

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE TECNOLOGIA  
CARRERA DE TOPOGRAFIA Y GEODESIA**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE APLICACIONES GEOMATICAS  
(CIAG)**



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DETERMINACION DE VARIACIONES EN COORDENADAS DE  
OBSERVACIONES GNSS APLICANDO EL POST PROCESO DE DATOS CON  
PROGRAMAS COMERCIALES Y EL POSICIONAMIENTO PUNTUAL PRECISO  
(PPP) EN LINEA**

**M.SC. HUBER AUGUSTO MAMANI GUTIERREZ**

**La Paz - Bolivia**

**2018**

*“Nada tiene tanto poder para ampliar la mente como la capacidad de investigar de forma sistemática y real todo lo que es susceptible de observación en la vida” (Marco Aurelio).*

*Aun entiendo que he avanzado muy poco para comprender el todo, el cual es infinito, sin embargo de igual magnitud es mi interés para alcanzarlo. Gracias por permitirme iniciar este gran camino.*

# INDICE

	Página
<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>PLANTEAMIENTO GENERAL .....</b>	<b>2</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA .....	4
1.4. HIPÓTESIS .....	4
1.5. OBJETIVOS .....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos Específicos .....	5
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. PROGRAMAS COMERCIALES DE PROCESAMIENTO Y AJUSTE DE DATOS GPS .....	6
2.1.1. Elección del Software .....	6
2.1.1.1. Leica Geo Office .....	7
2.1.1.2. Trimble Business Center (TBC) .....	8
2.1.1.3. BERNESE GPS Software .....	9
2.2. APLICACIÓN WEB.....	10
2.3. SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN LÍNEA .....	11
2.3.1. Fundamentos.....	12
2.4. SERVICIOS DE POST-PROCESO DE POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL .....	13
2.4.1. AUSPOS - Online GPS Processing Service .....	14
2.4.2. Trimble CenterPoint RTX (Real Time eXtended) Post-Processing.....	15
2.4.3. Online Positioning User Service (OPUS).....	18
2.4.4. Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT) .....	20
2.5. Servicios de post-proceso de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP).....	22
2.5.1. Automatic Precise Positioning Service (APPS).....	24
2.5.2. Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE-PPP) .....	26
2.5.3. GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS) .....	27
2.6. Servicio Internacional de GNSS (IGS).....	29
2.7. Datum geodésico.....	31
2.8. Marco de Referencia .....	32

	Página
2.9. Sistemas de referencia geodésicos.....	32
2.9.1. Sistemas Geodésicos Locales.....	32
2.9.2. Sistemas Geocéntricos.....	32
2.10. Sistema de Referencia Terrestre Internacional – ITRS .....	33
2.11. Marco de Referencia Terrestre Internacional – ITRF.....	33
2.12. Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF) .....	33
2.13. SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas .....	35
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>37</b>
<b>METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS .....</b>	<b>37</b>
3.1. METODOLOGIA.....	37
3.1.1. Tipo de investigación.....	37
3.1.2. Diseño de la investigación .....	37
3.1.3. Método experimental .....	38
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS .....	39
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>44</b>
<b>APLICACIÓN PRÁCTICA.....</b>	<b>44</b>
4.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	44
4.2. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO .....	45
4.3. OBSERVACIONES GNSS .....	46
4.3.1. Planificación.....	46
4.3.2. Trabajo de campo.....	48
4.4. TRANSFORMACION A DATOS RINEX .....	51
4.5. PROCESO Y AJUSTE DE DATOS GPS CON PROGRAMAS COMERCIALES.....	54
4.5.1. Verificación de referencia de coordenadas a los ITRF .....	55
4.5.2. Cálculo de las coordenadas de las estaciones BLPZ y CBMB a ITRF2014 época 2018.69 .....	56
4.5.3. Proceso y ajuste de datos GPS en Leica Geo Office .....	59
4.6. POST-PROCESO DE DATOS GPS MEDIANTE SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN LINEA. ....	60
4.6.1. Post-proceso mediante servicios de posicionamiento diferencial .....	61
4.6.2. Post-proceso mediante servicios de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP). ....	64
4.7. TRANSFORMACION DE COORDENADAS CARTESIANAS A UTM .....	67
4.8. ANALISIS DE RESULTADOS .....	68
4.8.1. Comparación en coordenadas Este, Norte y Altura elipsoidal .....	69

	Página
4.8.1.1. Sesiones de 4 a 6 horas .....	69
4.8.1.2. Sesiones de 2 horas .....	74
4.8.1.3. Sesiones de media hora .....	79
4.8.2. Verificación de diferencias de coordenadas mediante el análisis estadístico .....	84
4.8.2.1. Análisis estadístico para las coordenadas de Leica Geo Office y Trimble RTX (sesión de 4 – 6 horas). .....	85
4.8.2.2. Análisis estadístico para las coordenadas de Leica Geo Office y APPS (sesión de media hora). .....	94
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>104</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	104
5.2. RECOMENDACIONES.....	106
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>108</b>

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

	Página
<b>Fotografía 1:</b> Equipos Geodésico South S86S y accesorios.....	39
<b>Fotografía 2:</b> Equipos Geodésico Trimble R4-3 y sus accesorios.....	39
<b>Fotografía 3:</b> Trípodes utilizados en la investigación. ....	40
<b>Fotografía 4:</b> GPS Navegador AndroiTS GPS, aplicación de celular. ....	40
<b>Fotografía 5:</b> Material de campo distribuido a cada brigada. ....	41
<b>Fotografía 6:</b> Punto PAL – 03 ubicado en el sector de El Palomar. ....	45
<b>Fotografía 7:</b> Planilla de campo GPS. ....	50
<b>Fotografía 8:</b> Fotografía del punto MEC-01.....	50
<b>Fotografía 9:</b> Fotografía panorámica del punto MEC-01.....	51

## INDICE DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1:</b> Precisiones en PPP. ....	3
<b>Cuadro 2:</b> Puntos de la Red Geodésica de Mecapaca utilizados en la investigación.....	46
<b>Cuadro 3:</b> Estaciones Base utilizadas en la investigación. ....	48
<b>Cuadro 4:</b> Sesión programada para las observaciones GNSS.....	49
<b>Cuadro 5:</b> Tiempos de sesión observados en las estaciones.....	49
<b>Cuadro 6:</b> Tiempos de sesión establecidos para la generación de archivos RINEX. ....	54
<b>Cuadro 7:</b> Coordenadas de la estación BLPZ referidas al ITRF2014 época 2018.69. ....	59
<b>Cuadro 8:</b> Coordenadas de la estación CBMB referidas al ITRF2014 época 2018.69.....	59
<b>Cuadro 9:</b> Tiempos de sesión sujetos a post-proceso.....	64
<b>Cuadro 10:</b> Tiempos de sesión sujetos a post-proceso en PPP.....	67
<b>Cuadro 11:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS. ....	69
<b>Cuadro 12:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – Trimble RTX. ....	70
<b>Cuadro 13:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – APPS.....	71
<b>Cuadro 14:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP. ....	72
<b>Cuadro 15:</b> Comparación de diferencias entre servicios de posicionamiento. ....	73
<b>Cuadro 16:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS. ....	74
<b>Cuadro 17:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – TRIMBLE RTX.....	75
<b>Cuadro 18:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – APPS.....	76
<b>Cuadro 19:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP. ....	77
<b>Cuadro 20:</b> Comparación de diferencias entre servicios de posicionamiento (2 horas). ....	78
<b>Cuadro 21:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS. ....	79
<b>Cuadro 22:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – TRIMBLE RTX.....	80
<b>Cuadro 23:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – APPS.....	81
<b>Cuadro 24:</b> Comparación de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP. ....	82
<b>Cuadro 25:</b> Comparación de diferencias entre servicios de posicionamiento (media hora). ....	83
<b>Cuadro 26:</b> Variación de las diferencias de coordenadas en función del tiempo de sesión. ....	84
<b>Cuadro 27:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Este).....	87
<b>Cuadro 28:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Este).....	88
<b>Cuadro 29:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Norte). ....	90
<b>Cuadro 30:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Norte). ....	91
<b>Cuadro 31:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Altura elipsoidal). ....	93
<b>Cuadro 32:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Altura elipsoidal). ....	94
<b>Cuadro 33:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Este).....	96
<b>Cuadro 34:</b> Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Este).....	97

**Cuadro 35:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Norte). .....99

**Cuadro 36:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Norte). .....100

**Cuadro 37:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Altura elipsoidal). ..102

**Cuadro 38:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Altura elipsoidal). .....103

## INDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1:</b> Programa de proceso y ajuste Leica Geo Office.....	7
<b>Figura 2:</b> Programa de proceso y ajuste Trimble Businnes Center. ....	9
<b>Figura 3:</b> Observación mediante el método de posicionamiento diferencial o relativo. ....	11
<b>Figura 4:</b> Observaciones GNSS por el método de Posicionamiento Puntual Preciso. ....	12
<b>Figura 5:</b> Funcionamiento básico de los servicios de posicionamiento en línea.....	13
<b>Figura 6:</b> Servicio de posicionamiento en línea, AUSPOS. ....	15
<b>Figura 7:</b> Servicio de posicionamiento en línea, Trimble CenterPoint RTX. ....	16
<b>Figura 8:</b> Infraestructura del servicio Trimble CenterPoint RTX. ....	17
<b>Figura 9:</b> Flujo de procesamiento en línea de OPUS. ....	18
<b>Figura 10:</b> Servicio de posicionamiento de OPUS.....	19
<b>Figura 11:</b> Interfaz de mapa en línea – SOPAC. ....	20
<b>Figura 12:</b> Servicio de posicionamiento de SCOUT. ....	22
<b>Figura 13:</b> Posicionamiento preciso a partir de un receptor. ....	23
<b>Figura 14:</b> Servicio de posicionamiento en línea de APPS. ....	25
<b>Figura 15:</b> Servicio de posicionamiento en línea IBGE PPP. ....	27
<b>Figura 16:</b> Servicio de posicionamiento en línea GAPS. ....	29
<b>Figura 17:</b> Mapa de la Red del IGS.....	31
<b>Figura 18:</b> Diseño del método experimental.....	38
<b>Figura 19:</b> Programas utilizados para la investigación. ....	42
<b>Figura 20:</b> Ubicación geográfica del área de estudio. ....	44
<b>Figura 21:</b> Predicción de GDOP para la estación MEC-01 – Mecapaca. ....	46
<b>Figura 22:</b> Utilización del programa Mission Planning de Ashtech.....	47
<b>Figura 23:</b> Estructuración de los datos GPS.....	52
<b>Figura 24:</b> Estructura del archivo RINEX.....	53
<b>Figura 25:</b> Coordenadas y época de las estaciones BLPZ y CBMB.....	56
<b>Figura 26:</b> Estaciones SIRGAS de operación continua. ....	57
<b>Figura 27:</b> Solución anual SIRGAS de la estación BLPZ. ....	58
<b>Figura 28:</b> Esquema de cálculo de las estaciones BLPZ y CBMB a IRTF2014 (2018.69). ....	58
<b>Figura 29:</b> Proceso y ajuste de datos GPS en Leica Geo Office. ....	60
<b>Figura 30:</b> Reporte de post-proceso de AUSPOS. ....	62
<b>Figura 31:</b> Reporte de post-proceso de Trimble CenterPoint RTX. ....	63
<b>Figura 32:</b> Página web de ingreso de datos de APPS.....	65
<b>Figura 33:</b> Página web de ingreso de datos de APPS.....	66
<b>Figura 34:</b> Transformación de coordenadas cartesianas a UTM.....	68

<b>Figura 35:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS. ....	69
<b>Figura 36:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – Trimble RTX. ....	70
<b>Figura 37:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – APPS. ....	71
<b>Figura 38:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP. ....	72
<b>Figura 39:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS. ....	74
<b>Figura 40:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – RTX. ....	75
<b>Figura 41:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – APPS. ....	76
<b>Figura 42:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP. ....	77
<b>Figura 43:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS. ....	79
<b>Figura 44:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – TRIMBLE RTX. ....	80
<b>Figura 45:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – APPS. ....	81
<b>Figura 46:</b> Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP. ....	82
<b>Figura 47:</b> Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Este).....	85
<b>Figura 48:</b> Grafica de normalidad y Valor P para TRIMBLE.RTX (Coord. Este).....	86
<b>Figura 49:</b> Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs TRIMBLE RTX (Coord. Este). ....	86
<b>Figura 50:</b> Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y TRIMBLE RTX (Coord. Este). ....	87
<b>Figura 51:</b> Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Norte).....	88
<b>Figura 52:</b> Grafica de normalidad y Valor P para TRIMBLE.RTX (Coord. Norte). ....	89
<b>Figura 53:</b> Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs TRIMBLE RTX (Coord. Norte) .....	89
<b>Figura 54:</b> Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y TRIMBLE RTX (Coord. Norte). ....	90
<b>Figura 55:</b> Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Altura elipsoidal) .....	91
<b>Figura 56:</b> Grafica de normalidad y Valor P para TRIMBLE.RTX (Altura elipsoidal). ....	92
<b>Figura 57:</b> Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs TRIMBLE RTX (Altura elipsoidal)...	92
<b>Figura 58:</b> Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y TRIMBLE RTX (Altura elipsoidal).....	93
<b>Figura 59:</b> Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Este).....	94
<b>Figura 60:</b> Grafica de normalidad y Valor P para APPS (Coord. Este).....	95
<b>Figura 61:</b> Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs APPS (Coord. Este). ....	95
<b>Figura 62:</b> Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y APPS (Coord. Este). ....	96
<b>Figura 63:</b> Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Norte) .....	97
<b>Figura 64:</b> Grafica de normalidad y Valor P para APPS (Coord. Norte). ....	98
<b>Figura 65:</b> Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs APPS (Coord. Norte) .....	98
<b>Figura 66:</b> Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y APPS (Coord. Norte).....	99
<b>Figura 67:</b> Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Altura elipsoidal) .....	100
<b>Figura 68:</b> Grafica de normalidad y Valor P para APPS (Altura elipsoidal). ....	101
<b>Figura 69:</b> Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs APPS (Altura elipsoidal).....	101
<b>Figura 70:</b> Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y APPS (Altura elipsoidal).....	102



## RESUMEN

---

La investigación determina las variaciones existentes entre las coordenadas proyectadas norte y este, así como las cartesianas, x, y, z de una serie de observaciones realizadas con equipos GNSS en el Municipio Autónomo de Mecapaca del Departamento de La Paz, realizando la comparación entre los resultados del post proceso de datos GPS con programas comerciales como Leica Geo Office, y el proceso realizado mediante los servicios de posicionamiento en línea tales como; el Posicionamiento Diferencial o Relativo y el Posicionamiento Puntual Preciso (PPP).

Se consideraron siete puntos dispersos de la Red Geodésica del Gobierno Autónomo de Mecapaca como grupo muestra, los cuales fueron observados en sesiones de; más de 4 hora; 2 horas y por último media hora, procesados y ajustados posteriormente con referencia a dos estaciones activas de la Red Geodésica MARGEN-SIRGAS del Instituto Geográfico Militar (IGM), y así también mediante cuatro servicios de posicionamiento en línea; dos diferenciales (AUSPOS – Servicio de procesamiento de GPS en línea), de Geociencias Australia del Gobierno de Australia y (Trimble CenterPoint RTX Post-Processing), el Servicio de Post-Procesamiento Trimble CenterPoint RTX, y dos de posicionamiento puntual preciso; (APPS - The Automatic Precise Positioning Service), Servicio de Posicionamiento Automático Preciso del Sistema Global de GPS Diferencial (GDG PS), dependiente de la NASA y el Posicionamiento por Punto Preciso (PPP) del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).

Los resultados muestran las diferencias de coordenadas, primero en relación a las determinadas con el programa Leica Geo Office, considerando para la investigación valores verdaderos y otro en relación de cada tipo de posicionamiento (diferencial y puntual preciso), obteniéndose como resultados variaciones inferiores a 6.3 cm, 6.5 cm y 51 cm en modo diferencial para sesiones de 4 a 6 horas, 2 horas y hora y media respectivamente, y variaciones inferiores a 13.9 cm, 15.6 cm y 94 cm para el puntual preciso para sesiones de 4 a 6 horas, 2 horas y hora y media respectivamente.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO GENERAL**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La aplicación de la tecnología del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), hoy en día se ve ampliamente utilizada para el establecimiento de puntos de control en trabajos de topografía, geodesia, agrimensura, obras civiles, etc. Asimismo, esta tecnología exige la utilización de programas comerciales de post proceso (con llaves físicas y licencias), que representan un costo adicional, además que por el método de procesamiento diferencial, necesitan del uso de una o dos estaciones base (activas o pasivas), que incrementa los costes del trabajo en general.

Sin embargo, diferentes organizaciones e instituciones a nivel mundial han desarrollado programas para el post-procesamiento en línea de datos GNSS. Estos programas son libres de costo para los usuarios y brindan un acceso casi ilimitado. El procedimiento es muy similar en cada uno de los servicios, se envían o suben archivos en formato RINEX o Hatanaka en el sitio web, vía URL o FTP, para posteriormente ser procesados y los resultados son enviados a una dirección de correo electrónico reportada previamente o pueden ser descargados de un enlace en la misma página web..

