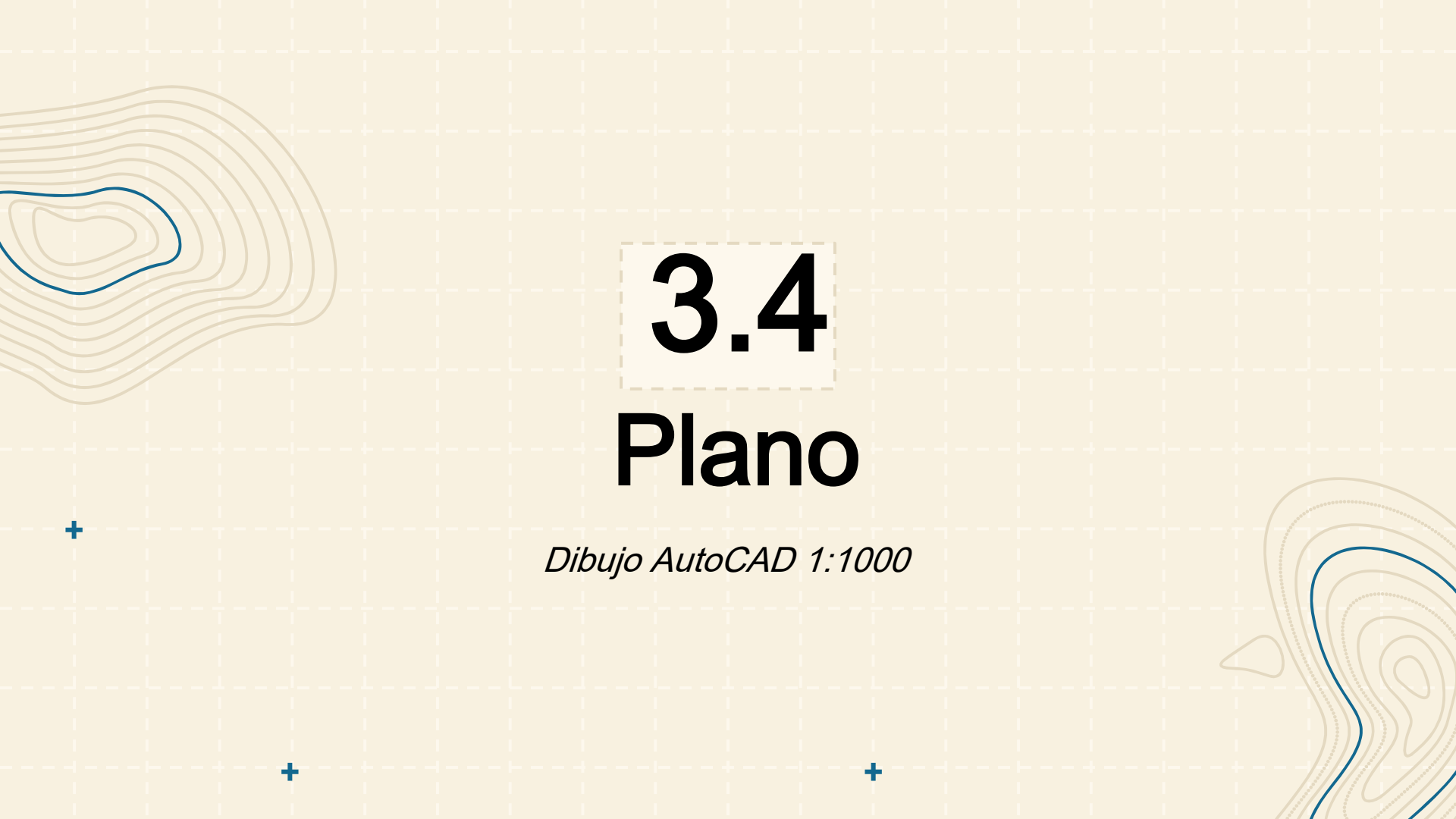
- Objetos espaciales mayores a un metro y cajas de revisión.
- No se considera detalles como diseño de canchas, arcos, escaleras
- Intervalo de curva de nivel cada metro.
- Se toma línea de quiebre, cambios de pendiente, puntos en malla a ras de piso.

*Ajuste por el método de Bowditch (Brújula) definido por Wolf (2015)*

- *Precisión relativa, error de cierre del polígono, corrección por puntos*







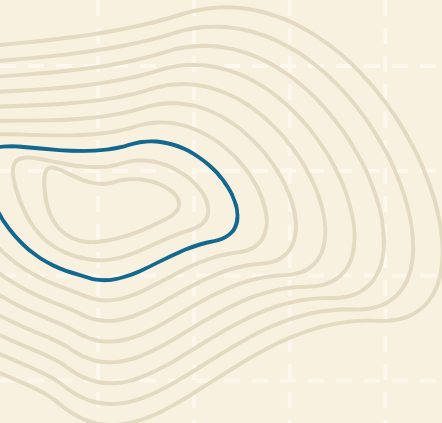
3.4

# Plano

*Dibujo AutoCAD 1:1000*

# Generación de Producto Topográfico

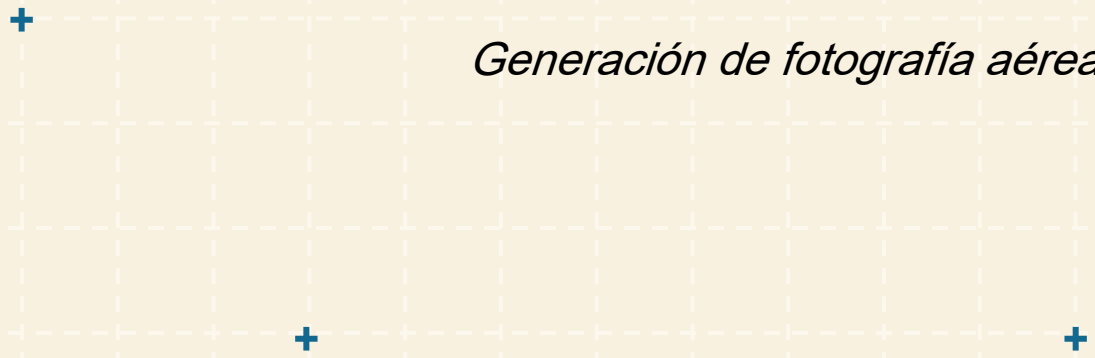
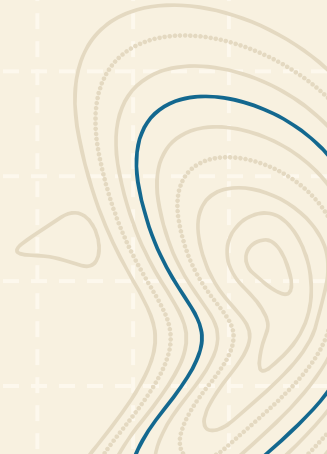
- Generado por Autodesk Civil 3D.
- Basado en la Guía de extracción catastral IGM y en la guía para la presentación de planos catastrales del municipio de Quito.
- Nube de puntos depurada TXT PENZD
- Curvas de nivel interpoladas a cada metro, y curvas índice a 5 metros. Color Sepia.
- Se genero el MDS a través de una interpolación TIN, la que fue suavizada y editada.
- Layout A1 ploteo a 1:2000



3.5

# Fotogrametría

*Generación de fotografía aérea con UAS*



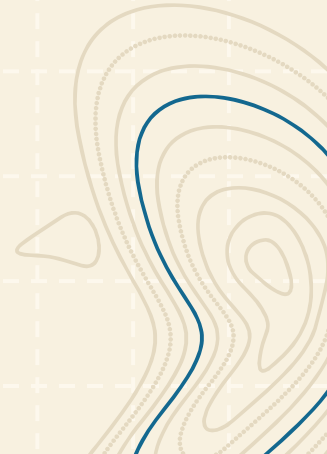
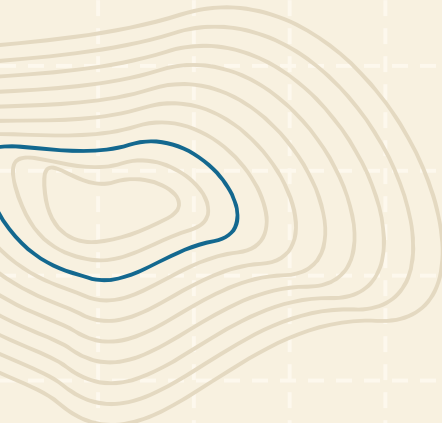
# Levantamiento Fotogramétrico

Se utilizó la ortofoto elaborada por Acosta et al. (2024)

- GSDes de 2 cm.
- UAV DJI Mavik 3 Enterprise.
- Altura de vuelo de 80 m AGL.
- Imágenes geoetiquetadas mediante RTK.
- Sistema de referencia SIRGAS-Ecuador
- El modelo digital de superficies se encuentra con alturas elipsoidales.