La evolución del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS - Global Navigation Satellite System), sumada a los progresos en la infraestructura terrestre (estaciones permanentes GNSS, Internet, etc.), la publicación de información satelital procesada (efemérides precisas, correcciones a los relojes de los satélites), y la mejora en las prestaciones del equipamiento disponible por parte de los usuarios, han dado lugar al desarrollo de nuevas modalidades de posicionamiento satelital, entre ellas, el Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) (Huerta et al., 2012).

Entre los servicios más utilizados se encuentran; APPS (Automatic Precise Positioning Service), CSRS (Canadian Spatial Reference System - PPP), AUSPOS (Australian Surveying and Land Information Group's Online GPS Processing), OPUS (Online Positioning

User Service), SCOUT (Scripps Coordinate Update Tool-SOPAC - Scripps Orbit And Permanent Array Center), IG entre otras.

Estos métodos han experimentado importantes avances en materia de precisión, exactitud y forma de obtención de los resultados, teniendo por ejemplo, en el caso del Instituto Brasileño de Geografía y Estadísticas (IBGE), el Posicionamiento por Punto Preciso (PPP), (<http://www.ppp.ibge.gov.br/>), las siguientes estimaciones en cuanto a precisiones:

Obs. >	Una frecuencia		Dos frecuencias	
	Planim.	Altim.	Planim.	Altim.
3 hs	0.40	0.70	0.05	0.06
6 hs	0.20	0.40	0.02	0.04
24 hs	0.10	0.30	0.01	0.02

**Cuadro 1:** Precisiones en PPP.

**Fuente:** Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

Es importante considerar que los métodos de establecimiento de puntos de control, densificación u otros, en nuestra región dependen necesariamente de estaciones bases activas o pasivas, que hay veces resultan estar sin funcionamiento, con desperfecto del equipo de recepción o simplemente algún accidente fortuito que impide tener la información del receptor para posteriormente realizar el post-proceso, perjudicando definitivamente el trabajo ejecutado.

En este sentido las precisiones centimétricas alcanzadas mediante los servicios de posicionamiento en línea resultan ser interesantes para una serie de aplicaciones en el campo de la geodesia y otras ramas donde el establecimiento de puntos de control son necesarios, considerando que la obtención de las coordenadas precisas de un receptor únicamente requieren de sus observaciones, es decir sin apelar al posicionamiento diferencial respecto a un receptor base, debido a esta independencia puede llegar a ser una alternativa ideal de solución en estos casos.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Considerando los antecedentes sobre las precisiones centimétricas alcanzadas con los servicios de posicionamiento en línea, como el diferencial y el puntual preciso (PPP), se hace necesario realizar un trabajo comparativo de coordenadas obtenidas mediante estos servicios en línea respecto a las coordenadas obtenidas mediante el proceso y ajuste de datos GPS con programas comerciales, además ajustadas a estaciones base correspondientes a marcos de referencia precisos como el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), en el caso de Bolivia la Red MARGEN - SIRGAS del Instituto Geográfico Militar, que den fe de los niveles de precisiones a las que se pueden alcanzar y las posibles aplicaciones.

Por tanto, la investigación pretende mediante el análisis sistemático y comparativo de coordenadas determinar: **las variaciones de las coordenadas proyectadas (norte, este), de una serie de puntos de muestreo, aplicando el post-proceso con programas comerciales y los servicios de posicionamiento en línea (diferencial y puntual preciso - PPP).**

## 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Existen variaciones de coordenadas proyectadas (norte, este), obtenidas mediante el post-proceso de datos GNSS con programas comerciales y los servicios de posicionamiento en línea?

## 1.3. HIPÓTESIS

**Ha:** Las variaciones de coordenadas obtenidas mediante el post-proceso de datos GNSS con programas comerciales y los servicios de posicionamiento en línea, no presentan variaciones significativas.

**Ho:** Las variaciones de coordenadas obtenidas mediante el post-proceso de datos GNSS con programas comerciales y los servicios de posicionamiento en línea, si presentan variaciones significativas.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar las variaciones de coordenadas de observaciones GNSS aplicando el post-proceso de datos con programas comerciales y los servicios de posicionamiento en línea, diferencial y puntual preciso (PPP).

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar una serie de puntos de muestreo correspondientes a la Red Geodésica del Gobierno Autónomo Municipal de Mecapaca.
- Realizar la observación de los puntos de muestreo utilizando equipos GNSS geodésicos.
- Realizar el proceso y ajuste de datos GPS, utilizando programas comerciales.
- Realizar el post-proceso de datos GPS, utilizando los servicios de posicionamiento en línea tanto diferencial como puntual preciso (PPP).
- Realizar las transformaciones a coordenadas UTM de los resultados obtenidos mediante el proceso en línea.
- Determinar la variación de coordenadas entre los diferentes procesos mediante el análisis comparativo.
- Analizar los resultados de las variaciones de coordenadas y establecer posibles aplicaciones.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEORICO**

Algunos de las definiciones más importantes a considerar en la investigación que permitan comprender la temática del estudio se detallan a continuación:

#### **2.1. PROGRAMAS COMERCIALES DE PROCESAMIENTO Y AJUSTE DE DATOS GPS**

Hoy en día el GPS es una tecnología casi indispensable en muchos campos de la vida civil y militar, no obstante, en sus orígenes fue concebido como un elemento puntero de aplicación al ámbito castrense. Dentro de las fronteras de su utilización como ayuda militar, se reveló como revolucionario, alterando la noción del campo de batalla. En su primera participación al servicio de un ejército, el estadounidense durante la Guerra del Golfo Pérsico (1991), fue empleado profusamente, convirtiéndose, en palabras de cierto importante general norteamericano, en lo más relevante en cuanto a equipamiento utilizado, junto con la tecnología de visión nocturna. Sin embargo, es desde hace menos tiempo, y será en especial en un futuro, cuando el NAVSTAR GPS y sus equivalentes europeo (GALILEO), ruso (GLONASS), etc., desplieguen todo su potencial y lo pongan al servicio de toda la población.

Sin embargo un componente necesario para el uso de toda esta tecnología, resulta ser los programas (software), de procesamiento y ajuste de datos GPS (buscando el posicionamiento de los puntos observados), los mismos permiten procesar datos provenientes de diferentes métodos de observación y la asignación de los parámetros necesarios.

##### **2.1.1. Elección del Software**

El primer paso para llevar adelante el procesamiento y ajuste de datos GPS así como de redes geodésicas, es el determinar cuál sería el software más conveniente a utilizar. Para lo cual se cuenta con una serie de programas, generados en su mayoría, por las mismas empresas fabricantes de equipos GNSS.

Se debe considerar aspectos como; programas más comerciales y accesibles como Leica Geo Office y GNSS Solutions, otros que requieren de llaves físicas para el proceso como el Trimble Business Center (TBC) y el GeoMax Geo Office o aquellos considerados como científicos como el GAMIT-GLOBK (Department of Earth Atmospheric and Planetary Sciences – Massachusetts), GIPSY-OASIS (Jet Propulsion Laboratory – NASA) y el BERNESE de la Universidad de Berna.

#### 2.1.1.1. Leica Geo Office

Es un programa de procesamiento y ajuste de datos GPS y de otros equipos topográficos-geodésicos, mediante el cual se puede obtener los mejores resultados al administrar y combinar datos. Solo requiere la importación y combinación de datos de todos los instrumentos para producir los resultados finales:

- Soporte de instrumentos GNSS
- Soporte de instrumento TPS
- Soporte de instrumentos de nivel



**Figura 1:** Programa de proceso y ajuste Leica Geo Office.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Presenta varias opciones de procesamiento en su clase, en los campos de topografía y procesamiento de datos GNSS:

- Procesamiento de datos GNSS utilizando técnicas de SmartCheck.

- Procesamiento de TPS: desde actualizaciones simples de la estación hasta recorridos complejos.
- Procesamiento de nivel.
- Ajustes de red combinados.
- Cálculos COGO, transformaciones de datum y cálculos de volumen<sup>1</sup>.

### **2.1.1.2. Trimble Business Center (TBC)**

Es un software de uso comercial que se recomienda para mediciones realizadas mediante instrumental de Trimble. Permite editar, procesar y ajustar datos de todos los instrumentos de Trimble; entre sus opciones podemos agregar que es posible ponderar, utilizar pesos y seleccionar las observaciones que se utilizan como datos del procesamiento.

Como software de datos geoespaciales proporciona a los usuarios la capacidad de editar, procesar y ajustar de manera eficiente los datos geoespaciales y crear entregables con confianza expresados en:

- **Integración de todos los tipos de datos geoespaciales**

Permite reducir la cantidad de paquetes de software y reducir la capacitación y el mantenimiento:

- Soporte para cualquier nivel, estación total, GNSS, escaneo, imágenes y datos UAS.
- Integración perfecta de sensores.
- Apoyo de flotas mixtas.

- **Confianza en sus resultados**

Asegura que los datos sean correctos en todo momento y que cumpla con los altos estándares de la encuesta al tener:

- Trazabilidad completa de las operaciones de campo.
- QA / QC, herramientas de procesamiento y ajuste.
- Informes personalizados y exportación.

---

<sup>1</sup> HEXAGON GEOSYSTEMS, Leica Geosystems, Leica Geo Office – un software de oficina integrado, 2018 (<https://leica-geosystems.com/products/total-stations/software/leica-geo-office>).

- **Interoperabilidad CAD/GIS**

Permite intercambiar datos e información con sus clientes de manera efectiva:

- Extraer el esquema y los datos y escribir en Geodatabase Enterprise y Archivo directamente.
- Integrar con ProjectWise e intercambiar los diseños para el replanteo con Bentley utilizando i-model.
- Intercambiar dibujos e información de superficie con usuarios de Autodesk<sup>2</sup>.



**Figura 2:** Programa de proceso y ajuste Trimble Business Center.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.1.1.3. BERNESE GPS Software

Es un paquete de post-procesamiento GPS/GLONASS de alto rendimiento y de gran exactitud y flexibilidad. Sus características más importantes son el modelado de redes, el control detallado de todas las opciones de procesamiento, utilidades adecuadas de automatización, la adhesión a las normas actualizadas de adopción internacional, y la flexibilidad inherente debido a un diseño altamente modular.

Entre las aplicaciones de este programa se pueden citar las siguientes: procesamiento rápido de observaciones de frecuencia simple y doble, procesamiento automático de las redes permanentes, procesamiento de datos de un gran número de receptores, la

---

<sup>2</sup> Trimble, Trimble Business Center (TBC) una poderosa suite de software de datos geoespaciales, 2018 (<http://infogeoespacial.trimble.com/TBC-LP-v410-Official.html>).

combinación de diferentes tipos de receptores, tratamientos combinados de observaciones GPS y GLONASS, resolución de líneas de base largas (2000 km y más), monitoreo de la ionosfera y la troposfera, determinación y estimación de parámetros de orientación de la Tierra.

BERNESE es un programa científico de compensación de redes GNSS desarrollado por la Universidad de Berna. A diferencia de los programas comerciales, tiene en cuenta multitud de parámetros que se obvian en una compensación con programas comerciales, como son:

- Datos de ionosfera para efemérides precisas.
- Modelo troposférico calculado.
- Archivo de coordenadas aproximadas.
- Velocidades de las estaciones (placas).
- Movimiento del polo.
- Modelo de nutación y modelo del polo y rotación.
- Efemérides planetarias.
- Sesgos instrumentales.
- Cargas oceánicas<sup>3</sup>.

## 2.2. APLICACIÓN WEB

Una aplicación web es un programa de software al que se accede a través de un navegador web. Es decir, sólo se debe ingresar una dirección web a través del navegador y así se accede a la aplicación, siempre en su versión más reciente. Con esto, no se requieren descarga, instalación o actualizaciones.

Esta característica hace que la aplicación sea multiplataforma, que significa que es independiente tanto del sistema operativo, como del dispositivo en que se ejecute.

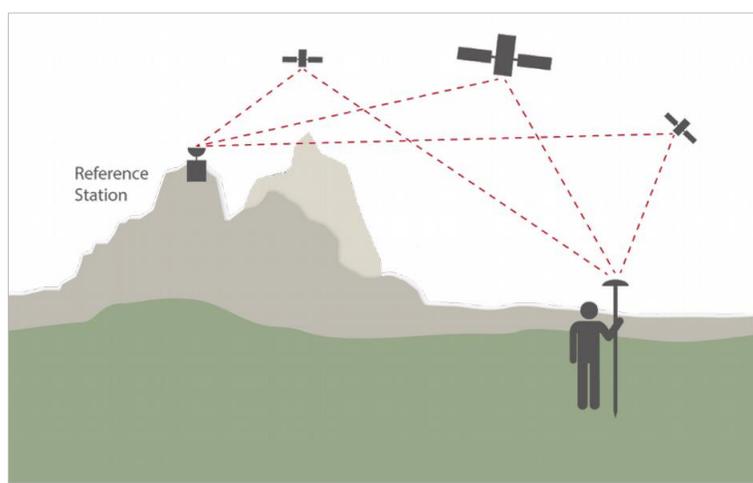
---

<sup>3</sup> Natalia Garrido V., Investigando sobre GNSS y delimitación de la propiedad, 2014 (<https://nagarvil.webs.upv.es/bernese-redes-gnss/>).

En resumen, cualquier dispositivo (PC o móviles) con cualquier sistema operativo (GNU/Linux, Windows, Android, iOS, etc.) y cualquier navegador web (Firefox, Chrome, Opera, Safari, InternetExplorer, etc.), es, o debería ser, apto para utilizar una aplicación web.

### 2.3. SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN LÍNEA

Los servicios en línea son servicios prestados por aplicaciones web a través de internet. En particular, hay dos tipos de servicio de posicionamiento en línea, ambos son de post-proceso, es decir, están disponibles para su utilización luego de la recolección de observaciones GNSS.

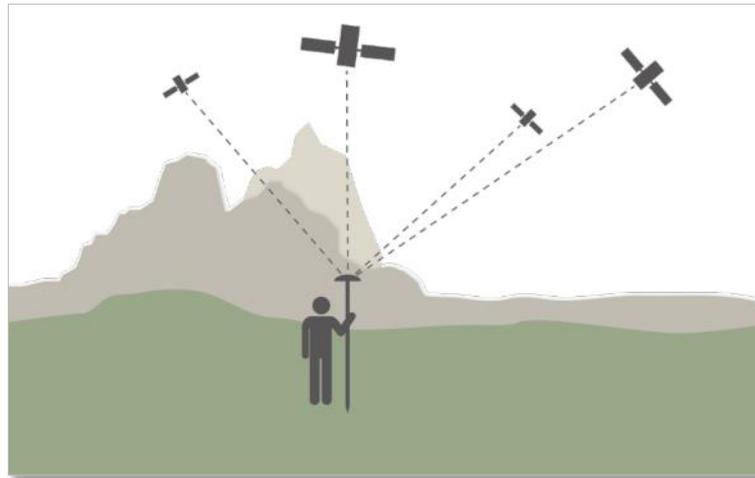


**Figura 3:** Observación mediante el método de posicionamiento diferencial o relativo.

**Fuente:** Santiago Pestarini, 2016.

Uno es el llamado posicionamiento diferencial o relativo, que involucra las observaciones en simultaneo de dos o más receptores a los mismos satélites, a las que utiliza para eliminar las influencias de las fuentes de error a través de la doble (o triple), diferencia entre observaciones, y luego calcular la posición de uno de los receptores en relación al/a los restantes.

El otro es de tipo absoluto y es el llamado Posicionamiento Puntual Preciso (PPP), es decir involucra observaciones de un solo receptor, a las que debe aplicar modelos precisos de corrección para todos los fenómenos físicos que las afectan, que se pueden agrupar en efectos satelitales y efectos de desplazamiento local. Por último, se obtiene la posición absoluta del receptor.



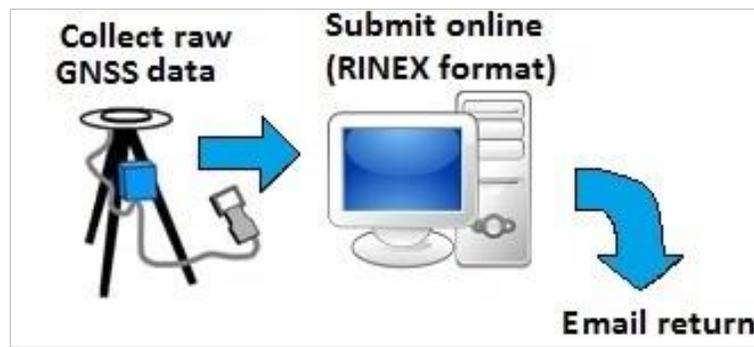
**Figura 4:** Observaciones GNSS por el método de Posicionamiento Puntual Preciso.  
**Fuente:** Santiago Pestarini, 2016.

Hay algunas diferencias, pero la más importante es que todos los servicios procesan observaciones (en formato de archivos RINEX), y devuelven los resultados expresado en algún Marco de Referencia determinado y para una época determinada. En general, en ITRF2014 y para la época de medición de las observaciones.

### **2.3.1. Fundamentos**

Los servicios en línea, son servicios prestados a través de internet, en el caso de los servicios de posicionamiento, el servicio prestado es el de procesamiento de datos GNSS recolectados por el usuario y, como resultado, se devuelven un conjunto de coordenadas calculadas a partir de dichos datos.

Si bien cada servicio tiene sus particularidades, todos prácticamente funcionan fundamentalmente de la misma manera; reciben archivos RINEX de observaciones GNSS recolectados en campo (más unos pocos parámetros de configuración para el procesamiento), y devuelven coordenadas ITRF 2014 para la misma época de dichas observaciones, cual es el marco de referencia de los satélites, por supuesto que cada servicio también ofrece otros marcos de referencia, en especial los oficiales de cada país de origen.



*Figura 5: Funcionamiento básico de los servicios de posicionamiento en línea.  
Fuente: CSRS-PPP del NRcan, 2018.*

## **2.4. SERVICIOS DE POST-PROCESO DE POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL**

El posicionamiento diferencial o relativo es el más conocido y de uso mayormente difundido. El procedimiento de recolección de datos para utilizar este método de posicionamiento debe hacerse de forma simultánea por dos o más receptores y, dependiendo del tipo de los receptores, tener la precaución de que los mismos no estén demasiado alejados entre sí, en especial si son de simple frecuencia.

Esto es debido a que la técnica denominada de doble (o triple), diferenciación utilizada para el cálculo de las coordenadas del receptor remoto o rover, se hace en base al cálculo de un vector con origen en otro receptor, llamado base, o en varios receptores, que forman una red, todos observando a los mismos satélites durante la misma cantidad de épocas al mismo tiempo.

Es decir, las coordenadas parciales resultantes serán relativas a la base o a la red, cuyas coordenadas absolutas, por supuesto, deben ser conocidas. Esta forma de proceso garantiza la eliminación de la influencia de una gran variedad de fuentes de error, como los introducidos durante la propagación de la señal a través de la ionosfera y la troposfera, las imprecisiones en las efemérides de las órbitas y los relojes satelitales.

Los distintos servicios descritos que utilizan esta metodología solicitan datos mínimos para su procesamiento, además de los archivos RINEX de las observaciones, pero sólo ofrecen

soluciones para datos de doble frecuencia y de tipo estático. El servicio prestado en este caso es el de la infraestructura de red de estaciones permanentes o CORS2, con lo cual, el usuario puede obtener las coordenadas de un punto relevado (en modo estático), con un solo receptor (doble frecuencia), en relación a la infraestructura de estaciones monitoreada por cada servicio.

En todos los casos los resultados son coordenadas ITRF2014, para la época de las observaciones enviadas para su post-proceso.

### **2.4.1. AUSPOS - Online GPS Processing Service**

AUSPOS es un servicio gratuito de procesamiento de datos GPS en línea proporcionado por Geoscience Australia. Aprovecha la red de estaciones activas del Servicio Internacional de GNSS (IGS) y la gama de productos IGS.

AUSPOS trabaja con datos recopilados en cualquier lugar de la Tierra. Puede enviar los datos GPS RINEX de calidad geodésica de doble frecuencia observados en un modo 'estático' al sistema de procesamiento de datos GPS.

Envía un informe de AUSPOS con las coordenadas Geocentric Datum of Australia 2020 (GDA2020), Geocentric Datum de Australia 1994 (GDA94) e International Terrestrial Reference Frame (ITRF)<sup>4</sup>.

Entre sus principales características están:

- Operado por Geoscience Australia, dependiente del gobierno australiano.
- Gratuito, sin necesidad de registro.
- Los datos pueden ser enviados al servicio a través del sitio web o por ftp.
- Permite configurar tipo y altura de antena y la carga de hasta 20 archivos.
- Sólo acepta datos GPS de doble frecuencia observados en modo estático para una sesión de datos de más de 1 hora (preferiblemente 2 horas) y menos de 7 días (168 horas).

---

<sup>4</sup> Australian Government – Geoscience Australia, AUSPOS – Servicio de procesamiento de GPS en línea, 2018.

- Utiliza un método relativo de posicionamiento mediante el ajuste de una red que consta de las 15 estaciones IGS y/o APREF más cercanas, utilizando los mejores productos IGS disponibles, tomados de archivos de datos GNSS propios.
- Utiliza Bernese GNSS Software Version 5.2 para el post-proceso.
- El informe incluye las coordenadas GDA94 e ITRF2014 para la época promedio de las observaciones y más información sobre el procesamiento que es enviada por correo electrónico al usuario cuando el procesamiento termina, en menos de 5 minutos.
- Enlace: <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl>

The screenshot displays the AUSPOS web interface. On the left is a navigation menu under 'Geodesia y sistemas de navegación global', including links for 'Lo esencial', 'Técnicas geodéticas', 'Redes de sistema satelital de navegación global', 'Datos geodésicos', 'Regla 13 Certificados', and 'Marco de referencia de Asia y el Pacífico'. The main section is titled 'AUSPOS - Servicio de procesamiento de GPS en línea' and contains a form with the following elements:

- 'Número de archivos RINEX' dropdown menu set to '1'.
- 'Enviar RINEX utilizando' radio buttons for 'subir' (selected) and 'ftp'.
- 'Nombre del archivo' text input field.
- 'Altura (m)' text input field with '0,0000'.
- 'Tipo de antena' dropdown menu set to 'POR DEFECTO (NINGUNA)'.
- 'Seleccionar archivo' button.
- 'Ningún archivo seleccionado' text.
- 'Tu correo electrónico:' text input field.
- 'enviar' and 'empezar de nuevo' buttons.

Below the form, there is a link: 'Volver a la página de introducción del servicio de procesamiento de GPS en línea de AUSPOS.'

**Figura 6:** Servicio de posicionamiento en línea, AUSPOS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.4.2. Trimble CenterPoint RTX (Real Time eXtended) Post-Processing

Trimble RTX™ es una tecnología global GNSS que proporciona posicionamiento a nivel de centímetro, en todo el mundo, en cualquier momento.

Esta aplicación permite cargar datos de observación GNSS al servicio de post-procesamiento CenterPoint RTX y recibir cálculos de posicionamiento. Los cálculos de posicionamiento se realizan en la época de observación (época actual) de ITRF2008 para los conjuntos de datos que se recopilaron antes del 23 de marzo de 2017, e ITRF2014 para los conjuntos de datos que se recopilaron a partir del 23 de marzo de 2017. La transformación

se puede realizar seleccionando una configuración diferente. Sistema de coordenadas y placa tectónica.

El servicio de post-procesamiento CenterPoint RTX es compatible con todos los receptores GNSS de doble frecuencia. Las antenas deben estar en la lista de antenas compatibles, el servicio de post-procesamiento no procesará antenas no compatibles.

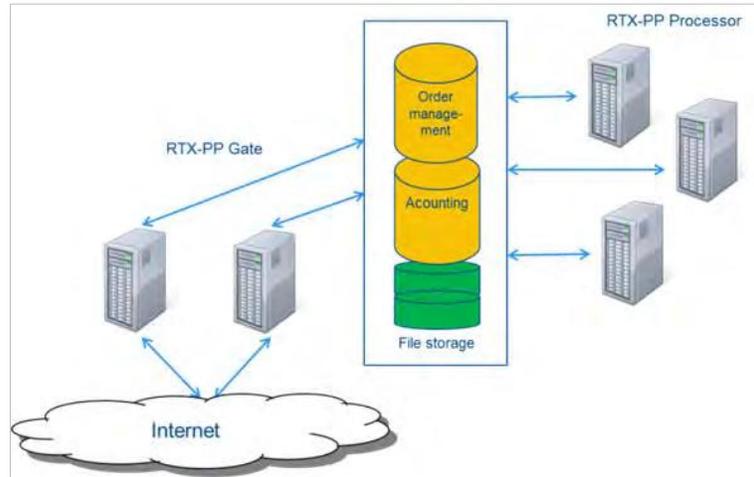


**Figura 7:** Servicio de posicionamiento en línea, Trimble CenterPoint RTX.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Los archivos de observación deben cumplir los siguientes requisitos:

- Los formatos de datos aceptados incluyen los formatos de datos propietarios de Trimble (DAT, T01, T02, Quark), y los formatos de datos estándar RINEX 2 y RINEX 3.
- Para obtener resultados de procesamiento óptimos, se recomienda proporcionar al menos 60 minutos de observaciones.
- Los archivos de datos no pueden exceder las 24 horas de duración.
- Los archivos de datos deben ser solo estáticos.
- Los archivos de datos deben contener pseudodistancia de doble frecuencia y observaciones de fase de portadora (L1 y L2)
- Los datos deben haber sido recogidos después del 14 de mayo de 2011.
- Los datos de BeiDou están incluidos desde el 04 de junio de 2014.
- Los datos de Galileo están incluidos desde el 01 de enero de 2017.

- Si los datos de observación constan de varios archivos y de la misma estación, deben ser comprimidos en un archivo ZIP y cargados posteriormente<sup>5</sup>.



**Figura 8:** Infraestructura del servicio Trimble CenterPoint RTX.  
**Fuente:** Trimble TerraSat GmbH, Alemania.

Entre sus principales características están:

- Operado por la compañía Trimble Inc.
- Gratuito. Requiere registro anual.
- Carga de archivos de datos a través de la página web del servicio.
- Permite seleccionar Marco de Referencia de los resultados y Placa Tectónica para efectuar transformaciones entre distintos marcos de referencias y épocas, pero advierte de la pérdida de precisión. Por defecto utiliza ITRF08, época de las observaciones con la que logra la mayor precisión.
- Procesa datos posteriores a 14/05/2011 de doble frecuencia recolectados en modo estático para sesiones mayores a 10 minutos (aunque recomienda al menos 60 minutos de observaciones para obtener resultados óptimos).
- Utiliza software propio, desarrollado por Trimble.
- Acepta observaciones GPS, GLONASS, QZSS y BeiDou, este último sólo para datos desde el 04/06/2014.

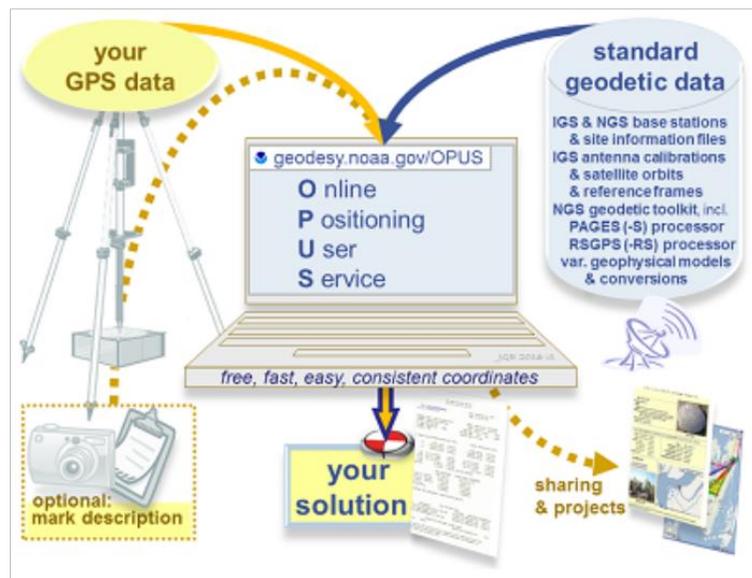
<sup>5</sup> Trimble CenterPoint RTX Post-Processing, Post-procesamiento, 2018 (<https://www.trimblertx.com>).

- Los cálculos de posicionamiento se realizan en ITRF2008 y ITRF2014, época de las observaciones.
- Luego del procesamiento, un informe le es enviado al usuario por correo electrónico.
- Enlace: <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>

### 2.4.3. Online Positioning User Service (OPUS)

El Servicio de Usuario de Posicionamiento en Línea (OPUS), brinda acceso simplificado a las coordenadas del Sistema Nacional de Referencia Espacial (NSRS)<sup>6</sup>, de alta precisión. Carga archivos de datos GPS recopilados con un receptor GPS de grado de encuesta y obtiene una posición NSRS por correo electrónico.

OPUS requiere una entrada mínima por parte del usuario y utiliza un software que calcula las coordenadas para la red de la Estación de referencia de operación continua (CORS), de NGS. Las posiciones resultantes son precisas y consistentes con otros usuarios del Sistema Nacional de Referencia Espacial.



**Figura 9:** Flujo de procesamiento en línea de OPUS.  
**Fuente:** OPUS – National Geodetic Survey, 2018.

<sup>6</sup> El Sistema Nacional de Referencia Espacial (NSRS), administrado por la Encuesta Geodésica Nacional (National Geodetic Survey - NGS), es un sistema de coordenadas que incluye latitud, longitud, elevación y otros valores. (Encuesta Geodésica Nacional, Wikipedia, 2018).

Su posición NSRS calculada se envía de forma privada por correo electrónico y, si lo desea, también puede compartirse públicamente a través del sitio web de NGS<sup>7</sup>.

**OPUS: Servicio de usuario de posicionamiento en línea** National Geodetic Survey

NGS Inicio | Acerca de NGS | Datos e imágenes | Herramientas | Encuestas | Enseñanza de las ciencias

**Sube tu archivo de datos.**  
Resuelva su posición de GPS y átela al Sistema Nacional de Referencia Espacial.  
**¿Qué es OPUS? Preguntas frecuentes**

Seleccionar archivo Ningún archivo seleccionado  
\* Archivo de datos de observaciones GPS de doble frecuencia. [muestra](#)

NINGUNA

antena : elegir mal puede degradar tu precisión.

0.000 metros por encima de su marca.  
Altura de la antena del punto de referencia de su antena.

dirección de correo electrónico - su solución será enviada aquí. [Declaración de la Ley de Privacidad](#)

Opciones para personalizar tu solución.

Subir a Rapid-Static para los datos 15 min. - 2 horas. Subir a estática Para datos 2 hrs. - 48 hrs.

**Menú OPUS**  
inicio / subir sobre OPUS  
proyectos  
soluciones compartidas  
apoyo / retroalimentación

**Figura 10:** Servicio de posicionamiento de OPUS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Entre sus principales características están:

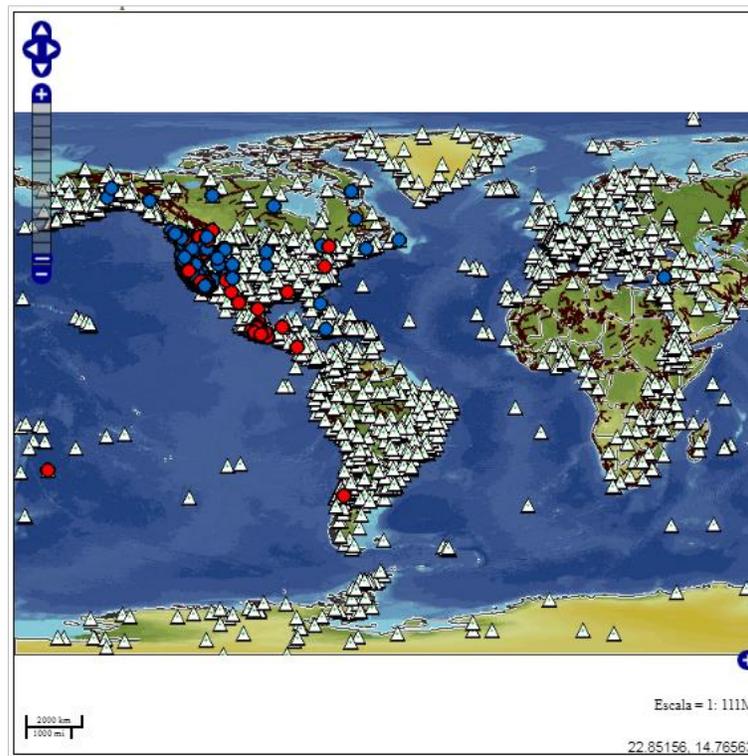
- Operado por la National Geodetic Survey (NGS), dependiente del gobierno de los Estados Unidos.
- Gratuito.
- Carga de datos a través de un formulario en su página web.
- Sólo procesa datos GPS de doble frecuencia recogidos en modo estático.
- El servicio utiliza el posicionamiento relativo con respecto a tres CORS cercanas.

<sup>7</sup> OPUS: Servicio de usuario de posicionamiento en línea (National Geodetic Survey), Que es OPUS, 2018 (<https://geodesy.noaa.gov/OPUS/about.jsp>).