*Imagen en ECW lista para utilizar*

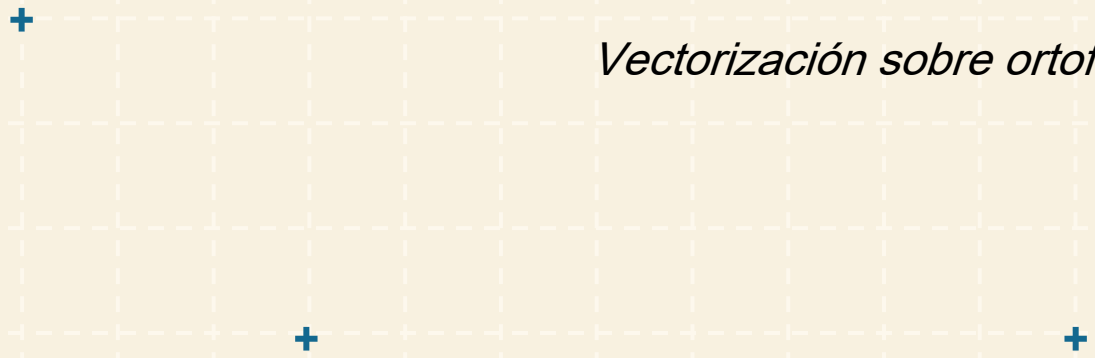




3.6

# Digitalización

*Vectorización sobre ortofoto*





MINISTERIO DE  
DEFENSA  
NACIONAL



INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
MILITAR

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA  
PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE CON  
FINES CATASTRALES A ESCALAS 1:1 000 y 1:5 000**

Documento Elaborado en el marco del Convenio IGM - MIDUVI

*Octubre 2022*



MINISTERIO DE  
DEFENSA  
NACIONAL

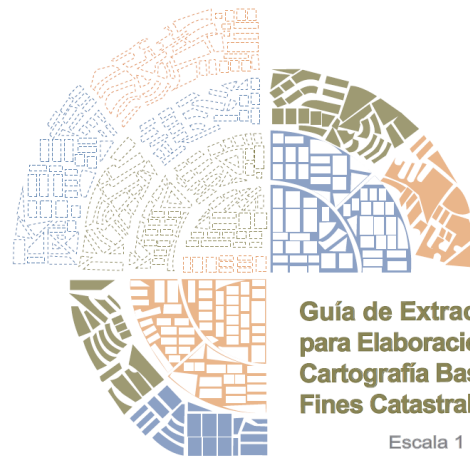


INSTITUTO  
GEOGRÁFICO  
MILITAR

Ministerio de  
Desarrollo Urbano  
y Vivienda



República  
del Ecuador



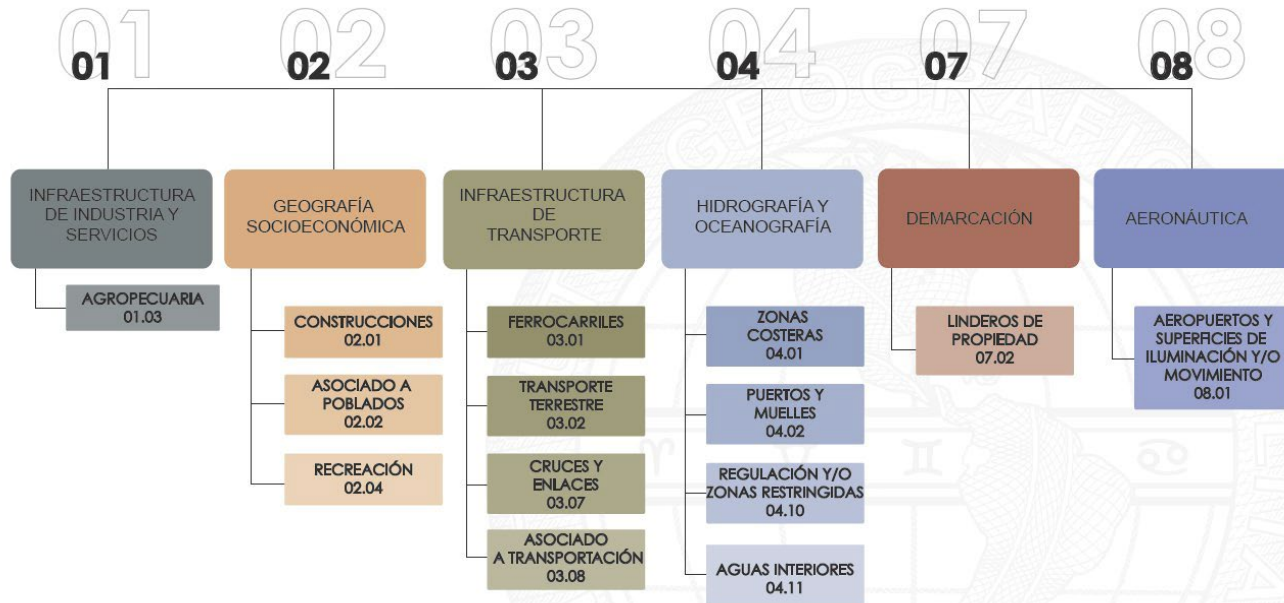
**1<sup>era</sup>**  
EDICIÓN  
**2022**

**Guía de Extracción  
para Elaboración de  
Cartografía Base con  
Fines Catastrales**

Escala 1 : 1 000

[www.igm.gob.ec/www.geoportaligm.gob.ec](http://www.igm.gob.ec/www.geoportaligm.gob.ec)

## ESTRUCTURA POR CATEGORÍAS DEL CATÁLOGO DE OBJETOS DE CARTOGRAFÍA BASE CON FINES CATASTRALES



# Digitalización del producto fotogramétrico

## Elementos a vectorizar

- Acera
- Alcantarilla
- Caja de revisión
- Cancha
- Cerca
- Edificio
- Escalinata
- Estadio
- Gasolinera
- Invernadero
- Muro
- Parqueadero
- Plaza Publica
- Poste
- Puente
- Puntos de control
- Rio
- Roderia
- Sendero
- Vía/Ruta



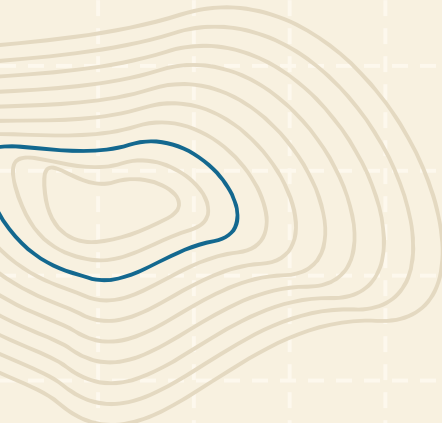


# Digitalización del producto fotogramétrico +

- Utilización del software Autodesk Civil 3D 2025
- Capas individuales
- Uso de polilíneas
- Herramientas center y endpoint.
- Ortofoto del apartado 3.5.
- Objetos foto identificables
  1. Parte Hídrica
  2. Parte vial
  3. Infraestructura
  4. Demas detalles

*IMPORTAR NUBE DE PUNTOS RTK Y  
ESTACION TOTAL*

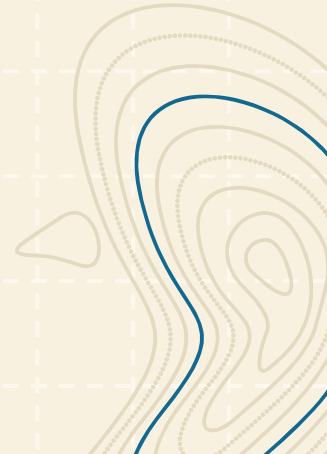




# 3.7

## Control de calidad

*Muestreo con GNSS cinemático*





***“Grado con el que un conjunto  
de características inherentes  
cumple un requisito”***



Norma ISO 19157-1



# Control de Calidad

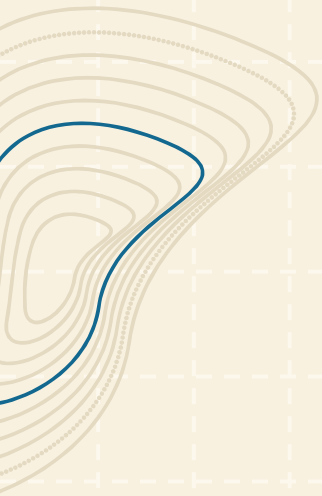
- Se basa en normas, estándares y reglamentos nacionales o internacionales.  
*ISO 19157 / NSSDA / NTE INEN 2859 - 1*
- Se busca trabajar 4 ejes principales
  - Exactitud Posicional.
  - Exactitud Temática.
  - Completitud.
  - Consistencia lógica.
- Equipo de mejor o igual precisión para el control de calidad.
- Muestra aleatoria estratificada de 20 a 30 puntos por hoja.