- Utiliza PAGES (Program for the Adjustment of GPS EphemerideS), para procesar en estático o RSGPS para estático-rápido, dependiendo de que la duración de la sesión sea mayor a 2 horas o no, respectivamente.
- La solución es enviada a través del correo electrónico proporcionado por el usuario, luego de unos pocos minutos.
- Enlace: <https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>

#### 2.4.4. Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT)

La herramienta de actualización de coordenadas de Scripps (SCOUT), se puede utilizar para calcular las coordenadas medias de un sitio específico, al enviar un archivo RINEX de un día en particular. SCOUT utiliza órbitas ultrarrápidas para permitir el procesamiento de datos casi en tiempo real.



**Figura 11:** Interfaz de mapa en línea – SOPAC.  
**Fuente:** SOPAC, 2018.

Los usuarios están limitados a 10 trabajos incompletos (en cola), a la vez. El tiempo medio de ejecución es de 30 minutos. SCOUT inicia trabajos en múltiples servidores (cuando están

disponibles), para reducir los tiempos de espera, Asimismo, utiliza TEQC<sup>8</sup> para el preprocesamiento.

SCOUT, depende de SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center), procesamiento y archivo de datos GPS de alta precisión para el estudio de peligros de terremotos, movimiento de placas tectónicas, deformación de la corteza y meteorología.

Entre sus principales características están:

- Operado por el Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC), dependiente de la Universidad de California, San Diego.
- Gratuito.
- Carga de datos a través de su servidor FTP o de algún otro dado por el usuario.
- Luego de un pre-proceso del archivo RINEX cargado al servidor FTP, permite ingresar tipo y altura de antena y modelo de receptor.
- Sólo procesa datos GPS de doble frecuencia recogidos en modo estático durante al menos 1 hora, aunque se recomiendan más de 3 horas.
- Este servicio utiliza el posicionamiento relativo, realizando un ajuste de red formada por:
  - Las tres estaciones permanentes más cercanas (modo por defecto) o,
  - Tres estaciones permanentes (de cuatro dadas por el usuario), elegidas entre las procesadas por SOPAC.
- Utiliza el software GAMIT.
- La solución es enviada a través del correo electrónico proporcionado por el usuario.
- Enlace: <http://sopac.ucsd.edu/scout.shtml>

---

<sup>8</sup> TEQC – The Toolkit for GNSS Data (El kit de herramientas para datos GNSS), utiliza un enfoque simple pero potente y unificado para resolver muchos problemas de preprocesamiento con datos de GPS, GLONASS, Galileo, SBAS, Beidou, QZSS e IRNSS, especialmente en formato RINEX o BINEX. UNAVCO, 2018 (<http://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>).



**Figura 12:** Servicio de posicionamiento de SCOUT.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.5. Servicios de post-proceso de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP)

Este tipo de procesamiento se realiza en base a observaciones no diferenciadas, como se suelen llamar a las observaciones de un solo receptor, para resaltar el hecho de que no se utiliza la técnica de doble diferenciación, típica del posicionamiento relativo o diferencial.

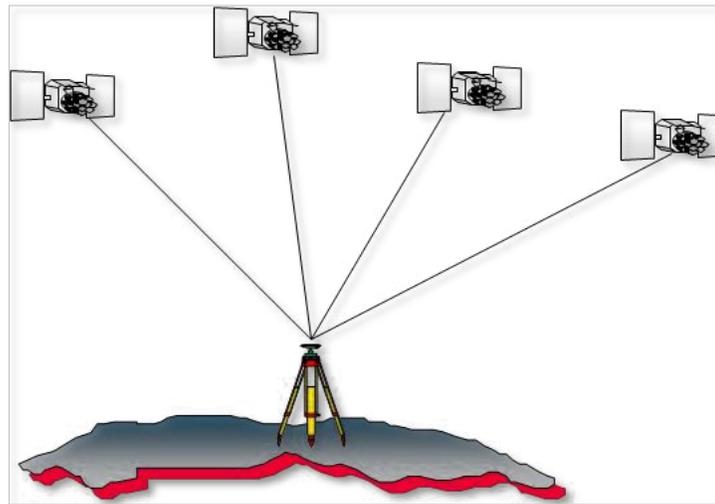
Por esta razón, se hace uso de gran cantidad de información adicional para contrarrestar el efecto de una variedad de fenómenos físicos que afectan a las observaciones introduciendo errores. Los modelos de corrección aplicados se agrupan por la causa que origina los desplazamientos. Ellos son por efecto de los satélites, de los desplazamientos locales y de compatibilidad y convenciones IGS. A saber:

- Efectos del satélite:
  - Desplazamientos de antena (antenna offsets)
  - Fin de fase de la portadora (carrier phase wind-up)
  
- Efectos del desplazamiento local:
  - Mareas terrestres (solid Earth tides), producto de fuerzas gravitacionales
  - Mareas polares (polar tides), que produce deformación de la rotación debido al movimiento polar.
  - Carga oceánica (ocean loading)

- Parámetros de rotación terrestre (Earth Rotation Parameters, ERP)
  
- Compatibilidad y convenciones IGS:  
Referidas a la falta de estricto cumplimiento de las convenciones IERS de algunos modelos de corrección y a la pérdida de precisión en las distintas transformaciones y/o cálculos intermedios.

La mayoría de los servicios operan a través de un formulario web, aunque en algunos casos cuentan con una aplicación un poco más sofisticada, o un servidor FTP o directamente una interfaz vía correo electrónico para tomar los datos de observaciones. Algunos procesan sólo GPS y otros consideran a las demás constelaciones. El método PPP, permite procesar observaciones en modo estático o cinemático y en algunos casos, además de utilizar datos de doble frecuencia, también de simple frecuencia.

Según el servicio elegido, se permiten establecer más o menos parámetros de configuración para el procesamiento. En lo que todos los coinciden es en que las coordenadas resultantes son expresadas en el marco de referencia de los satélites: ITRF14, para la época de observación de los datos<sup>9</sup>.



**Figura 13:** Posicionamiento preciso a partir de un receptor.  
**Fuente:** Santiago Pestarini, 2016.

---

<sup>9</sup> Santiago Pestarini, Georreferenciación utilizando servicios de posicionamiento en línea y su aplicación en la Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina, 2016.

### 2.5.1. Automatic Precise Positioning Service (APPS)

El Servicio de Posicionamiento Automático Preciso del Sistema Global de GPS Diferencial, acepta archivos de medición GPS y aplica la tecnología de posicionamiento GPS más avanzada del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL), de la NASA, para estimar la posición de sus receptores de GPS, ya sean estáticos, en movimiento, en el suelo o en el aire.

APPS emplea:

- Productos de reloj y órbita GPS en tiempo real del sistema GDGPS<sup>10</sup> de JPL.
- Productos de reloj y órbita GPS precisos diarios y semanales de JPL.
- El software GIPSY-OASIS de JPL para procesar las mediciones GPS.

APPS brinda el servicio AutoGIPSY (AG), de JPL, de forma gratuita, para el post-procesamiento estático (por ejemplo, latencia de medición de una semana o más), pero también ofrece servicios nuevos y únicos:

- APPS generará una serie temporal de posiciones si el receptor estaba en movimiento.
- APPS tiene acceso a productos de reloj y órbita GPS en tiempo real para que nunca tener que esperar.
- APPS es rápido. El posicionamiento está disponible en segundos.

Entre sus principales características están:

- Operado por la NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL), Instituto de Tecnología de California.
- Gratuito. Los usuarios registrados tienen más opciones de procesamiento.
- Carga de datos a través de su página web. También tiene interfaz por e-mail o FTP.

---

<sup>10</sup> GDGPS – The Global Differential GPS System, el sistema de GPS diferencial global (GDGPS), es un sistema de aumento y monitoreo GNSS en tiempo real completo, altamente preciso y extremadamente robusto. Emplea una gran red terrestre de receptores de referencia en tiempo real, una arquitectura de red innovadora y un software de procesamiento de datos en tiempo real galardonado, proporcionando precisiones de posicionamiento sub-decímetro (<10 cm), y una precisión de transferencia de tiempo sub-nanosegundo. NASA, Jet Propulsion Laboratory, 2018 (<http://www.gdgps.net/>).

- Se puede seleccionar el modo de procesamiento estático o cinemático y algunos otros parámetros como usar código CA o P y otros más avanzados. Usuarios no registrados pueden procesar sólo estático.
- Procesa datos de doble frecuencia de GPS únicamente.
- Uso de productos de órbita y reloj GPS, Final, Rapid y Ultra R/T producidas por JPL.
- Los resultados son las coordenadas ITRF14 para la época de observación, están disponibles luego del procesamiento en la misma página a través de enlaces de descarga.
- Enlace: [http://apps.gdgps.net/apps\\_file\\_upload.php](http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php)

**Figura 14:** Servicio de posicionamiento en línea de APPS.  
**Fuente:** NASA, 2018.

## **2.5.2. Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE-PPP)**

IBGE-PPP (Posicionamiento preciso de punto o Posicionamiento absoluto preciso), es un servicio en línea para el post-procesamiento de datos GPS. Permite a los usuarios de GPS obtener coordenadas de alta precisión en el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS2000), y en el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF). En el posicionamiento GPS, el término posicionamiento preciso del punto normalmente se refiere al proceso de obtener posiciones de la estación por medio de observaciones de ondas portadoras recopiladas por receptores de doble frecuencia en combinación con productos IGS (Servicio Internacional de GPS).

Los resultados de IBGE-PPP no dependen de ningún ajuste de la red geodésica y no están asociados con rendimientos o ajustes de la red planimétrica. Por lo tanto, los resultados obtenidos a través de este servicio presentarán una pequeña diferencia en relación con los disponibles en Geodetic Data Bank (BDG).

IBGE-PPP procesa datos de GPS que se recopilaron en modos estáticos o cinemáticos desde receptores de frecuencia simple o doble. Solo se aceptan los datos de GPS rastreados después del 25 de febrero de 2005, ya que esa fue la fecha en que SIRGAS2000 se adoptó oficialmente en Brasil.

Entre sus principales características están:

- Operado por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).
- Gratuito, sin necesidad de registro.
- Carga de datos a través de su página web.
- Se puede seleccionar el modo de procesamiento; estático o cinemático, modelo y altura de antena (también permite tomarlos del archivo RINEX).
- Procesa datos de simple o doble frecuencia de GPS y/o GLONASS, posteriores al 25 de febrero de 2005, cuando Brasil adoptó SIRGAS2000 como marco oficial.
- Los resultados están en coordenadas SIRGAS2000 e ITRF14 para la época de observación.
- Los resultados se pueden descargar a través de un enlace en la misma página, casi inmediatamente después del procesamiento.

- Enlace: <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Destacados del gobierno

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IBGE** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ORDEN E PROGRESSO

**Posicionamiento por punto preciso (PPP)**

**ADVERTENCIA !!! A partir del día 07/04/2017 sustitución de la versión CSRS-PPP 1.05 / 34613 por 1.05 / 11216 ADVERTENCIA !!!**  
**ADVERTENCIA !!! Para mayor información haga clic aquí** **ADVERTENCIA !!!**

**¡Sea un colaborador del Sistema Geodésico Brasileño!**

Estimado usuario, si ha hecho el levantamiento en una estación geodésica del IBGE (VT, RN o SAT), su colaboración será de gran valor para la actualización de las informaciones del Sistema Geodésico Brasileño - SGB, proporcionándonos el código estampado en la chapa estación en el campo siguiente: (por ejemplo: 1120R)

Esta opción no es obligatoria. Si no está haciendo el levantamiento en un marco del SGB deje en blanco.

Seleccione un archivo RINEX:  Ningún archivo seleccionado

Seleccione el modo de procesamiento:

estático  cinemático

LOS VALORES SELECCIONADOS AQUÍ SERÁ ADOTADOS PARA TODOS LOS RINEX QUE ESTÉ COMPRIMIDOS EN UN ÚNICO ARCHIVO.

Tipo de Antena:

Altura de la antena (m):   El valor de altura de la antena sólo se adoptará si esta casilla está marcada.

En el caso de que se produzca un cambio en la calidad de los productos,

E-mail válido del usuario. (no puede contener espacios o tabs!):

Nota: El procesamiento se iniciará tras la transferencia del archivo, que puede tardar unos minutos. Si el resultado no empieza a aparecer en 2 horas, por favor reproces.

**Figura 15:** Servicio de posicionamiento en línea IBGE PPP.  
**Fuente:** IBGE, 2018.

### 2.5.3. GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS)

GAPS proporciona a los usuarios un posicionamiento satelital preciso utilizando un solo receptor GNSS tanto en modo estático como cinemático. Mediante el uso de productos de órbita y reloj precisos proporcionados por fuentes como el Servicio Internacional GNSS (IGS), y Recursos Naturales de Canadá (NRCAN), es posible lograr un posicionamiento de nivel centímetro en modo estático y posicionamiento de nivel decimétrico en modo cinemático dado un período de convergencia suficiente.

Para el Posicionamiento Puntual Preciso (PPP), se tiene una regla general: cuanto más largo sea el período de observación, más precisos serán los resultados del procesamiento. Al considerar los períodos de convergencia típicos para la técnica de PPP, recomendamos

períodos de observación de al menos 2-3 horas para lograr soluciones posicionales de nivel centimétrico en modo estático.

El software de análisis y posicionamiento GNSS (GAPS), se desarrolló inicialmente en 2007 en la Universidad de New Brunswick para brindar a los usuarios una herramienta gratuita de PPP en línea capaz de estimar posiciones y otros parámetros de interés. Aunque se usó principalmente para posicionamiento, GAPS fue diseñado y construido como una verdadera "Swiss Army Knife" para el procesamiento de datos GNSS, lo que permite al usuario estimar los retrasos atmosféricos ionosféricos y neutros, el reloj del receptor y los sesgos entre sistemas, y las rutas múltiples de código<sup>11</sup>.

Entre sus principales características están:

- Operado por el Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick (UNB), desde 2007.
- Gratuito, sin registro.
- Carga de datos a través de su página web. Modo básico y modo avanzado.
- Se puede seleccionar el modo de procesamiento estático o cinemático, constelaciones, coordenadas a priori y ángulo de elevación de corte. El modo avanzado permite más opciones.
- Procesa datos de doble frecuencia de GPS, Galileo y BeiDou.
- Uso de amplia variedad de productos de órbita y reloj, según disponibilidad.
- Los resultados son las coordenadas ITRF14 para la época de observación, los informes y gráficas se reciben por correo electrónico poco después de enviar los archivos.
- Enlace: <http://gaps.gge.unb.ca/submitbasic.php>

---

<sup>11</sup> GAPS GNSS Analysis and Positioning Software, Que es GAPS, Universidad de New Brunswick, Canadá 2018 (<http://gaps.gge.unb.ca/index.html>).

**GAPS**  
GNSS ANALYSIS AND POSITIONING SOFTWARE

HOME ABOUT SUBMIT A FILE PUBLICATIONS NEWS CONTACT

### GAPS Basic User Submission

Select Input Observation File: \*  Ningún archivo seleccionado.

### Select System

GPS  On  Off

Galileo  On  Off

BeiDou  On  Off

### Select Processing Parameters

X (m) / Latitude (dd.mmsssss)

Y (m) / Longitude (dd.mmssss)

Z (m) / Height (m)

Positioning  Static  Kinematic

Elevation Cutoff Angle (deg)

E-mail \*

**Figura 16:** Servicio de posicionamiento en línea GAPS.  
**Fuente:** GAPS, 2018.

## 2.6. Servicio Internacional de GNSS (IGS)

Conocida por la sigla IGS, es una organización científica voluntaria fundada en Enero de 1994. El IGS, originalmente denominado Servicio GPS Internacional, ha sido renombrado en el año 2005, porque han ingresado en la escena del posicionamiento global sistemas tales como el GLONASS y el planificado por la Unión Europea GALILEO. En la actualidad, el IGS es un servicio de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) y participan unas 200 organizaciones de aproximadamente 80 países, siendo su misión principal capturar, archivar y distribuir datos y productos asociados GPS y GLONASS de alta calidad.

Varios de los productos que ofrece el IGS son derivados de datos de observación GPS – GLONASS capturados por una red de unas 300 estaciones GNSS, con varias de ellas suministrando datos en tiempo real o casi en tiempo real a un centro de procesamiento principal. Los datos posteriormente son utilizados para generar los siguientes productos:

- Efemérides satelitales GNSS
- Parámetros de rotación de la tierra
- Coordenadas y velocidades de la estación de seguimiento global
- Satélite y estación de seguimiento de la información del reloj.
- Estimaciones del retraso de la trayectoria troposférica Zenith
- Mapas de la ionosfera global

Estos productos apoyan los análisis de las ciencias de la Tierra y otros esfuerzos, como:

- Mejorar y ampliar el Marco de referencia terrestre internacional (ITRF) mantenido por el Servicio internacional de sistemas de referencia y rotación de la Tierra (IERS).
- Monitorización de la deformación de la tierra,
- Monitoreando la rotación de la Tierra,
- Monitoreando la troposfera y la ionosfera,
- Determinación de órbitas de satélites científicos, y otras aplicaciones diversas.