# Control de Calidad

*Definición de  
lotes  
muestrales*

*Ejecución en  
campo*

*Selección de  
muestra por  
lote*



# Control de Calidad

- Lotes muestrales, hojas cartografía  
1:1000
  - 15"x15"
- 8 lotes muestrales
- ÑIII-B3c-E1x
- Puntos foto identificables y puntos perenes



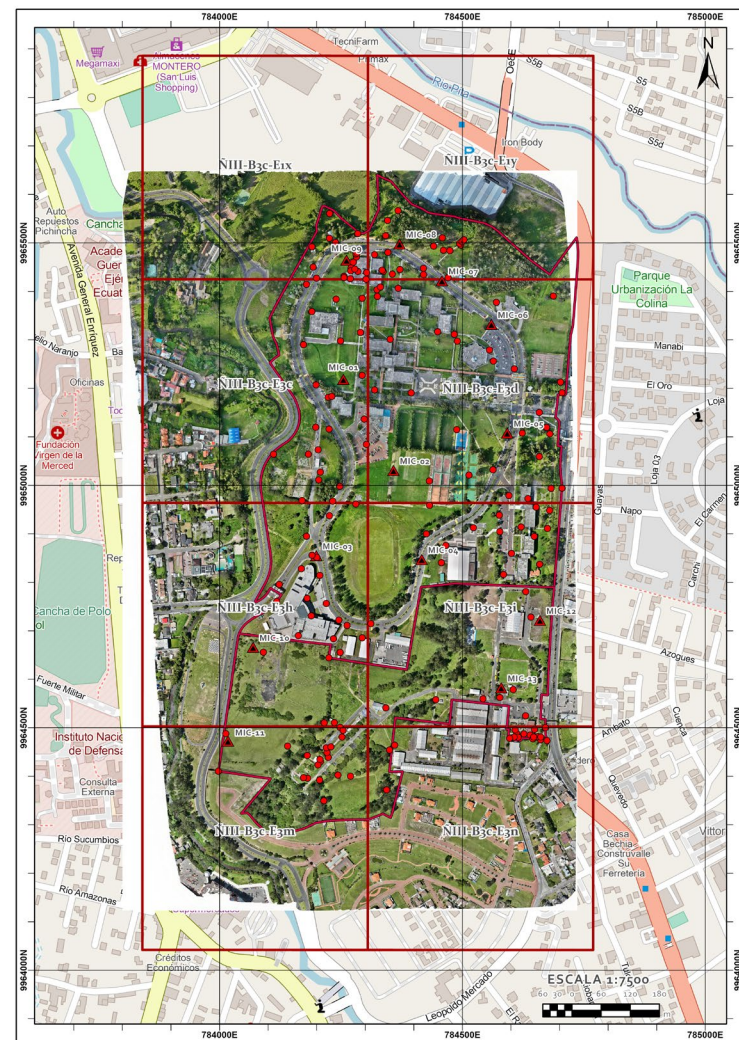
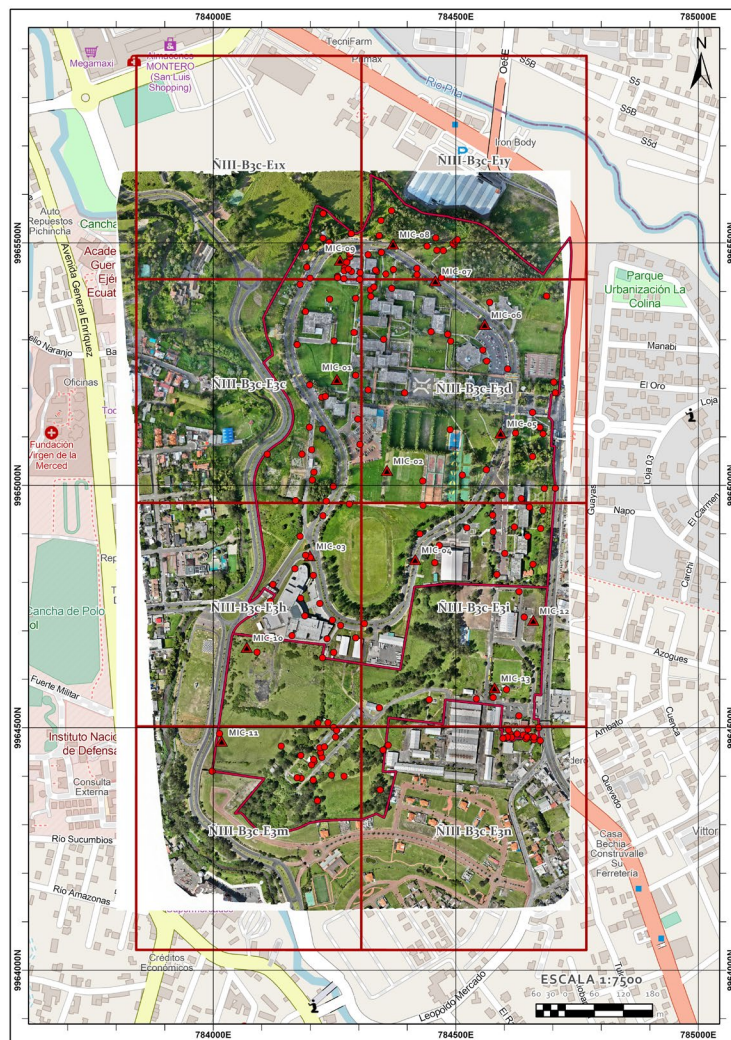
# Control de Calidad

- Equipo GNSS Doble Frecuencia Trimble R8s.
- Selección de 180 puntos muestrales por RTK Radio, enlazado a la Red Geodésica Local.
- Selección de 30 puntos muestrales por RTK IP (NTRIP), enlazado a la EPEC

*Parámetros utilizados para la toma de datos*

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| Proyección            | WGS84/UTM Zona 17 Sur              |
| Modelo geoidal        | EGM2008 Ecuador                    |
| Mascara de elevación  | 10°                                |
| Tiempo de observación | 5 segundos                         |
| Épocas de observación | 3                                  |
| Tipo de trayectoria   | Fija                               |
| Precisión             | Horizontal 0.050<br>Vertical 0.100 |
| Satélites             | GPS+GLONASS+GALILEO+BEIDOU         |
| Fuente: Autor (2024)  |                                    |







$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_j)^2}$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_j)^2}$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - z_j)^2}$$

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2}$$

*Si  $RMSE_x \neq RMSE_y$*

*Exactitud  $r = 1.073 * (RMSE_x + RMSE_y)$*

*Exactitud  $z = 1.096 * RMSE_z$*

0

20

40

60

80

100

120

140

160

4

Resultados



# 4.1

## Control Horizontal

*Red Geodésica Local*

Adjusted Grid Coordinates

| Point ID               | Easting (Metre) | Easting Error (Metre) | Northing (Metre) | Northing Error (Metre) | Elevation (Metre) | Elevation Error (Metre) | Constraint |
|------------------------|-----------------|-----------------------|------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|------------|
| <a href="#">CXEC</a>   | 765451.14580    | ?                     | 9896539.87977    | ?                      | 2782.38303        | 0.000                   | LLh        |
| <a href="#">MIC_01</a> | 784254.88018    | 0.004                 | 9965220.47764    | 0.004                  | 2491.65938        | 0.013                   |            |
| <a href="#">MIC_02</a> | 784358.05090    | 0.004                 | 9965032.56749    | 0.004                  | 2490.40354        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_03</a> | 784198.99542    | 0.004                 | 9964856.77864    | 0.004                  | 2491.34237        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_04</a> | 784416.15336    | 0.004                 | 9964848.95750    | 0.004                  | 2496.25102        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_05</a> | 784592.26216    | 0.004                 | 9965109.71824    | 0.004                  | 2499.72581        | 0.013                   |            |
| <a href="#">MIC_06</a> | 784559.57480    | 0.004                 | 9965333.85656    | 0.004                  | 2496.32511        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_07</a> | 784457.84534    | 0.004                 | 9965423.86391    | 0.003                  | 2502.15232        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_08</a> | 784370.52139    | 0.005                 | 9965499.65522    | 0.005                  | 2500.94364        | 0.016                   |            |
| <a href="#">MIC_09</a> | 784261.26182    | 0.003                 | 9965466.30272    | 0.003                  | 2491.41077        | 0.013                   |            |
| <a href="#">MIC_10</a> | 784068.94891    | 0.004                 | 9964667.90113    | 0.004                  | 2489.42439        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_11</a> | 784017.22540    | 0.005                 | 9964474.46949    | 0.005                  | 2491.35881        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_12</a> | 784659.61275    | 0.004                 | 9964723.44330    | 0.004                  | 2509.91993        | 0.014                   |            |
| <a href="#">MIC_13</a> | 784579.87340    | 0.005                 | 9964584.29506    | 0.005                  | 2509.85129        | 0.014                   |            |
| <a href="#">QU11</a>   | 778986.28608    | ?                     | 9976195.95707    | ?                      | 2895.66603        | 0.000                   | LLh        |

Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

Av. General Rumiñahui  
Ambato  
Sangolquí, Pichincha EC171103  
Ecuador

Phone:(02) 398-9400  
espe.edu.ec

Project File Data

Name: C:\Users\Usuario\OneDrive - UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE\Documents\Trimble  
Business Center\RED\_MIC\_IGS20.vee  
Size: 408 KB  
Modified: 2024-07-07 11:59:03 (UTC-5)  
Time zone: SA Pacific Standard Time  
Reference number:  
Description:  
Comment 1:  
Comment 2:  
Comment 3:

Coordinate System

Name: Ecuador/SIRGAS-Ecuador (2016.4)  
Zone: UTM Zone 17 Sur  
Datum: SIRGAS  
Global reference datum: ITRF2020  
Global reference epoch: 2015  
Geoid: EGM 2008 Ecuador  
Vertical datum:  
Calibrated site:

GNSS Loop Closure Results

Summary

Legs in loop: 3  
Number of Loops: 15  
Number Passed: 2  
Number Failed: 13

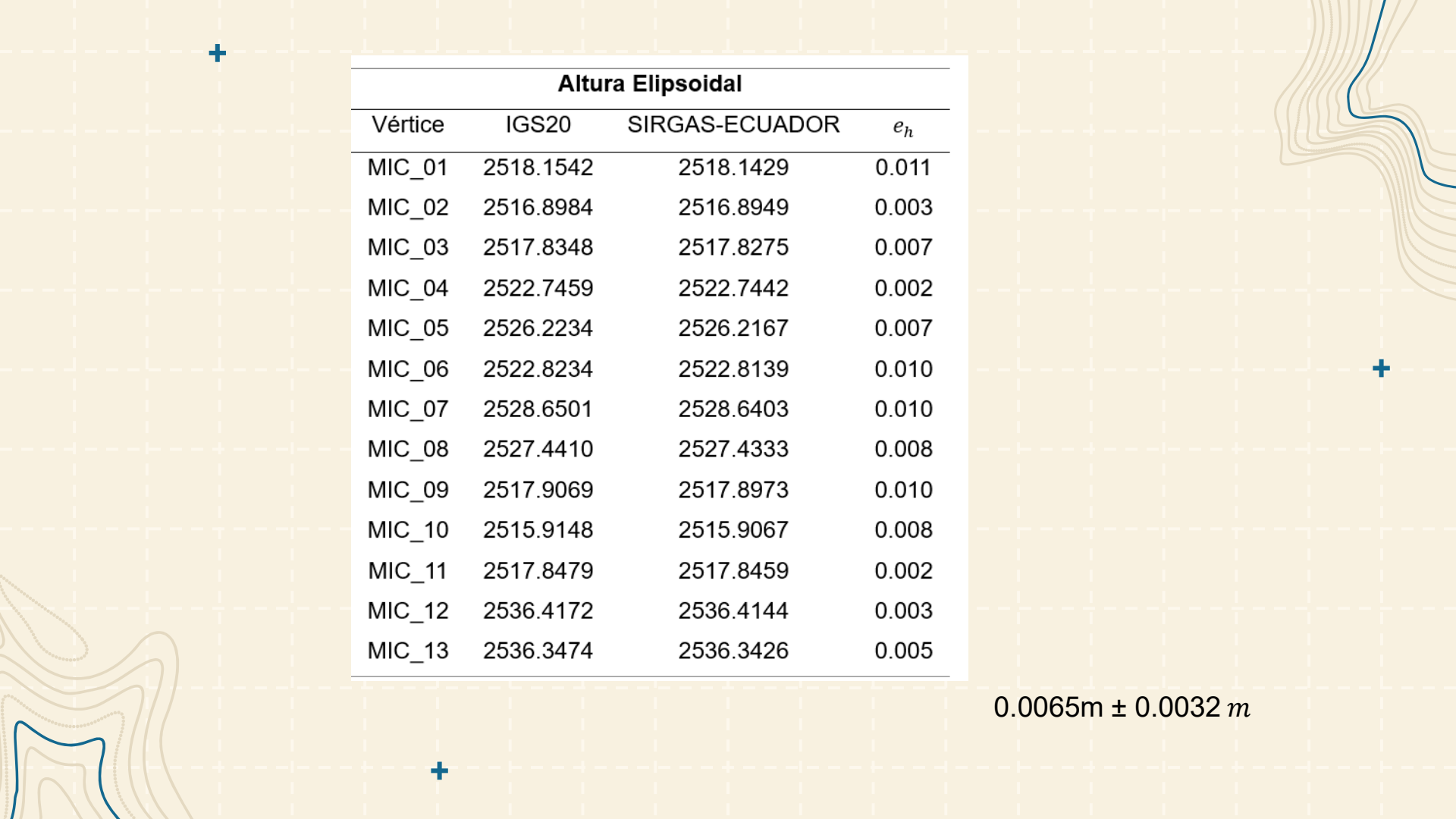
|                    | Length (Metre) | Δ3D (Metre) | ΔHoriz (Metre) | ΔVert (Metre) | PPM    |
|--------------------|----------------|-------------|----------------|---------------|--------|
| Pass/Fail Criteria |                |             |                |               | 1      |
| Best               | 0.001          | 0.000       | 0.000          | 0.000         | 0.106  |
| Worst              | 0.025          | 0.011       | 0.011          | -0.023        | 30.821 |
| Average Loop       | 10306.635      | 0.011       | 0.005          | 0.009         | 11.236 |
| Standard Error     | 35108.011      | 0.013       | 0.006          | 0.012         | 7.858  |

| Vértice | IGS20       |              | SIRGAS ECUADOR |              | $error_{este}$ | $error_{norte}$ | $error_{xy}$ |
|---------|-------------|--------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|
|         | Este [m]    | Norte [m]    | Este [m]       | Norte [m]    | [m]            | [m]             | [m]          |
| MIC_01  | 784254.8802 | 9965220.4776 | 784254.9011    | 9965220.4001 | -0.021         | 0.078           | 0.080        |
| MIC_02  | 784358.0509 | 9965032.5675 | 784358.0735    | 9965032.4866 | -0.023         | 0.081           | 0.084        |
| MIC_03  | 784198.9954 | 9964856.7786 | 784199.0198    | 9964856.6980 | -0.024         | 0.081           | 0.084        |
| MIC_04  | 784416.15   | 9964848.9575 | 784416.1747    | 9964848.8780 | -0.021         | 0.080           | 0.082        |
| MIC_05  | 784592.2622 | 9965109.7182 | 784592.2831    | 9965109.6414 | -0.021         | 0.077           | 0.080        |
| MIC_06  | 784559.5748 | 9965333.8566 | 784559.5955    | 9965333.7760 | -0.021         | 0.081           | 0.083        |
| MIC_07  | 784457.8453 | 9965423.8639 | 784457.8656    | 9965423.7826 | -0.020         | 0.081           | 0.084        |
| MIC_08  | 784370.5214 | 9965499.6552 | 784370.5429    | 9965499.5769 | -0.021         | 0.078           | 0.081        |
| MIC_09  | 784261.2618 | 9965466.3027 | 784261.2830    | 9965466.2244 | -0.021         | 0.078           | 0.081        |
| MIC_10  | 784068.9489 | 9964667.9011 | 784068.9720    | 9964667.8207 | -0.023         | 0.080           | 0.084        |
| MIC_11  | 784017.2254 | 9964474.4695 | 784017.2481    | 9964474.3902 | -0.023         | 0.079           | 0.083        |
| MIC_12  | 784659.6128 | 9964723.4433 | 784659.6360    | 9964723.3623 | -0.023         | 0.081           | 0.084        |
| MIC_13  | 784579.8734 | 9964584.2951 | 784579.8951    | 9964584.2161 | -0.022         | 0.079           | 0.082        |