Todo ello para dar apoyo a mediciones geodésicas de alta precisión que son utilizadas en numerosas actividades científicas y prácticas tales como geodesia, geodinámica, ingeniería, investigaciones oceanográficas y atmosféricas, levantamientos y cartografía. Además, los productos del IGS son utilizados en la mejora y densificación del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), infraestructura mantenida por el Servicio Internacional de Sistemas de Referencia y Rotación Terrestre (IERS)<sup>12</sup>.

El (IGS), garantiza el acceso abierto y los productos de datos de alta calidad de GNSS desde 1994. Estos productos permiten el acceso al marco de referencia global definitivo para

---

<sup>12</sup> Leonardo B. Ivars y Rubén C. Rodríguez, Café Geodésico, Marzo 2012. (<http://cafegeodesico.blogspot.com>)



## **2.8. Marco de Referencia**

Es la realización práctica o materialización de los conceptos teóricos introducidos en el sistema de referencia. Tal materialización se da a través de la determinación de puntos fiduciales de alta precisión. La realización (materialización) del ITRS es el marco ITRF (International Terrestrial Reference Frame).

## **2.9. Sistemas de referencia geodésicos**

Un Sistema de Referencia Geodésico se puede definir como un conjunto de convenciones (constantes, modelos, parámetros, etc.), que se utilizan como base para la representación de la geometría de la superficie de la Tierra y su variación en el tiempo, sin embargo no deja de ser un concepto o una "idea" mientras no tenga asociado un Marco de Referencia, el cual materializa el sistema a través de marcas físicas y matemáticas. (Drewes, 2001).

Se pueden nombrar dos tipos de sistemas:

### **2.9.1. Sistemas Geodésicos Locales**

Que han sido creados para satisfacer las necesidades geodésicas de una cierta región. Su centro de coordenadas no coincide con el centro de masas de la Tierra, este es el caso del PSAD56, que se refiere al elipsoide Internacional de Hayford de 1924, cuyo datum se encuentra en La Canoa en Venezuela. La utilización de este tipo de sistemas tiene como fin primordial la elaboración de cartografía.

### **2.9.2. Sistemas Geocéntricos**

El origen de coordenadas del sistema coincide con el centro de masas terrestre, dentro de esta clase se encuentran el WGS84 e ITRS.

De acuerdo a lo descrito, existe una posición única para cualquier punto sobre la tierra, esta posición de manera global y única se puede dar en coordenadas geográficas (latitud, longitud y altitud); no obstante, siempre la posición tendrá una equivalencia con respecto a sistemas de referencia locales de acuerdo también a la proyección utilizada para construir la cartografía (proyección cartográfica).

## **2.10. Sistema de Referencia Terrestre Internacional – ITRS**

El ITRS es el Sistema de Referencia Terrestre Internacional del Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia (IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service), establecido para la determinación de la rotación de la Tierra en el Sistema de Referencia Celeste (ICRS). Es un sistema geocéntrico, donde el centro de masas terrestre incluye la atmósfera y los océanos. La unidad de longitud es el metro (SI). La escala está dada localmente en el marco terrestre según la teoría gravitacional de relatividad. El eje Z está cerca del eje de rotación de la Tierra y el eje X pasa cerca del meridiano de Greenwich, UK, compatible con el sistema BIH 1984.0 (Bureau International de l'Heure).

## **2.11. Marco de Referencia Terrestre Internacional – ITRF**

La aplicación práctica del ITRS, es decir su materialización, se da a través de la definición de su marco ITRF, que cuenta con aproximadamente unas 900 estaciones ubicadas en la superficie terrestre, las mismas cuentan con coordenadas definidas para una época específica así como también sus variaciones en el tiempo denominadas velocidades.

Dado que el tiempo se constituye en un factor preponderante en la definición de un sistema, el ITRF debe ser complementado indicando la época para la cual las posiciones de sus estaciones están vigentes.

Se calcula una solución del ITRF en intervalos de por lo menos un año, denominada ITRF<sub>yy</sub>, donde yy es el año más reciente de observaciones incluidas. El ITRF sirve para la determinación de las órbitas precisas de los satélites GPS por el Servicio Internacional de GPS (IGS). Once realizaciones del ITRS fueron determinadas desde 1988. La última es el IGS08 (ITRF2008). Todas estas realizaciones incluyen posiciones y velocidades de estaciones. Estas realizaciones son compatibles a través de parámetros de transformación.

## **2.12. Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF)**

Expresado en términos simples, el Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF), es el sistema de coordenadas global, nos permite conocer donde están las cosas y donde estamos nosotros sobre la superficie de la Tierra. El Marco de Referencia Geodésico Global

(MRGG), es importante para la sociedad porque habilita toda la tecnología satelital incluyendo todas las aplicaciones de los Sistemas de Navegación por Satélite (GNSS), del cual GPS es un ejemplo. El MRGG es la llave que habilita la interoperabilidad de los datos espaciales, así como las imágenes, medio ambiente y otros datos de mapas, para ser empleados en la localización sin ningún error en el apoyo para el desarrollo sostenible y la toma de decisiones.

Específicamente, el desarrollo de la moderna economía, expresada en términos de ubicación, basada en servicios, ahora depende fuertemente y principalmente sin redundancia, sobre la garantía disponible de acceso universal único, homogéneo y de alta calidad a un marco de referencia geodésico global. Más ampliamente, el MRGG forma la base de todas las observaciones desde el espacio y las asocia con la ciencia global. De manera importante, ningún país puede mantener el MRGG por sí solo, y la sostenibilidad requiere de la contribución y cooperación global. Para lo cual, una Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas asegurara su sostenibilidad.

En la actualidad, el MRGG es virtualmente la fundación de cada aspecto de la administración de la información geoespacial y de monitoreo global. En adición al trabajo de campo tradicional, mapeo y navegación, ubicación, basada en las aplicaciones de posicionamiento están incrementándose críticamente para ingeniería civil, automatización de la industria, agricultura, construcción, minería, recreación, transacciones financieras, sistema de transporte inteligente, administración de emergencias y respuesta a desastres, estudios de medio ambiente e investigación científica.

El MRGG habilita la interoperabilidad de la información espacial, un requerimiento clave para el desarrollo sostenible en aquellos campos como el uso y administración de la tierra, construcción y evaluación de las amenazas.

El MRGG también apoya un rango de esfuerzos científicos que mejoran la comprensión del sistema Terrestre y hace conocer las políticas proporcionando a los gobiernos las capacidades para:

- Monitoreo de los desplazamientos de la Tierra sólida, subsidencia o deformación de las estructuras del suelo debido a movimientos tectónicos, terremotos, erupciones volcánicas así como otras actividades naturales o de origen humano.
- Monitoreo de las variaciones del nivel del mar (conectado con el cambio climático y el calentamiento global), de las capas de hielo más grandes y del transporte global de masas.
- Monitoreo de las variaciones de la rotación de la tierra tales como el movimiento polar y la duración de los días.

### **2.13. SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas**

SIRGAS es el acrónimo que identifica al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, su definición corresponde con el Sistema Internacional de Referencia Terrestre del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra IERS, y su realización es una densificación regional del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF).

El proyecto fue generado en Asunción, en 1993, bajo los auspicios de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), y la Agencia Nacional de Mapas e Imágenes de los Estados Unidos de América (NIMA). Bolivia como estado miembro del IPGH y de la IAG fue cofundador de SIRGAS.

Además de proveer las coordenadas de referencia para aplicaciones prácticas como; proyectos de ingeniería, administración digital de información geográfica, infraestructuras de datos espaciales, entre otras; SIRGAS es la plataforma para una variedad amplia de aplicaciones científicas como observación de deformaciones de la corteza terrestre, movimientos verticales, variación del nivel del mar, estudios atmosféricos, etc.

Además del sistema de referencia geométrico, SIRGAS se ocupa de la definición y realización de un Sistema Vertical de Referencia, basado en alturas elipsoidales como componente geométrica y en números geopotenciales (referidos a un valor global convencional), como componente física.

El datum geodésico SIRGAS está definido por el origen, la orientación y la escala del sistema SIRGAS (ITRS). La conversión de coordenadas geocéntricas a coordenadas geográficas se adelanta utilizando los parámetros del elipsoide GRS80.

La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales, las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS**

#### **3.1. METODOLOGIA**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es analítico-comparativo; debido a que la investigación comprende la comparación de los valores de las coordenadas de un grupo de muestra de vértices de la Red Geodésica Municipal de Mecapaca; determinados primero mediante un programa comercial de ajuste y procesamiento de datos GPS, como es Leica Geo Office; y segundo, mediante los servicios de posicionamiento en línea. Asimismo, el estudio es experimental, debido a que se utilizó observaciones GPS con diferentes tiempos de sesión, de 4 a 6 horas, 2 horas y por último media hora, para los puntos correspondientes al grupo muestra.

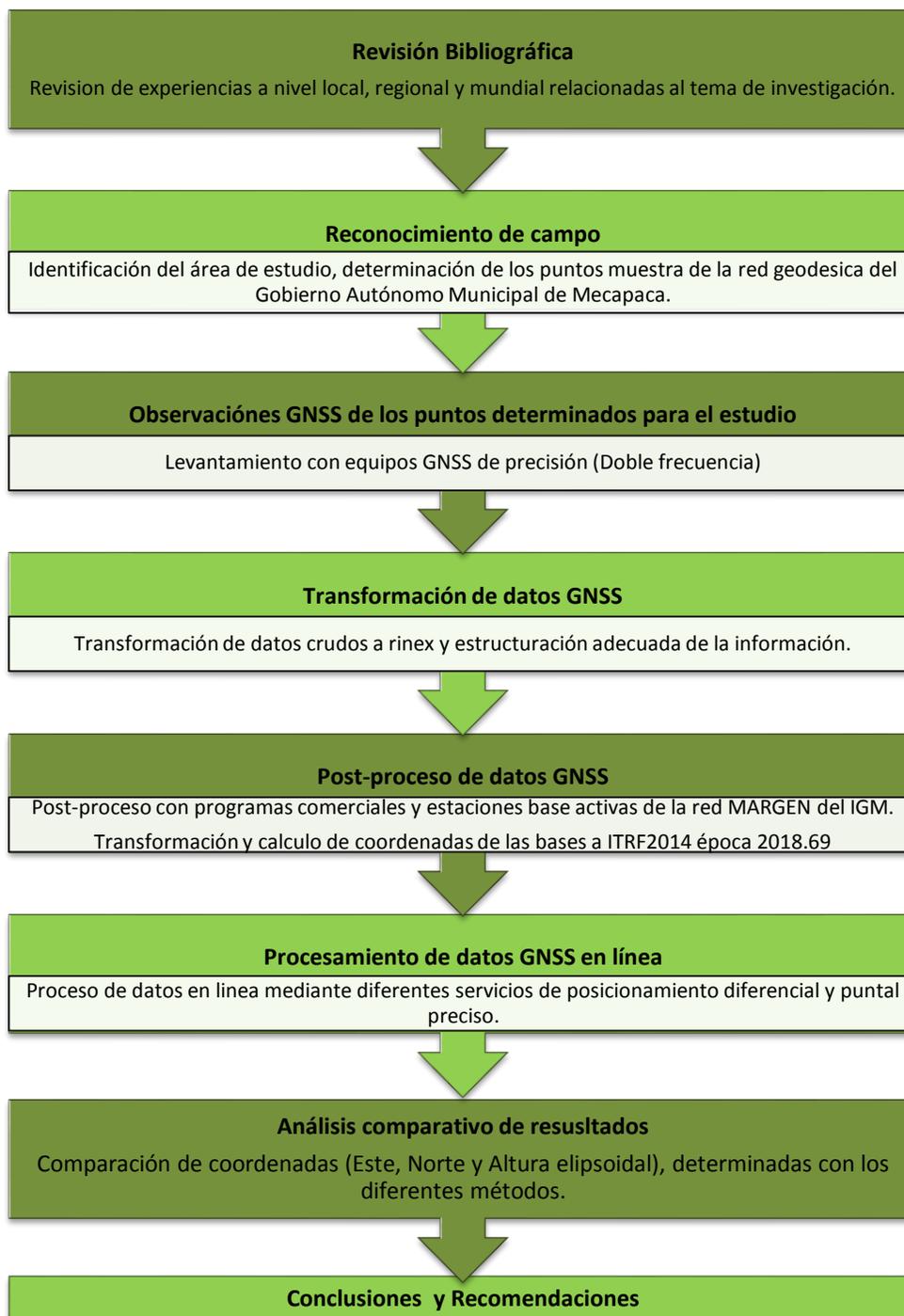
La diferencia de coordenadas resultado de la utilización de estos dos métodos de procesamiento y ajuste de datos GPS, permitirán analizar y establecer si existe o no significancia en cuanto a la diferencia de valores de coordenadas, los cuales serán considerados para determinar aplicaciones, usos y limitaciones, en el ámbito de los trabajos topográficos y geodésicos.

##### **3.1.2. Diseño de la investigación**

El estudio al tener un aspecto cualitativo, se desarrolla de manera objetiva y secuencial, buscando determinar las variaciones de los valores de coordenadas entre un método de procesamiento y ajuste de datos GPS con software, comparado con procesamiento en línea (online), para lo cual se emplearon equipos GNSS de mensura adecuados, programas de procesamiento más utilizados y confiables, y servicios de procesamiento online con mejor accesibilidad, funcionalidad y de mayor requerimiento.

Asimismo, la investigación se apoya en el análisis estadístico de las variaciones de coordenadas, establecidos de manera ordenada en función del tiempo de sesión, programas de servicio de posicionamiento (diferencial y puntual preciso).

### 3.1.3. Método experimental



*Figura 18: Diseño del método experimental.  
Fuente: Elaboración propia.*

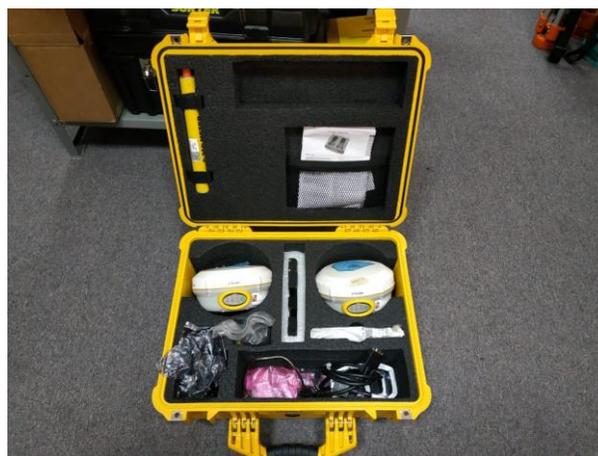
### 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

#### a) Equipos de mensura

- 6 GPS de doble frecuencia, Marca South S86S
- 1 GPS de doble frecuencia, Marca Trimble R4 Modelo 3
- 2 Baterías secas Trimble
- 7 Flexómetros
- 7 Bases nivelantes
- 7 Trípodes



*Fotografía 1: Equipos Geodésico South S86S y accesorios.  
Fuente: Fotografía propia.*

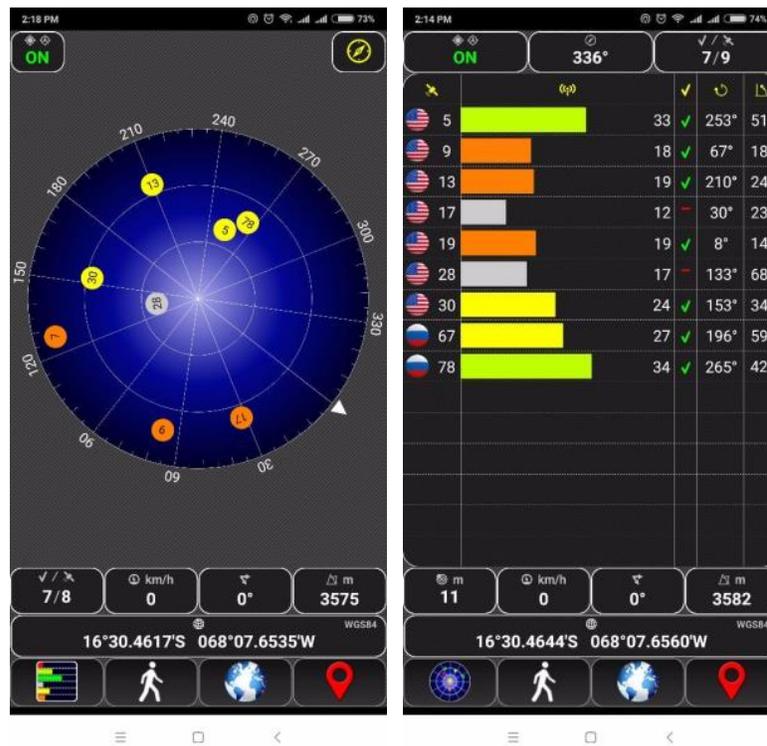


*Fotografía 2: Equipos Geodésico Trimble R4-3 y sus accesorios.  
Fuente: Fotografía propia.*



**Fotografía 3:** Trípodes utilizados en la investigación.  
**Fuente:** Fotografía propia.

- GPS navegador – AndroiTS GPS v. 1.40 (Apps - Aplicación Androide)



**Fotografía 4:** GPS Navegador AndroiTS GPS, aplicación de celular.  
**Fuente:** Fotografía propia.

**b) Material de campo**

- Folder
- Croquis de los puntos a ser observados
- Monografías de los puntos a ser observados
- Hojas tamaño bond
- Marcadores gruesos
- Bolígrafos
- Planillas de campo GPS



*Fotografía 5: Material de campo distribuido a cada brigada.  
Fuente: Fotografía propia.*

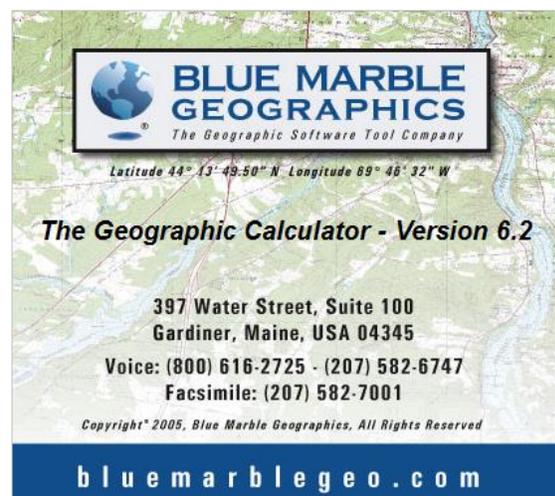
**c) Materiales de Escritorio**

- Equipos de computación.
- Impresora.
- Papel bond tamaño carta.
- Bolígrafos.