Error medio:  $0.0825m \pm 0.0016 m$

Acimut medio:  $344^{\circ} 37' 27''$



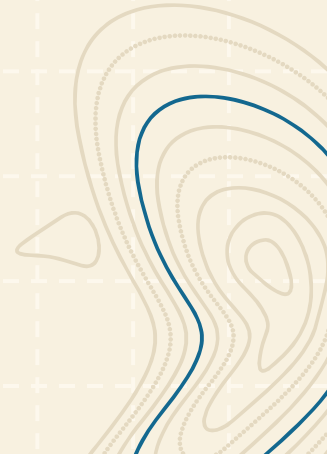
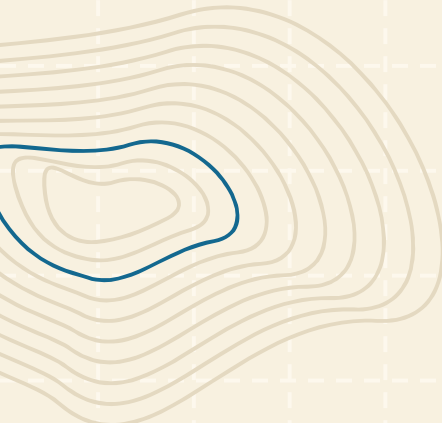


| Altura Elipsoidal |           |                |       |
|-------------------|-----------|----------------|-------|
| Vértice           | IGS20     | SIRGAS-ECUADOR | $e_h$ |
| MIC_01            | 2518.1542 | 2518.1429      | 0.011 |
| MIC_02            | 2516.8984 | 2516.8949      | 0.003 |
| MIC_03            | 2517.8348 | 2517.8275      | 0.007 |
| MIC_04            | 2522.7459 | 2522.7442      | 0.002 |
| MIC_05            | 2526.2234 | 2526.2167      | 0.007 |
| MIC_06            | 2522.8234 | 2522.8139      | 0.010 |
| MIC_07            | 2528.6501 | 2528.6403      | 0.010 |
| MIC_08            | 2527.4410 | 2527.4333      | 0.008 |
| MIC_09            | 2517.9069 | 2517.8973      | 0.010 |
| MIC_10            | 2515.9148 | 2515.9067      | 0.008 |
| MIC_11            | 2517.8479 | 2517.8459      | 0.002 |
| MIC_12            | 2536.4172 | 2536.4144      | 0.003 |
| MIC_13            | 2536.3474 | 2536.3426      | 0.005 |

$0.0065\text{m} \pm 0.0032\text{ m}$

|                          | RMSE <sub>x</sub> [m] | RMSE <sub>y</sub> [m] | RMSE <sub>r</sub> [m] | Exactitud Posicional [m] |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Planimetría</b>       | 0.002                 | 0.023                 | 0.023                 | 0.026                    |
| <b>Altura Elipsoidal</b> |                       | 0.007                 | 0.007                 | 0.014                    |





4.2

# Control Vertical

*Nivelación vértices geodésicos*

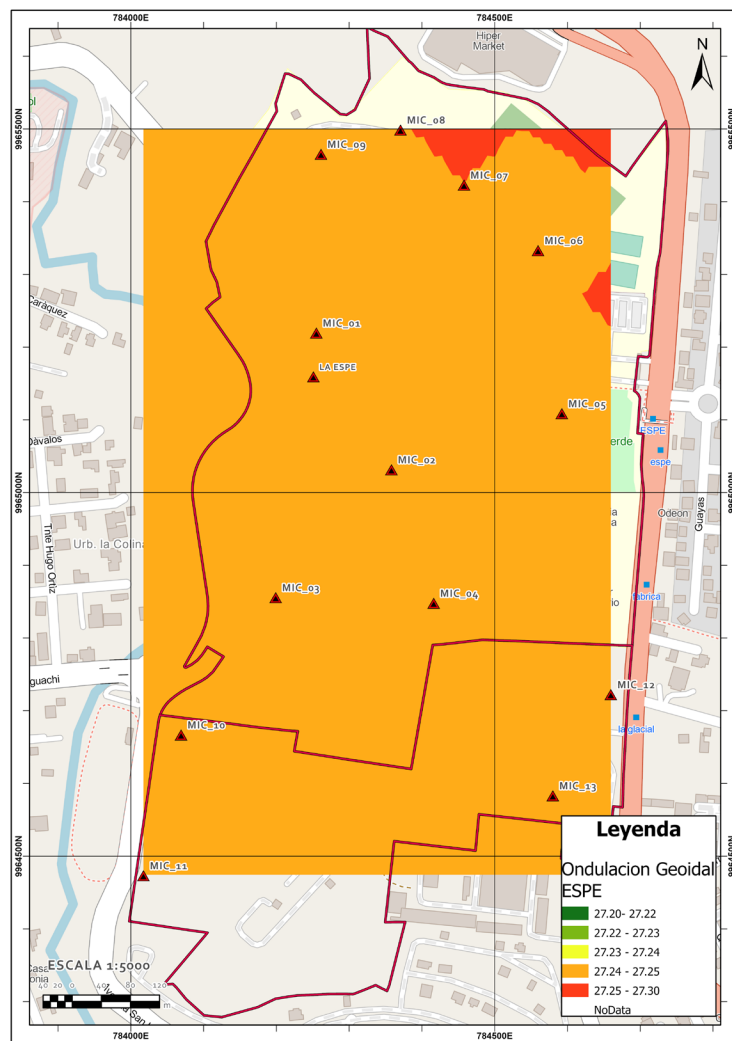


| PUNTO           | DESNIVEL | DISTANCIA | DISTANCIA |
|-----------------|----------|-----------|-----------|
| SR-P-1A         | 2497.217 | m         | Km        |
| MIC-05          | 1.766    | 169.5     | 0.170     |
| MIC-04          | -3.489   | 333.4     | 0.333     |
| MIC-13          | 13.607   | 718.4     | 0.718     |
| NIV-6           | -1.121   | 162.2     | 0.162     |
| NIV-5           | -20.418  | 1003.1    | 1.003     |
| NIV-1           | -0.050   | 151.0     | 0.151     |
| MIC-03          | 3.109    | 214.9     | 0.215     |
| MIC-02          | -1.008   | 273.4     | 0.273     |
| MIC-01          | 1.264    | 268.9     | 0.269     |
| MIC-09          | -0.204   | 269.6     | 0.270     |
| MIC-08          | 9.546    | 125.9     | 0.126     |
| MIC-07          | 1.180    | 118.1     | 0.118     |
| MIC-06          | -5.808   | 136.4     | 0.136     |
| SR-P-1A         | 1.623    | 244.8     | 0.245     |
| CIERRE          | -0.003   | 8.19      | Orden I   |
| DISTANCIA TOTAL |          | 4189.6    | 4.190     |

+

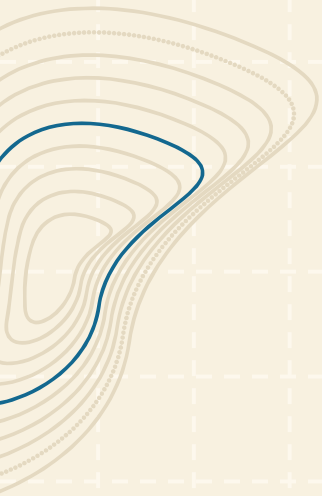
|       | Altura Elipsoidal | Altura Nivelada | Ondulación Geoidal |
|-------|-------------------|-----------------|--------------------|
| MIC1  | 2518.1542         | 2490.8792       | 27.275             |
| MIC2  | 2516.8984         | 2489.6150       | 27.283             |
| MIC3  | 2517.8348         | 2490.6228       | 27.212             |
| MIC4  | 2522.7459         | 2495.4942       | 27.252             |
| MIC5  | 2526.2234         | 2498.9829       | 27.241             |
| MIC6  | 2522.8234         | 2495.5936       | 27.230             |
| MIC7  | 2528.6501         | 2501.4015       | 27.249             |
| MIC8  | 2527.4410         | 2500.2214       | 27.220             |
| MIC9  | 2517.9069         | 2490.6754       | 27.232             |
| MIC10 | 2515.9148         | 2488.6886       | 27.226             |
| MIC11 | 2517.8479         | 2490.6262       | 27.222             |
| MIC12 | 2536.4172         | 2509.1808       | 27.236             |
| MIC13 | 2536.3474         | 2509.1017       | 27.246             |

+



| Desnivel    | Alturas<br>Elipsoidales [m] | Alturas Ortométricas<br>EGM08 [m] | Alturas Niveladas [m] |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| MIC01-MIC02 | 1.2558                      | 1.2558                            | 1.2642                |
| MIC02-MIC03 | -0.9365                     | -0.9388                           | -1.0078               |
| MIC03-MIC04 | -4.9110                     | -4.9087                           | -4.8714               |
| MIC04-MIC05 | -3.4776                     | -3.4748                           | -3.4888               |
| MIC05-MIC06 | 3.4000                      | 3.4007                            | 3.3893                |
| MIC06-MIC07 | -5.8267                     | -5.8272                           | -5.8079               |
| MIC07-MIC08 | 1.2091                      | 1.2087                            | 1.1801                |
| MIC08-MIC09 | 9.5340                      | 9.5329                            | 9.5461                |
| MIC09-MIC10 | 1.9921                      | 1.9864                            | 1.9867                |
| MIC10-MIC11 | -1.9331                     | -1.9344                           | -1.9376               |
| MIC11-MIC12 | -18.5693                    | -18.5611                          | -18.5546              |
| MIC12-MIC13 | 0.0698                      | 0.0686                            | 0.0791                |

| Vértice | Nivelación sin<br>modelo geoidal | Nivelación con<br>modelo EGM08 | Nivelación con modelo<br>geoidal local. |
|---------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
| MIC1    | 2490.8757                        | 2490.8793                      | 2490.8305                               |
| MIC2    | 2489.6200                        | 2489.6234                      | 2489.5663                               |
| MIC3    | 2490.5564                        | 2490.5623                      | 2490.5741                               |
| MIC4    | 2495.4674                        | 2495.4709                      | 2495.4455                               |
| MIC5    | 2498.9450                        | 2498.9457                      | 2498.9343                               |
| MIC6    | 2495.5450                        | 2495.5450                      | 2495.5450                               |
| MIC7    | 2501.3717                        | 2501.3722                      | 2501.3529                               |
| MIC8    | 2500.1626                        | 2500.1635                      | 2500.1728                               |
| MIC9    | 2490.6285                        | 2490.6307                      | 2490.6267                               |
| MIC10   | 2488.6364                        | 2488.6443                      | 2488.6400                               |
| MIC11   | 2490.5695                        | 2490.5787                      | 2490.5775                               |
| MIC12   | 2509.1388                        | 2509.1398                      | 2509.1322                               |
| MIC13   | 2509.0690                        | 2509.0712                      | 2509.0530                               |



### Sin modelo y EGM08

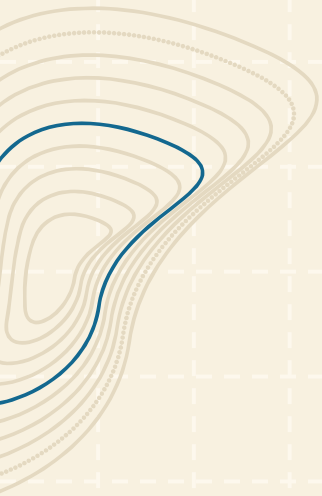
- *Error medio de 0.003 m., con un RMSE de 0.004 m y una exactitud posicional de 0.008 m.*

### Sin modelo y modelo local

- *Error medio de 0.016 m., con un RMS de 0.023 m con una exactitud posicional de 0.044 m.*

### Sin modelo y cotas niveladas

- *Error medio de 0.039 m  $\pm$ 0.019 m., con un RMS de 0.043 m. y exactitud posicional de 0.085 m.*



### **EGM08 y modelo local**

- *Error medio de 0.017 m., con un RMS de 0.024 m., con una exactitud posicional de 0.047 m.*

### **EGM08 y cotas niveladas**

- *Error medio de 0.036 m  $\pm$  0.017 m, con un RMS de 0.040 m y una exactitud posicional de 0.079 m.*

### **Niv GNSS geoide local y cotas niveladas**

- *Error medio y RMS de 0.049 m. y una exactitud posicional de 0.095 m.*

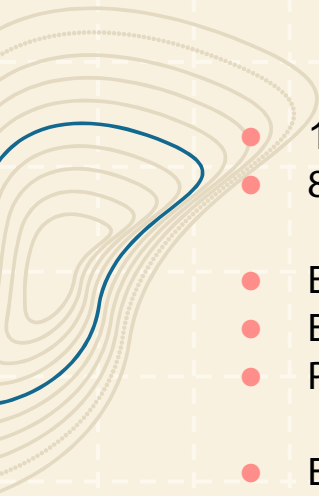


The background is a light beige color with a white dashed grid. On the left side, there are several concentric contour lines in a light tan color, with the innermost line being a darker blue. On the right side, there are also contour lines, with the outermost line being a darker blue. In the bottom left corner, there are three small blue plus signs arranged in a triangular pattern. In the bottom right corner, there is a small blue plus sign.

# 4.3

# Levantamiento

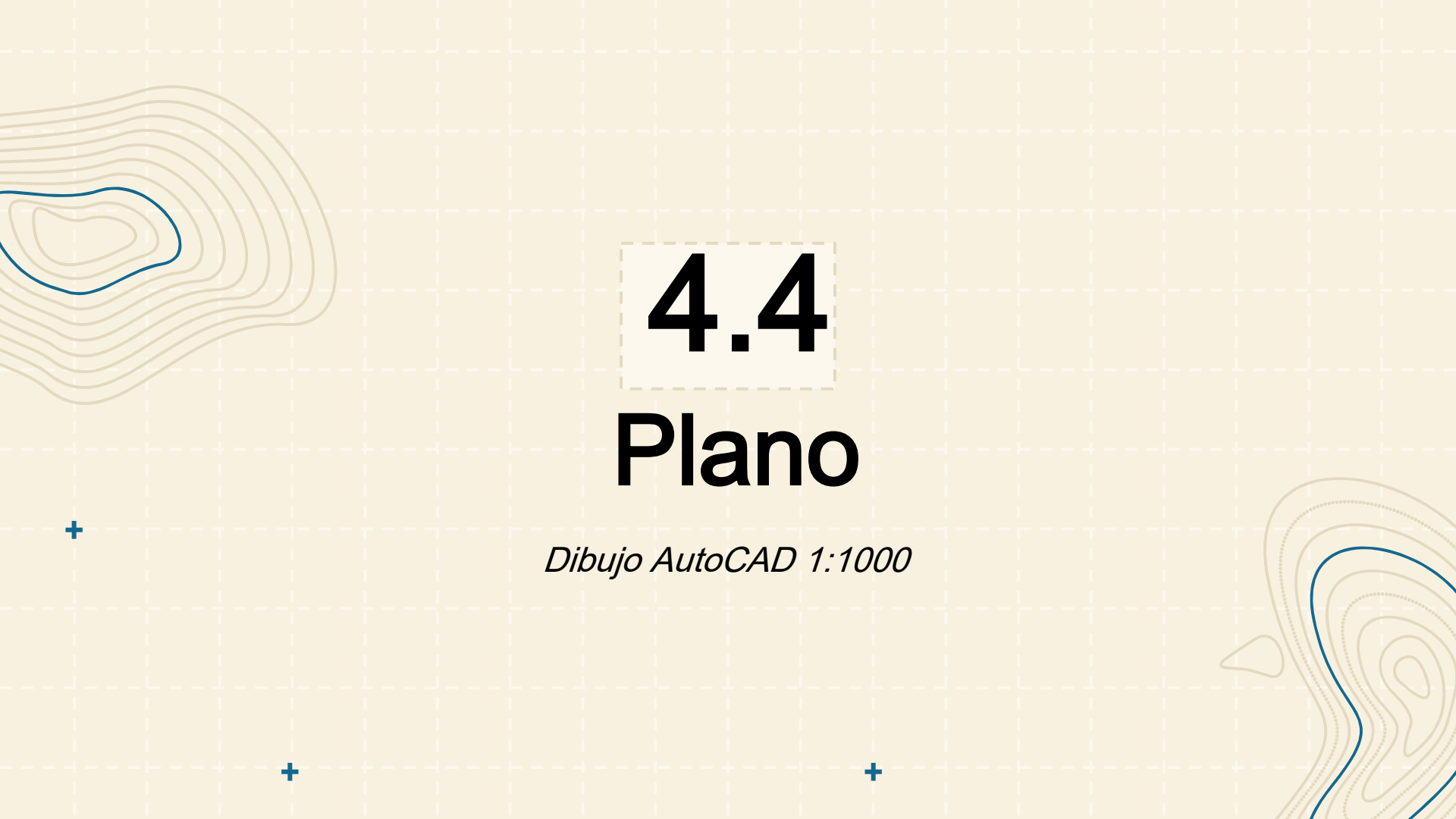
*Topografía con estación total*



- 12 247 líneas
- 8 828 puntos
- Error poligonal 1:
- Error Total: 0.211 m.
- Precisión Relativa 1:7368.569
- Error polígono 2:
- Error Total: 0.125 m.
- Precisión Relativa 1:9922.655
- Error polígono 3:
- Error Total: 0.108 m.
- Precisión Relativa 1:2845.147





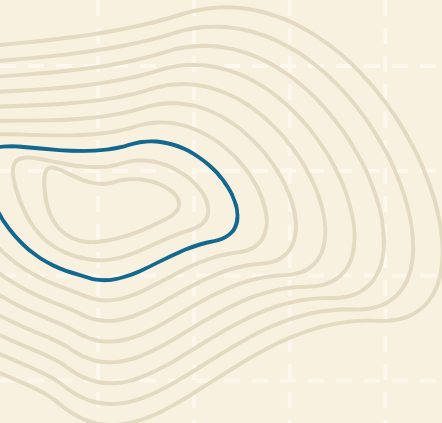
The background is a light beige color with a white dashed grid. On the left and right sides, there are stylized topographic contour lines in a light tan color. A single contour line on the left is highlighted in a darker blue. In the center, the text '4.4' is enclosed in a white square with a dashed tan border.