**d) Programas (Software)**

- LEICA Geo Office Combinado 7.0.0.0.
- Convert To RINEX – TBC utility V. 2.2.1.0 (Trimble Navigation Limited)
- The Geographic Calculator Versión 6.2

- Minitab 18 versión 18.1.
- ArcGIS 10.0 – ArcMap (ESRI)



**Figura 19:** Programas utilizados para la investigación.  
**Fuente:** Elaboración propia

**e) Programas de servicio de posicionamiento en línea**

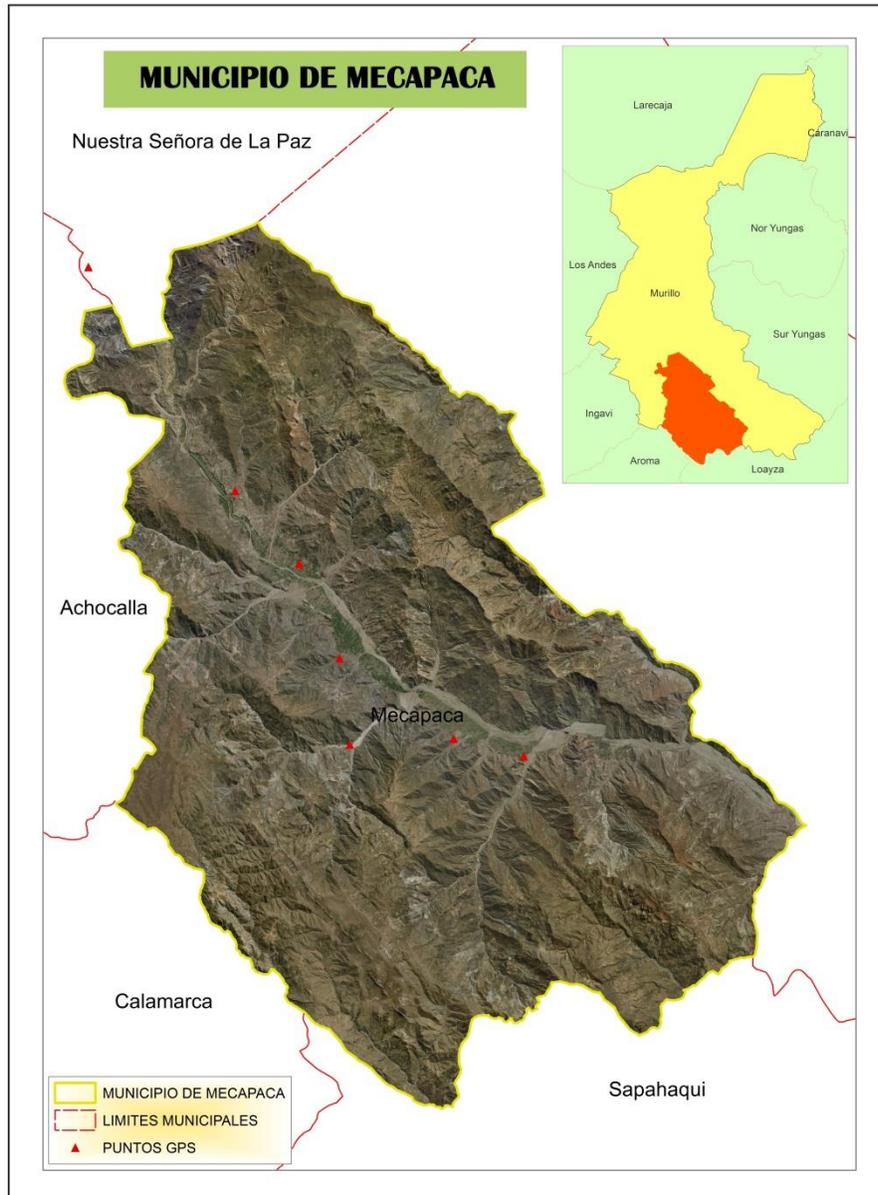
- AUSPOS – Online GPS Processing Service (Posicionamiento Diferencial).
- Trimble CenterPoint RTX (Real Time eXtended) Post-Processing (Posicionamiento Diferencial).
- APPS Automatic Precise Positioning Service (Posicionamiento Puntual Preciso – PPP).
- IBGE-PPP Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (Posicionamiento Puntual Preciso – PPP).

## CAPITULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 4.1. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en el Municipio de Mecapaca del Departamento de La Paz, determinada por áreas que conforman la Red Geodésica del municipio.



**Figura 20:** Ubicación geográfica del área de estudio.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## 4.2. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Con el fin de que la investigación sea sustentada técnicamente, se consideró como puntos de muestra a 7 (siete), de los nueve vértices que conforman la red principal de la Red Geodésica del Gobierno Autónomo Municipal de Mecapaca, que se encuentran enlazados o referidos a la Red de Operación Continua (ROC), MARGEN del Instituto Geográfico Militar (IGM), mediante las estaciones base; BLPZ (más conocido como INGA) y CBMB de la Ciudad de Cochabamba.



**Fotografía 6:** Punto PAL – 03 ubicado en el sector de El Palomar.  
**Fuente:** Fotografía propia.

Se consideraron estos puntos, para realizar un análisis comparativo más objetivo, tomando en cuenta que estos vértices fueron observados 6 horas, para el establecimiento y determinación de sus coordenadas, las cuales serán consideradas en la investigación como “verdaderas”, y sobre las cuales se harán las respectivas comparaciones.

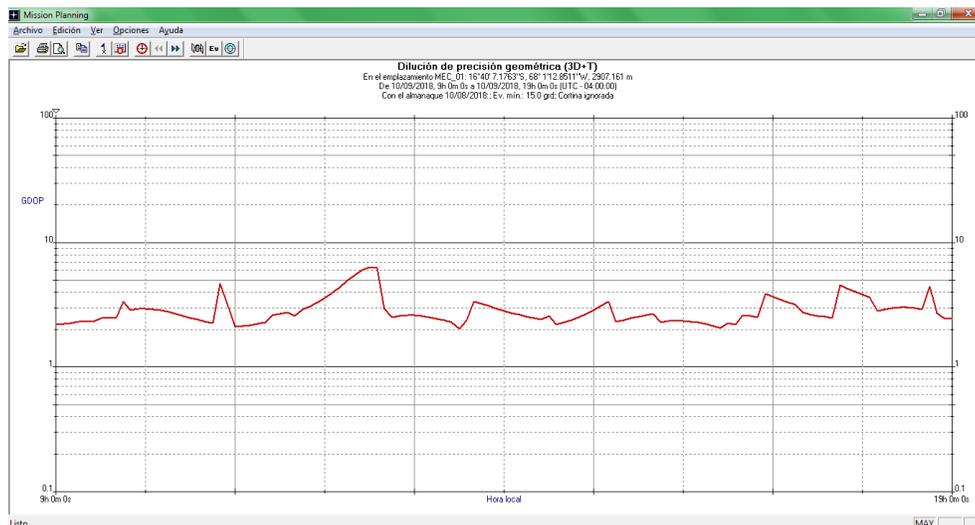
No	ESTACION	SECTOR	TIPO DE MONUMENTACIÓN
1	MLL-02	MALLASILLA	MOJON CON BULON DE ALUMINIO
2	TAY-01	TAYPICULLO	MOJON CON BULON DE ALUMINIO
3	MEC-01	MECAPACA	MOJON CON BULON DE ALUMINIO
4	PAL-03	EL PALOMAR	MOJON CON BULON DE ALUMINIO
5	CAH-02	CAHUAYUMA	MOJON CON BULON DE ALUMINIO
6	HUA_ALT-03	HUARICANA ALTA	MOJON CON BULON DE ALUMINIO
7	HUA_BAJ-04	HUARICANA BAJA	MOJON CON BULON DE ALUMINIO

**Cuadro 2:** Puntos de la Red Geodésica de Mecapaca utilizados en la investigación.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3. OBSERVACIONES GNSS

#### 4.3.1. Planificación

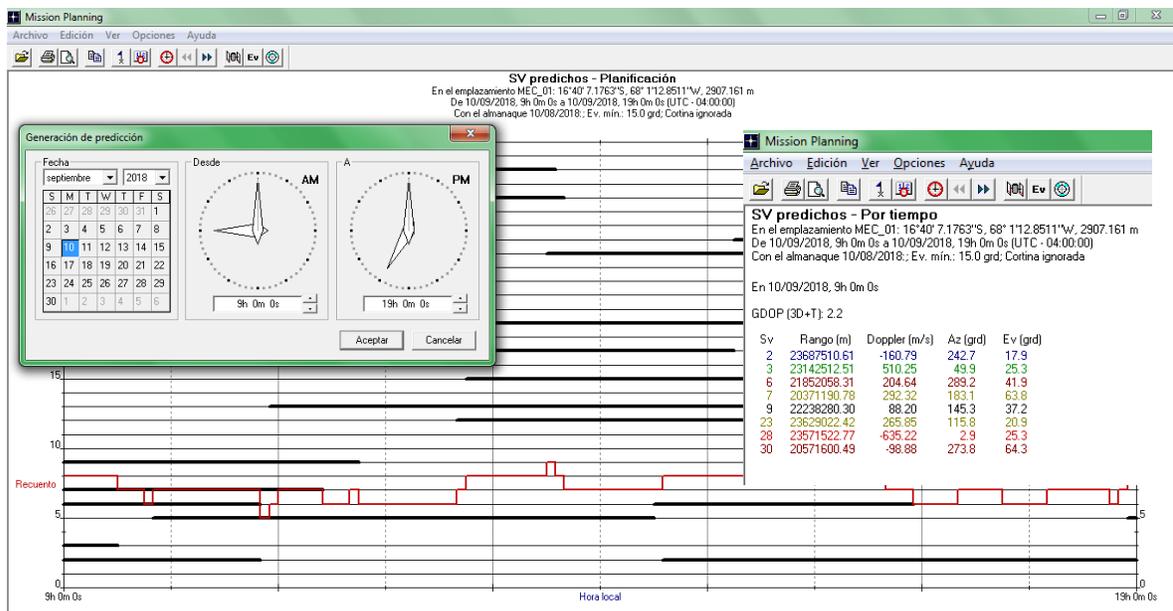
Determinados los vértices a ser observados, se determinó como fecha de trabajo de campo el día lunes 10 de septiembre de 2018, para lo cual se realizó la planificación de la misión, realizando la predicción de la cantidad de satélites disponibles en las horas a sesionar, así también los valores promedios de PDOP y GDOP para los tiempos programados.



**Figura 21:** Predicción de GDOP para la estación MEC-01 – Mecapaca.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Para lo cual se utilizó el programa Mission Planning 7.12 de Ashtech, y el archivo de almanaque más próximo a la fecha de observación, bajado del Centro de Navegación de la Guardia Costera de los Estados Unidos (Navigation Center – U.S. Department of Homeland Security) (<https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=gpsAlmanacs>), estableciéndose como tiempo de sesión desde las 09:00 hasta las 19:00, previendo situaciones de problemas con el transporte, ubicación del puntos a observar, equipo y otros.

Obteniéndose predicciones óptimas para realizar el trabajo, como GDOP promedio de 2.2 y 8 satélites NAVSTAR-GPS disponibles durante el tiempo programado.



**Figura 22:** Utilización del programa Mission Planning de Ashtech.  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se conformó brigadas de campo con la participación de estudiantes de últimos semestres que cursan y vencieron la materia de Geodesia Satelitaria, a quienes se realizó una pequeña capacitación y recomendaciones sobre el trabajo a realizar.

Se preparó carpetas por brigada con información referente a: croquis de ubicación, monografías y fotografías de los puntos a observar, entregándose además libretas GPS a ser llenadas e instrucciones generales.

Asimismo, día antes del trabajo de campo se realizó la verificación de los equipos GNSS (configuración de método de observación, máscara de elevación e intervalo de grabación), bases nivelantes, trípodes, cargado de baterías y cintas métricas.

Como estaciones base se determinó dos estaciones del Marco de Referencia Geodésico Nacional – Red de Operación Continua (MARGEN – ROC), del Instituto Geográfico Militar (IGM):

No.	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	FECHA DE MONUMENTACION	MARCO DE REFERENCIA	SISTEMA DE REFERENCIA	COORDENADAS	LOCALIZACION
1	BLPZ	MAYO 2005	MARGEN SIRGAS	WGS - 84	ITRF 2005 (EPOCA 2010.2)	INSTALACIONES DEL REGIMIENTO RC-4 INGAVI
2	CBMB	MAYO 2005	MARGEN SIRGAS	WGS - 84	ITRF 2005 (EPOCA 2010.2)	INSTALACIONES DE LA FABRICA DE MUNICIONES COTAPACHI

**Cuadro 3:** Estaciones Base utilizadas en la investigación.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo se desarrolló el día lunes 10 de septiembre de 2018, correspondiendo al día juliano 253, semana GPS 2018.

Las condiciones y parámetros para las observaciones GNSS corresponden a:

- Observaciones con equipos de doble frecuencia.
- Método Estático Diferencial.
- Sesiones simultaneas entre estaciones Base y Rover.
- Tiempo de sesión igual a 5 horas.
- Mínimo 5 satélites observados.
- PDOP y GDOP  $\leq 4$ .
- Intervalo de grabación de datos 15 segundos.
- Máscara de elevación 15 grados (ángulo de corte).

El itinerario de trabajo de observaciones GNSS comprendió en garantizar las 5 horas de sesión simultánea, para lo cual se estableció una hora de inicio prudente de 12:00 hasta las

17:00, estableciendo además una hora antes y una hora después de los horarios establecidos para empezar y continuar la sesión respectivamente.

HORAS	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
12:00	Inicio de sesión	Todas las brigadas
17:00	Fin de sesión	Todas las brigadas

**Cuadro 4:** Sesión programada para las observaciones GNSS.

**Fuente:** Elaboración propia.

Sin embargo, los tiempos programados en trabajos de campo son sujetos a ser afectados por inclemencias del tiempo, falla del equipo, problemas sociales (impedimento de realizar la observación por obstaculización de los habitantes – supuesto avasallamiento de lotes), o como en este caso un desperfecto fortuito del vehículo que transportaba a la brigada del sector de Cahuayuma, por lo que el tiempo de sesión realizada en esta estación es de 4h 13min, y mayor a 5 horas en las demás estaciones tal como se programó.

Id de punto	Inicio	Fin	Duración	Tipo GNSS ▾	Tipo
CAH-02	09/10/2018 12:46:45	09/10/2018 17:00:30	4h 13' 45"	GPS/GLONASS	Estático
HUA BAJ-04	09/10/2018 11:56:15	09/10/2018 17:16:15	5h 20' 00"	GPS/GLONASS	Estático
TAY-01	09/10/2018 11:53:30	09/10/2018 17:12:30	5h 19' 00"	GPS/GLONASS	Estático
MLL-02	09/10/2018 11:51:15	09/10/2018 17:25:15	5h 34' 00"	GPS/GLONASS	Estático
HUA ALT-03	09/10/2018 11:39:15	09/10/2018 17:16:00	5h 36' 45"	GPS/GLONASS	Estático
PAL-03	09/10/2018 11:30:15	09/10/2018 17:18:45	5h 48' 30"	GPS/GLONASS	Estático
MEC-01	09/10/2018 11:11:15	09/10/2018 17:11:15	6h 00' 00"	GPS/GLONASS	Estático

**Cuadro 5:** Tiempos de sesión observados en las estaciones.

**Fuente:** Elaboración propia.

También, el trabajo de campo correspondió a realizar:

- Registro de las planillas GPS, para cada punto observado, anotando datos del proyecto, operador, fecha, nombre de la estación, día juliano, semana GPS, sesión, ubicación geográfica, datos de la antena y del receptor, características de la estación observada, diagrama de obstrucciones, croquis y la cronología de eventos.