# 4.4

# Plano

*Dibujo AutoCAD 1:1000*

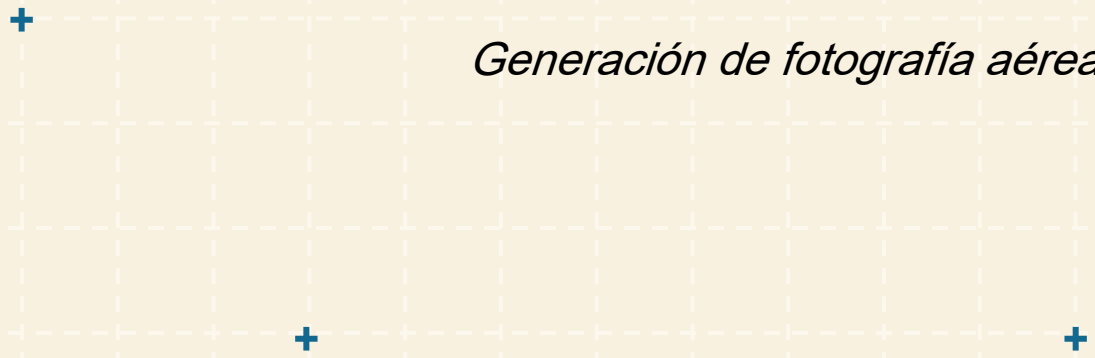
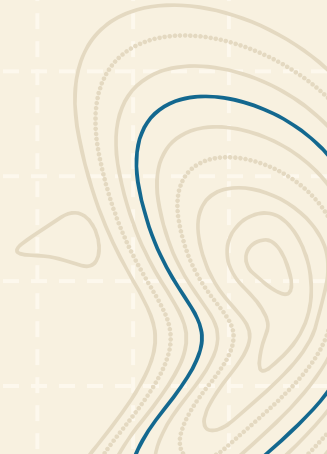


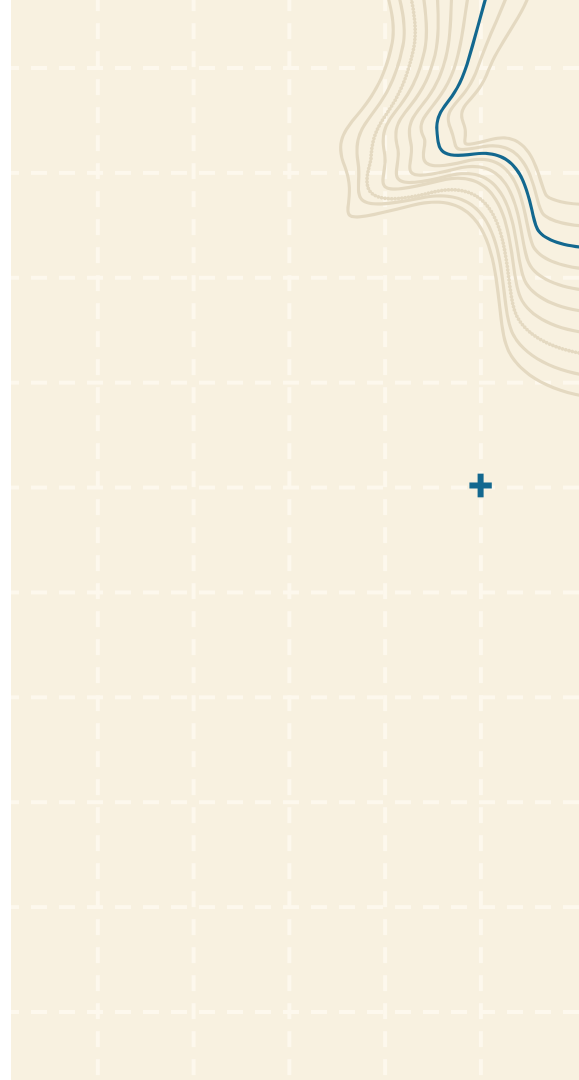


4.5

# Fotogrametría

*Generación de fotografía aérea con UAS*





The background is a light beige color with a white dashed grid. On the left and right sides, there are stylized topographic contour lines in a light tan color. One contour line on the left is highlighted in a darker blue. In the center, the number '4.6' is displayed in a large, bold, black font, enclosed within a white square with a dashed tan border.

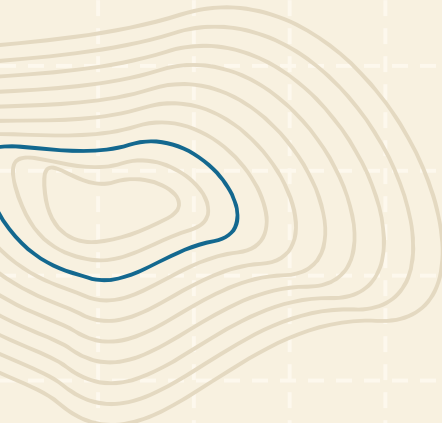
# 4.6

# Digitalización

*Vectorización sobre ortofoto*



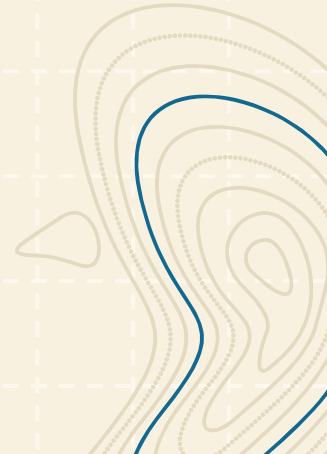




# 4.7

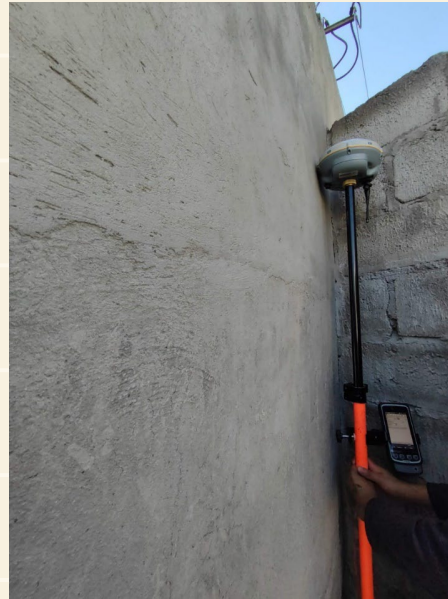
## Control de calidad

*Muestreo con GNSS cinemático*

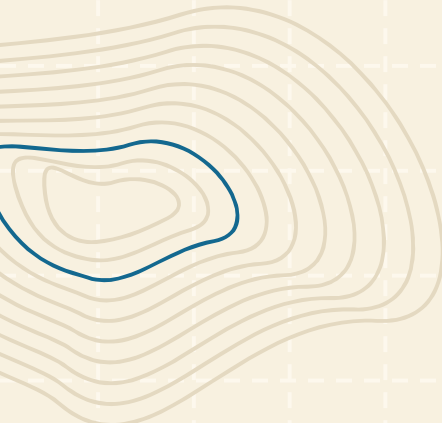




| Estación<br>REGME | Semana<br>GPS | Este [m]   | Norte [m]   | Alt.<br>Elipsoidal<br>[m] | Ond.<br>Geoidal<br>[m] | Elevación<br>[m] |
|-------------------|---------------|------------|-------------|---------------------------|------------------------|------------------|
| EPEC              | 1900          | 784250.812 | 9965160.359 | 2522.975                  | 26.511                 | 2496.464         |
|                   | 2318          | 784250.787 | 9965160.437 | 2522.957                  | 27.241                 | 2495.716         |
| Diferencias       | 418           | 0.025      | -0.078      | 0.018                     | -0.730                 | 0.748            |



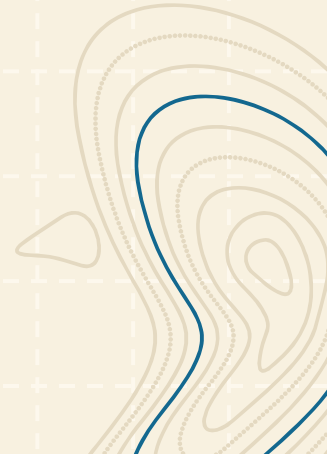




4.8

# Análisis comparativo

*Comparativa entre diferentes métodos*



| Estación Total vs. RTK. |            |            |          |
|-------------------------|------------|------------|----------|
| Estrato 01              | Estrato 02 | Estrato 03 |          |
| Tamaño muestra          | 51         | 38         | 22       |
| Error Medio             | 0.099 m.   | 0.128 m.   | 0.115 m. |
| Desviación estándar     | 0.073 m.   | 0.088 m.   | 0.115 m. |
| RMSE <sub>x</sub>       | 0.065 m.   | 0.082 m.   | 0.057 m. |
| RMSE <sub>y</sub>       | 0.032 m.   | 0.066 m.   | 0.074 m. |
| RMSE <sub>z</sub>       | 0.764 m.   | 0.914 m.   | 0.843 m. |
| RMSE <sub>r</sub>       | 0.073 m.   | 0.105 m.   | 0.093 m. |
| Exactitud posicional r  | 0.105 m.   | 0.158 m.   | 0.140 m. |
| Exactitud posicional z  | 1.984 m.   | 1.792 m.   | 1.652 m. |

| RTK vs NTRIP           |            |            |          |
|------------------------|------------|------------|----------|
| Estrato 01             | Estrato 02 | Estrato 03 |          |
| Tamaño muestra         | 19         | 3          | 5        |
| Error Medio            | 0.108 m.   | 0.187 m.   | 0.129 m. |
| Desviación estándar    | 0.045 m.   | 0.063 m.   | 0.077 m. |
| RMSE <sub>x</sub>      | 0.078 m.   | 0.073 m.   | 0.087 m. |
| RMSE <sub>y</sub>      | 0.086 m.   | 0.180 m.   | 0.118 m. |
| RMSE <sub>z</sub>      | 0.760 m.   | 0.716 m.   | 0.754 m. |
| RMSE <sub>r</sub>      | 0.116 m.   | 0.194 m.   | 0.146 m. |
| Exactitud posicional r | 0.176 m.   | 0.271 m.   | 0.220 m. |
| Exactitud posicional z | 1.489 m.   | 1.402 m.   | 1.477 m. |

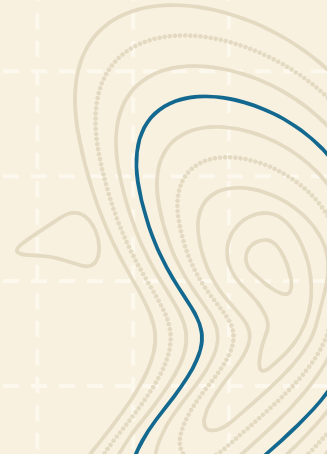
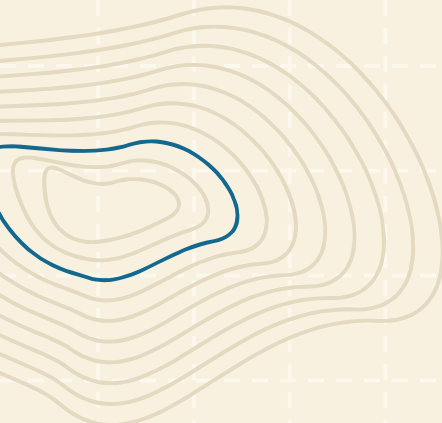
| NTRIP vs. Estación Total |            |            |          |
|--------------------------|------------|------------|----------|
| Estrato 01               | Estrato 02 | Estrato 03 |          |
| Tamaño muestra           | 20         | 5          | 5        |
| Error Medio              | 0.174 m.   | 0.149 m.   | 0.148 m. |
| Desviación estándar      | 0.086 m.   | 0.084 m.   | 0.065 m. |
| RMSE <sub>x</sub>        | 0.139 m.   | 0.047 m.   | 0.104 m. |
| RMSE <sub>y</sub>        | 0.134 m.   | 0.160 m.   | 0.120 m. |
| RMSE <sub>z</sub>        | 0.302 m.   | 1.044 m.   | 0.676 m. |
| RMSE <sub>r</sub>        | 0.193 m.   | 0.167 m.   | 0.159 m. |
| Exactitud posicional r   | 0.293 m.   | 0.222 m.   | 0.240 m. |
| Exactitud posicional z   | 0.591 m.   | 2.046 m.   | 1.324 m. |

| NTRIP vs. Dron         |            |            |          |
|------------------------|------------|------------|----------|
| Estrato 01             | Estrato 02 | Estrato 03 |          |
| Tamaño muestra         | 15         | 5          | 5        |
| Error Medio            | 0.089 m.   | 0.146 m.   | 0.112 m. |
| Desviación estándar    | 0.043 m.   | 0.081 m.   | 0.065 m. |
| RMSE <sub>x</sub>      | 0.076 m.   | 0.093 m.   | 0.094 m. |
| RMSE <sub>y</sub>      | 0.062 m.   | 0.134 m.   | 0.106 m. |
| RMSE <sub>r</sub>      | 0.098 m.   | 0.163 m.   | 0.112 m. |
| Exactitud posicional r | 0.143 m.   | 0.244 m.   | 0.214 m. |

| Dron vs. Estación Total |          |
|-------------------------|----------|
| Tamaño muestra          | 102      |
| Error Medio             | 0.238 m. |
| Desviación estándar     | 0.184 m. |
| RMSE <sub>x</sub>       | 0.057 m. |
| RMSE <sub>y</sub>       | 0.124 m. |
| RMSE <sub>r</sub>       | 0.136 m. |
| Exactitud posicional r  | 0.193 m. |

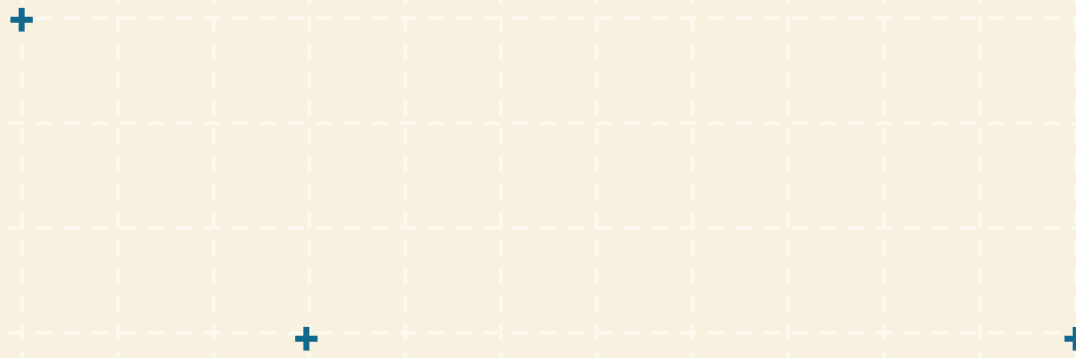
| Ítem                                      | Cantidad | Valor   | Total     |
|-------------------------------------------|----------|---------|-----------|
| Materialización Red de control horizontal | 1        | USD 400 | USD 400   |
| Medición Red control horizontal           | 12       | USD 300 | USD 3 600 |
| Red de control vertical                   | 4 km     | USD 250 | USD 1 000 |
| Levantamiento topográfico Estación Total  | 66 ha    | USD 80  | USD 5 280 |
| Levantamiento topográfico GNSS            | 66 ha    | USD 80  | USD 5 280 |
| Elaboración fotografía área               | 145 ha   | USD 20  | USD 2 900 |
| Vectorización                             | 70 ha    | USD 20  | USD 1 400 |

Fuente: Leiva&Leiva Ingeniería (2024).

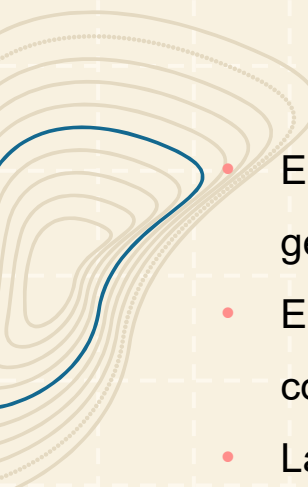


4.9

# Conclusiones



# Conclusiones

- 
- El sistema SIRGAS Ecuador tiene un desplazamiento medio de 8 cm respecto al geocentro , por lo que el marco geodésico debe ser actualizado.
  - El control vertical mediante métodos GNSS y métodos de nivelación convencional es fiable siempre y cuando se enlace a la RCBV.
  - Las técnicas GNSS a tiempo real están sujetas a diversos factores en función del entorno donde se pruebe.
  - Estación total requiere una carga de trabajo mas exigente y esta sujeto a errores, sin embargo alcanza áreas donde otras tecnologías no llegan.
  - El dron es mas eficiente en campo y gabinete.
  - GNSS RTK fue el método mas cercano a estación total.

# Recomendaciones

- 
- Se recomienda al IGM facilitar introducir coordenadas y cotas de sus estaciones bases.
  - Se debe realizar un análisis mas profundo de SIRGAS Ecuador
  - Se debe revisar el modelo SIRGAS2022.
  - Se debe estudiar las afectaciones de GNSS RTK en entornos urbanos

0

20

40

60

80

100

120

140

160

+

+

**¡GRACIAS!**

+

+





Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"  
Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción  
Carrera de Ingeniería Geoespacial  
PREGRADO 2024501 MAY24- SEP24  
Proyecto de Integración Curricular

*"Análisis comparativo entre levantamiento topográfico convencional con estación total, y levantamientos no convencionales como posicionamiento GNSS RTK y fotogrametría de corto alcance."*

Autor: Patricio Alexander Duque Páramo  
Director del proyecto: Ing. Marco Patricio Luna Ludeña, PhD  
Docente evaluador: Dr. Alfonso Rodrigo Tierra Criollo

+ Director de carrera: Ing. Alexander Alfredo Robayo Nieto, MSc.  
Secretario Académico: Abg. Carlos Darwin Calahorrano Mena

Sangolquí  
Agosto 2024



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