**LIBRETA DE CAMPO**  
GPS

GRUPO-03

PROYECTO: RED DE SERVICIO FRENTE A LA	ESTACION: HUA BAJA 01	SEA AEREO: 255
OPERADOR: MONTAÑES, TOSCANI, FERRER VAL, JANE G. SANCHEZ, ALONSO MEL, JIMENA, VIGOTI, CHARRAS	FECHA: 10-03-18	SEMANA GPS: 37
SESION: 0		

UBICACION GEOGRAFICA			
DPTO: C. P. P. P.	PROVINCIA: BUENOS AIRES	MUNICIPIO: TUCUMAN	LUGAR: HUERTIL

DATOS DE CAMPO			
ANTENA	SISTEMA DE	COORDENADAS GEOGRAFICAS	ESTADO DE LA MARCA
ALTIMETRIA	PROYCCION	ALTIMETRIA	TIPO
3.75	WGS 84	UTM	PROYCCION
		18 99 10 00 63 56 16,0	PROYCCION
		2690,2	PROYCCION

DIAGRAMA DE CONSTRUCCIONES

DESCRIPCION DE LA SITUACION

OBSERVACIONES:

ESTACIONES QUE INTEGRAN LA SESION:

INFORMACION DEL RECEPTOR		INFORMACION DE LA ANTENA	
MARCA: SOUTH	MODELO: S 86	MARCA:	MODELO:
TIPO: 2.2	SERIE: K 9 3 6 7 3 0 0 0 5 2 0 4	TIPO:	SERIE:

CRONOLOGIA DE EVENTOS	
HORA LOCAL	ACTIVIDAD
11:00	SESION DE SENCILLA
12:00	SESION DE SENCILLA
13:00	SESION DE SENCILLA
14:00	SESION DE SENCILLA

MONOGRAFIA DEL PUNTO (DESCRIPCION)

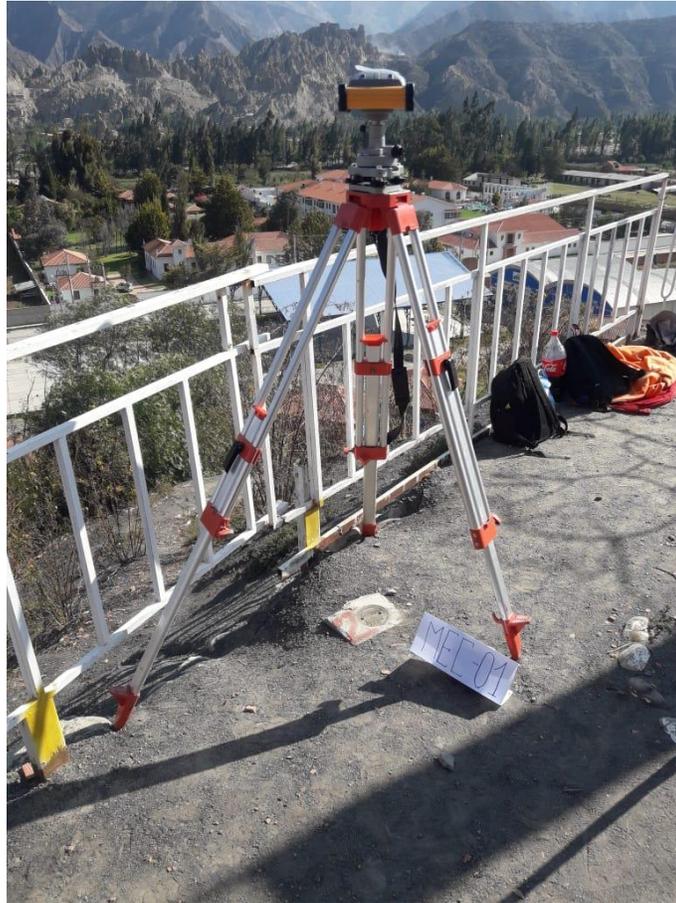
Este es un punto de referencia de precisión alta, con muchas señales de alerta, y el punto se encuentra al lado de cables de energía eléctrica.

**Fotografía 7:** Planilla de campo GPS.  
**Fuente:** Fotografía propia.

- Tomas fotográficas de las estaciones observadas (del punto y panorámica), debidamente identificadas con sus nombres.



**Fotografía 8:** Fotografía del punto MEC-01.  
**Fuente:** Fotografía propia.



**Fotografía 9:** Fotografía panorámica del punto MEC-01.  
**Fuente:** Fotografía propia.

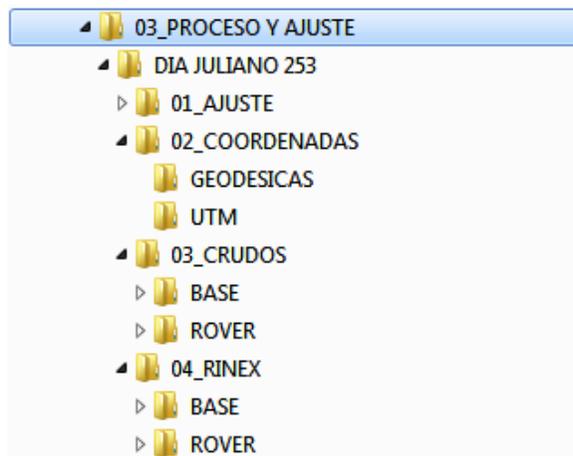
#### **4.4. TRANSFORMACION A DATOS RINEX**

Antes de realizar la transformación de los datos GPS descargados de los receptores GNSS a datos RINEX<sup>14</sup> (Receiver INdependent Exchange), para el procesamiento por los métodos establecidos en la investigación es necesario realizar:

- La estructuración y organización de los datos GPS, en archivos de datos por día juliano de acuerdo a la siguiente esquema:

---

<sup>14</sup> RINEX, son las siglas en inglés de “Receiver INdependent Exchange”. Se trata de un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, EGNOS, WASS o Galileo. Wikipedia, 2018.



**Figura 23:** Estructuración de los datos GPS  
**Fuente:** Elaboración propia.

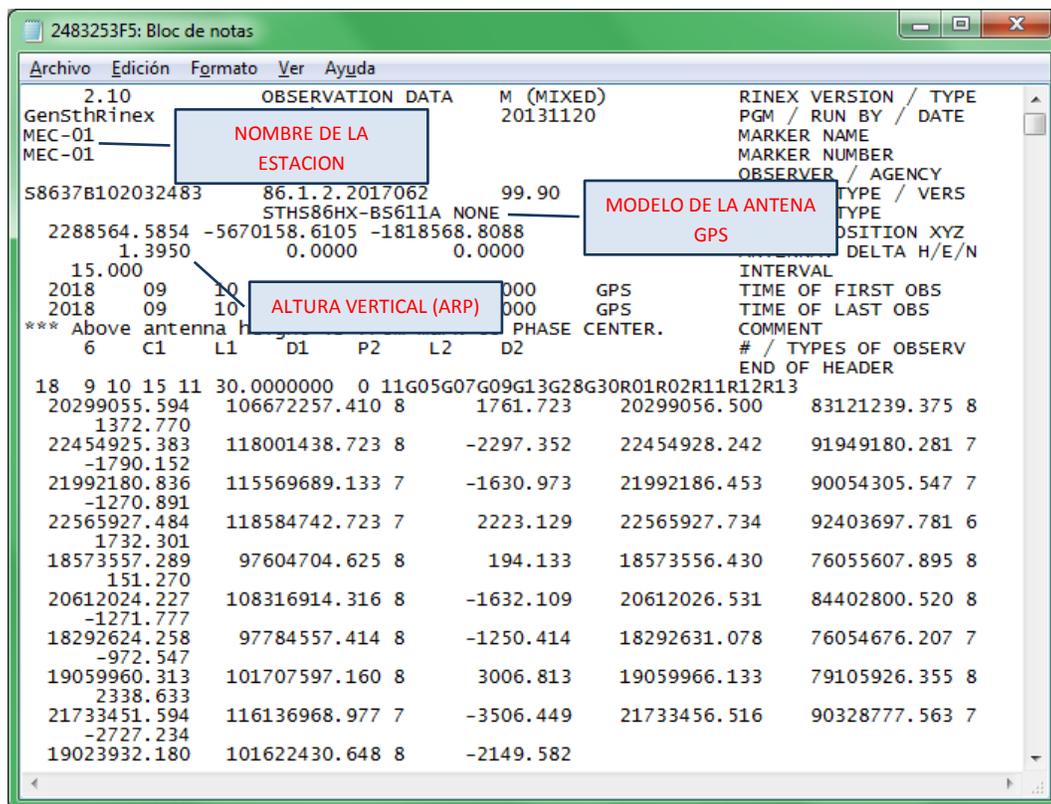
La transformación de datos crudos a datos RINEX, se realizó utilizando los programas como ToRinex4 v.03.00 para el caso de datos provenientes de los equipos South S86HX y Convert To RINEX – TBC utility Versión 2.2.1.0 para datos de los GPS Trimble R4 Modelo 3.

Tomando en cuenta que fueron los datos RINEX los utilizados para realizar el post-proceso con programas comerciales como el Leica Geo Office y los servicios de posicionamiento en línea (tanto diferencial, como puntual preciso), se consideró los requerimientos exigidos por los operadores en línea:

- Los formatos de datos aceptados incluyen RINEX 2, RINEX 2.10, RINEX 3
- Nombre de archivo según nomenclatura convencional del IGS o también son aceptados los arbitrarios.
- El dato de la altura de antena en el RINEX, debe ser vertical<sup>15</sup>.
- Se recomienda que en el encabezado (header) del RINEX, tenga como nombre y número del punto al nombre de la estación observada.
- Otro requerimiento importante es especificar el modelo de la antena GPS<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> La altura de la antena es la distancia vertical desde la marca del suelo hasta el punto de referencia de la antena (ARP). El ARP es el punto físico en una antena GPS a la que normalmente se reducen las mediciones. El ARP varía entre los tipos de antena, no debe confundirse con la inclinación. AUSPOS – Posicionamiento y navegación, Datos RINEX, 2018.

<sup>16</sup> Para lograr resultados de procesamiento de la más alta calidad, se debe prestar atención al tipo de antena utilizada. El uso del tipo de antena incorrecto puede introducir un sesgo significativo (más de 10 cm en el



**Figura 24:** Estructura del archivo RINEX  
**Fuente:** Elaboración propia.

Si bien al transformar los datos crudos a RINEX, los programas de transformación asumen por defecto los datos generados en la medición con el equipo, ocurre que no siempre el modelo de antena coincide con la nomenclatura establecida por el IGS, por lo que es necesario editar el archivo RINEX y adecuar el nombre de antena, tal cual está escrito en el archivo de calibración de antenas del IGS, el cual también es utilizado en el procesamiento con el programa Leica Geo Office que veremos más adelante.

Considerando que las observaciones GNSS de los siete puntos de muestra correspondieron entre 4,3 a 6 horas, y con el fin de realizar un análisis de las coordenadas obtenidas con diferentes periodos de tiempos, se procedió a cortar sesiones en los archivos RINEX, en tiempos de:

---

componente vertical) y ruido en las coordenadas calculadas. Se utiliza la convención de nomenclatura de la antena del IGS (Naming Convention Document). AUSPOS – Antenas GPS, 2018.

No	ESTACION	SECTOR	MAYOR A 4 HORAS	2 HORAS	MEDIA HORA
1	MLL-02	MALLASILLA	5h 34'	2h 00'	0h 30'
2	TAY-01	TAYPICULLO	5h 19'	2h 00'	0h 30'
3	MEC-01	MECAPACA	6h 00'	2h 00'	0h 30'
4	PAL-03	EL PALOMAR	5h 48'	2h 00'	0h 30'
5	CAH-02	CAHUAYUMA	4h 13'	2h 00'	0h 30'
6	HUA_ALT-03	HUARICANA ALTA	5h 36'	2h 00'	0h 30'
7	HUA_BAJ-04	HUARICANA BAJA	5h 20'	2h 00'	0h 30'

**Cuadro 6:** *Tiempos de sesión establecidos para la generación de archivos RINEX.*  
**Fuente:** *Elaboración propia.*

Para lo cual se utilizó el programa TEQC<sup>17</sup> (The Toolkit for GNSS Data), kit de herramientas para datos GNSS, que permite la; traducción (lectura de datos binarios y creación opcional de BINEX), edición (ventanas de tiempo, empalme de archivos, filtrado y extracción), y el control de calidad (calidad de datos GPS, GLONASS), mediante el cual se generó los archivos RINEX para los tiempos de sesión establecidos, según los formatos y requerimientos de los operadores de servicios de posicionamiento en línea.

#### **4.5. PROCESO Y AJUSTE DE DATOS GPS CON PROGRAMAS COMERCIALES**

Para realizar el proceso y ajuste de datos GPS, se utilizó el programa Leica Geo Office v. 7.0.0.0 de Leica Geosystems AG, software integrado que permite visualizar y manejar datos de Estación Total, GPS o Nivel, proporciona diferentes métodos de procesamiento de datos para cualquier sistema GPS y GNSS, además de contar con herramientas de transformación de coordenadas y de ajuste de redes, es considerado uno de los programas más utilizados y funcionales, además que se encuentra entre los que generan mayor confianza para los usuarios y no requiere de llave física, que representa un costo económico adicional.

---

<sup>17</sup> TEQC, (Translation, Eititing y Quality Check), programa para el tratamiento de datos GNSS creado por UNAVCO (Consortio administrado por una universidad sin fines de lucro), que facilita la investigación y la educación en las geociencias utilizando la geodesia, está financiado por la National Science Foundation (NSF) y la NASA. (<https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>).

#### 4.5.1. Verificación de referencia de coordenadas a los ITRF

Antes de realizar el procesamiento y ajuste de datos GPS, se debe considerar para los análisis comparativos de coordenadas, que las soluciones o cálculos de posicionamiento generados por los servicios de posicionamiento en línea, generan coordenadas referidas al ITRF2014 para la época de observación.

*“.....Esta aplicación le permite cargar datos de observación GNSS al servicio de post-procesamiento CenterPoint RTX y recibir cálculos de posicionamiento. Los cálculos de posicionamiento se realizan en la época de observación (época actual) de ITRF2008 para los conjuntos de datos que se recopilaban antes del 23 de marzo de 2017, e ITRF2014 para los conjuntos de datos que se recopilaban a partir del 23 de marzo de 2017<sup>18</sup>”.*

Esto quiere decir que las coordenadas corresponderán al ITRF2014 (época 2018.69), tomando en cuenta que las observaciones de los puntos se realizaron en fecha 10 de septiembre de 2018.

Sin embargo, las coordenadas de las estaciones de la Red MARGEN ROC (MARGEN SIRGAS – Estaciones Activas) del Instituto Geográfico Militar, corresponden a la época (Marzo 2010), según las mismas monografías de las estaciones base a utilizar; BLPZ y CBMB y se encuentran referidas al ITRF2005 época 2010.2 según el informe de Ajuste del Marco de Referencia Geodésico Nacional de Bolivia en SIRGAS: MARGEN-SIRGAS, publicado en octubre de 2010.

*“.... El resultado del procesamiento final son las coordenadas de las estaciones MARGEN-SIRGAS referidas al marco continental geocéntrico SIRGAS equivalente al IGS05 (realización del ITRF2005) para la época 2010.2<sup>19</sup>”*

---

<sup>18</sup> Trimble CenterPoint RTX Post-Processing, 2018 (<https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>).

<sup>19</sup> Ajuste del Marco de Referencia Geodésico Nacional de Bolivia en SIRGAS: MARGEN-SIRGAS, Resultados, Arturo Echalar Rivera (IGM) La Paz Bolivia, Laura Sánchez (DGFI) Munich Alemania, Octubre 2010.

COORDENADAS GEODÉSICAS DATUM ÉPOCA (MARZO-10)						
COORDENADAS GEODÉSICAS				COORDENADAS CARTESIANAS		DESV. EST.
LATITUD	16	31	47.465568	X	2275960,3579	0,002
LONGITUD	68	10	5.814333	Y	-5681183,7504	0,002
ALT. ELIP.	4.090,652 m			Z	-1804179,0700	0,004
ALT. GEOM.	4040,9412 M.S.N.M.					

COORDENADAS GEODÉSICAS DATUM ÉPOCA (MARZO-10)						
COORDENADAS GEODÉSICAS				COORDENADAS CARTESIANAS		
LATITUD	17	24	59.729681	X	2451888.302	
LONGITUD	66	15	31.775176	Y	-5574669.486	
ALT. ELIP.	2620,31			Z	-1897658.585	
ALT. GEOM.	2572,2819 S.N.M.					

**Figura 25:** Coordenadas y época de las estaciones BLPZ y CBMB.  
**Fuente:** Elaboración propia.

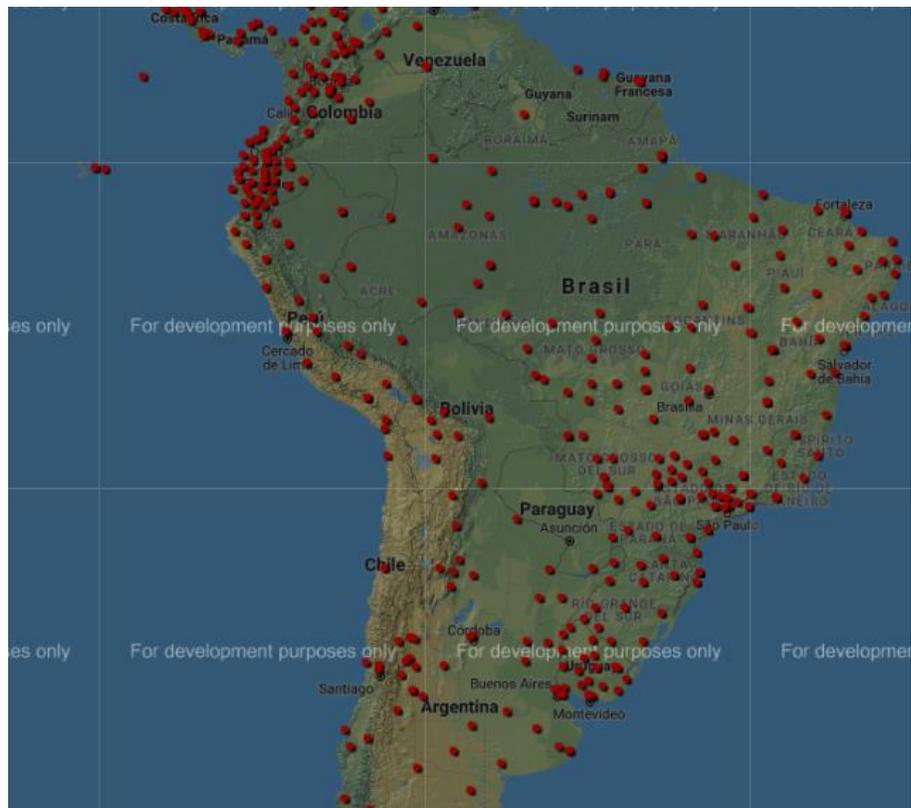
En este sentido, al haber diferencias de épocas y más aun de ITRF, se tiene dos opciones a seguir para conseguir que las coordenadas estén referidas a un mismo ITRF y una misma época, lo cual permitirá realizar una comparación correcta de coordenadas:

- Calcular las coordenadas de las estaciones base BLPZ y CBMB que se encuentran en ITRF2005 (2010.2) a ITRF2014 (2018.69) y realizar el procesamiento y ajuste de los datos GPS con LGO y posteriormente comparar con las coordenadas obtenidas mediante posicionamiento en línea.
- Calcular las coordenadas resultantes del posicionamiento en línea que se estarán en ITRF2014 (2018,69) a ITRF2005 (2010.2).

Se determinó seguir la primera opción, considerando la existencia de coordenadas de BLPZ y CBMB referidas al ITRF2014.

#### **4.5.2. Cálculo de las coordenadas de las estaciones BLPZ y CBMB a ITRF2014 época 2018.69**

Revisado el sitio web del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) (<http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/stations/>), la Red SIRGAS-CON, cuenta con 9 estaciones continuas del Estado Plurinacional de Bolivia, y entre estas se encuentran las estaciones BLPZ y CBMB referidas a la época 2015.0 mediante la solución SIR17P01.



**Figura 26:** Estaciones SIRGAS de operación continua.  
**Fuente:** SIRGAS, 2018.

Según el Simposio SIRGAS 2017 “Reportando las actividades del Grupo de Trabajo I: procesamiento, combinación y generación de productos a través de SIRGAS-CON” establece que cada estación es procesada por tres centros según asignación hecha por el Grupo de Trabajo I (GTI), generando; soluciones semanales semi-libres para la combinación del poliedro global del IGS, coordenadas semanales referidas al ITRF vigente y soluciones multianuales (SIR17P01)<sup>20</sup>.

Asimismo, informa que SIRGAS-CON desde la semana 1934 quedan referidas al IGS14/ solución ITRF2014. Por tanto, las coordenadas de las estaciones activas BLPZ y CBMB para sus soluciones semanales (SIR17P01), se encuentra referida al ITRF2014 época 2015.0.

<sup>20</sup> Soluciones multianuales (coordenadas + velocidades) para aplicaciones prácticas y científicas que requieran de la variación de las coordenadas de referencia a través del tiempo, SIRGAS, Productos de la red SIRGAS-CON, 2018 (<http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/coordinates/>).

Estación: BLPZ 41805M001		Solución: SIR17P01	
Nombre largo: BLPZ00BOL		Solución: SIR17P01	
Ubicación: El Alto, Bolivia		Época de referencia: 2015.0	
Estado: disponible		Período: 2014-04-06 - 2017-01-28	
Redes: MARGEN		Valores geocéntricos	
Agencias: IGM-BO		X:	2275960.3566 ± 0.0019 m
Instalado en: 2005-05-12		Y:	-5681183.7576 ± 0.0037 m
En SIRGAS desde: 2014-06-15 Archivo de registro : <a href="#">blpz_20140421.log</a>			
Sitio web:			
<b>Coordenadas y velocidades: las</b>			
series de tiempo para esta estación presentan discontinuidades o cambios de tendencia. Por lo tanto, las coordenadas y velocidades se clasifican en diferentes periodos.			

**Figura 27:** Solución anual SIRGAS de la estación BLPZ.  
**Fuente:** SIRGAS, 2018.

Por lo descrito líneas arriba, corresponde el cálculo de las coordenadas de las estaciones activas BLPZ y CBMB al ITRF2014 época 2018.69.

ESTACION	DATOS SIRGAS-CON		ESTACION	DATOS PARA LA INVESTIGACION	
	ITRF	EPOCA		ITRF	EPOCA
BLPZ	ITRF2014	2015.0	BLPZ	ITRF2014	2018.69
CBMB	ITRF2014	2015.0	CBMB	ITRF2014	2018.69

**Figura 28:** Esquema de cálculo de las estaciones BLPZ y CBMB a IRTF2014 (2018.69).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Para el efecto, se utilizó las velocidades ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ), establecidas en los archivos de las soluciones SIRGAS (SIR17P01), para las estaciones BLPZ y CBMB, las cuales se aplicaron a las ecuaciones:

$$X(t) = X(t_0) + (t - t_0) * V_x$$

$$Y(t) = Y(t_0) + (t - t_0) * V_y$$

$$Z(t) = Z(t_0) + (t - t_0) * V_z$$

Dónde:

$t_0$  = Época de referencia (2015.0)

$t$  = Época de observación (2018.69)

$(V_x, V_y, V_z)$  = Velocidades de la estación

CALCULO DE COORDENADAS BLPZ ITRF2014 (2018.69)						
	BLPZ	COORDENADA (t)	COORDENADA (t <sub>0</sub> )	EPOCA (t)	EPOCA (t <sub>0</sub> )	VELOCIDAD
X	2275960.3673	2275960.3673	2275960.3566	2018.69	2015.0	0.0029
Y	-5681183.7790	-5681183.7790	-5681183.7576	2018.69	2015.0	-0.0058
Z	-1804178.9761	-1804178.9761	-1804179.0152	2018.69	2015.0	0.0106

**Cuadro 7:** Coordenadas de la estación BLPZ referidas al ITRF2014 época 2018.69.

**Fuente:** Elaboración propia.

CALCULO DE COORDENADAS CBMB ITRF2014 (2018,69)						
	CBMB	COORDENADA (t)	COORDENADA (t <sub>0</sub> )	EPOCA (t)	EPOCA (t <sub>0</sub> )	VELOCIDAD
X	2451888.3142	2451888.3142	2451888.3020	2018.69	2015.0	0.0033
Y	-5574669.5114	-5574669.5114	-5574669.4929	2018.69	2015.0	-0.0050
Z	-1897658.4889	-1897658.4889	-1897658.5280	2018.69	2015.0	0.0106

**Cuadro 8:** Coordenadas de la estación CBMB referidas al ITRF2014 época 2018.69.

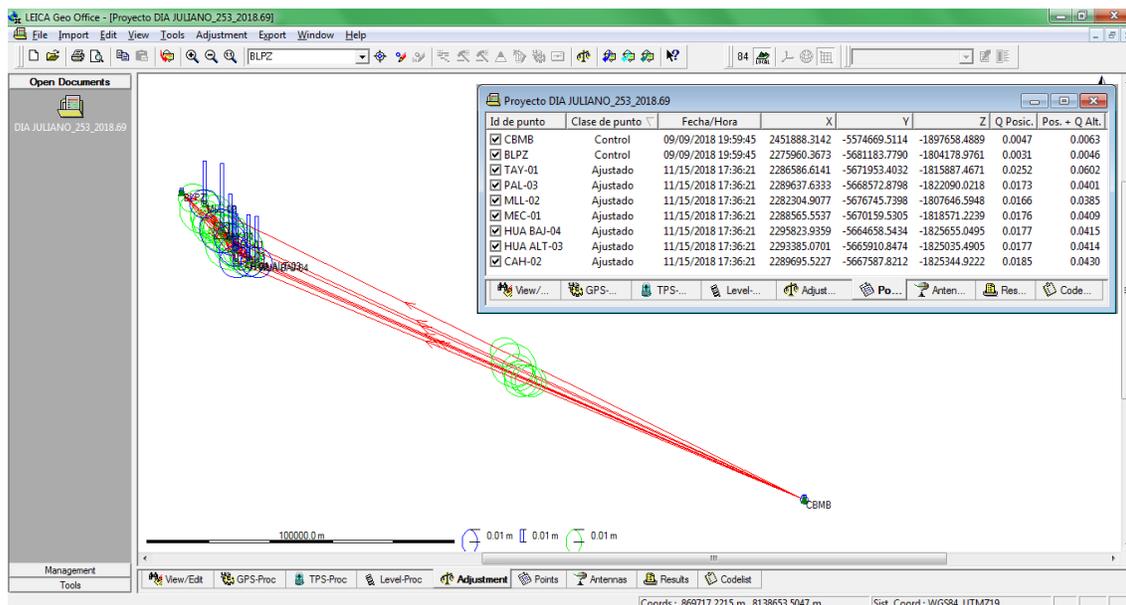
**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.5.3. Proceso y ajuste de datos GPS en Leica Geo Office

Con las coordenadas X, Y, Z, calculadas para la época de observación (2018.69) y referidas al ITRF2014, se procedió al procesamiento de datos:

- Creación de un nuevo proyecto (DIA JULIANO\_253\_2018.69).
- Importación de modelos de antenas, según archivo de calibración del IGS (LoadFile\_ant).
- Importación de los datos RINEX de las estaciones base y rover.

- Asignación de los puntos de control BLPZ y CBMB, introduciendo las coordenadas calculadas.
- Verificación de tipos y alturas de antena, tanto para las estaciones base como rover.
- Configuración de parámetros de procesamiento.
- Procesamiento de líneas base.
- Configuración de los parámetros generales del ajuste de la red.
- Ajuste y cálculo de la red.
- Verificación del cumplimiento de las pruebas estadísticas del ajuste.
- Exportación de informe de ajuste.
- Exportación de coordenadas (geodésicas, cartesianas-espaciales y UTM).



**Figura 29:** Proceso y ajuste de datos GPS en Leica Geo Office.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.6. POST-PROCESO DE DATOS GPS MEDIANTE SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN LINEA.

Para la investigación se consideró cuatro operadores de servicios de posicionamiento en línea más utilizados, caracterizados por su accesibilidad, funcionalidad, requerimientos simples, cargado sencillo de datos RINEX, tiempo de proceso, software utilizado, entre otros.

#### **4.6.1. Post-proceso mediante servicios de posicionamiento diferencial**

De los cuatro operadores considerados, dos corresponden a servicios de post-proceso de posicionamiento diferencial (los cuales consideran estaciones activas que se encuentran próximas a la observación).

- AUSPOS - Online GPS Processing Service
- Trimble CenterPoint RTX (Real Time eXtended) Post-Processing

El procedimiento general de sus usos se resume en:

- Selección del sistema de coordenadas y placa tectónica.
- Selección del número de archivos RINEX que desea enviar.
- Selección del modo de transferencia de datos al servidor (puede ser mediante un servidor ftp, o por el mismo navegador de internet).
- Selección del archivo RINEX a enviar.
- Entrada de la altura de antena GPS (esta altura es la distancia vertical entre la marca del suelo y el punto de referencia de la antena (ARP)). En el caso de Trimble CenterPoint RTX utiliza el valor del encabezado RINEX.
- Selección del tipo de antena de la lista de tipos de antena aprobados por el IGS. Asimismo, se puede usar la configuración predeterminada en caso de no estar en la lista, sin embargo puede afectar la altura estimada hasta en 10 cm (Trimble utiliza del encabezado del RINEX, por lo cual se debe tener mucho cuidado con los nombres correctos de antenas, en caso de no ser compatibles, el servicio no procesa la información enviada).
- Registro del correo electrónico donde será devuelto la solución.
- Envío de los datos.
- Recepción de los reportes en los correos electrónicos registrados.

Tras el envío, después de unos minutos se devuelven al correo electrónico registrado, los reportes de las soluciones del post-proceso diferencial.



### 3 Computed Coordinates, ITRF2014

All coordinates are based on the IGS realisation of the ITRF2014 reference frame. All the given ITRF2014 coordinates refer to a mean epoch of the site observation data. All coordinates refer to the Ground Mark.

#### 3.1 Cartesian, ITRF2014

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	ITRF2014 @
2483	2288565.577	-5670159.505	-1818571.213	10/09/2018
ANTC	1608538.619	-4816370.351	-3847798.216	10/09/2018
BOGT	1744398.886	-6116037.017	512731.885	10/09/2018
BRAZ	4115014.074	-4550641.630	-1741443.791	10/09/2018
CHPI	4164613.908	-4162456.971	-2445028.652	10/09/2018
CORD	2345503.874	-4910842.914	-3316365.241	10/09/2018
COYQ	1391587.241	-4255574.551	-4527925.850	10/09/2018
FALK	2106811.405	-3355170.743	-4981786.241	10/09/2018
GLPS	-33800.965	-6377516.513	-82154.241	10/09/2018
MANA	407981.945	-6222925.607	1333529.052	10/09/2018
MTV1	2914537.030	-4349790.373	-3630033.336	10/09/2018
PARC	1255992.554	-3622975.215	-5079719.151	10/09/2018
SALU	4566947.859	-4443098.549	-286674.569	10/09/2018
SANT	1769693.436	-5044574.273	-3468320.898	10/09/2018
SAVO	4870283.742	-3864605.355	-1418872.388	10/09/2018

#### 3.2 Geodetic, GRS80 Ellipsoid, ITRF2014

Geoid-ellipsoidal separations, in this section, are computed using a spherical harmonic synthesis of the global EGM2008 geoid. More information on the EGM2008 geoid can be found at <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>.

Station	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Ellipsoidal Height(m)	Derived Above Geoid Height(m)
2483	-16 40 07.21413	-68 01 12.79908	2906.890	2861.643
ANTC	-37 20 19.31564	-71 31 55.42326	745.441	721.842
BOGT	4 38 24.26890	-74 04 51.38237	2576.229	2553.368
BRAZ	-15 56 50.90363	-47 52 40.33044	1106.008	1118.598
CHPI	-22 41 13.71907	-44 59 06.57182	617.428	620.805
CORD	-31 31 42.36089	-64 28 12.17543	746.844	720.456
COYQ	-45 30 51.62361	-71 53 31.49004	476.161	456.698
FALK	-51 41 37.14363	-57 52 26.64198	50.828	38.692
GLPS	-0 44 34.79308	-90 18 13.19734	1.771	5.350
MANA	12 08 56.18164	-86 14 56.37444	70.963	66.355
MTV1	-34 54 48.92010	-56 10 34.68480	40.729	26.362
PARC	-53 08 13.03212	-70 52 47.57164	22.270	12.187
SALU	-2 35 36.44624	-44 12 44.92634	18.974	44.239
SANT	-33 09 01.03525	-70 40 06.79916	723.098	695.195
SAVO	-12 56 21.28087	-38 25 56.11567	76.301	87.222

AUSPOS 2.3 Job Number: # 7881  
User: huber\_augusto at hotmail com

3

©Commonwealth of Australia  
(Geoscience Australia) 2018

**Figura 30:** Reporte de post-proceso de AUSPOS.  
**Fuente:** Elaboración propia.



## Post-Processing Service Based on RTX Technology

TrimbleRTX.com

Contributor: huber\_augusto@hotmail.com  
 Reference Name: 2483253F5.180  
 Upload Date: 10/24/2018 16:25:50 UTC

Report Time Frame:  
 Start Time: 09/10/2018 15:11:30 UTC  
 End Time: 09/10/2018 21:11:30 UTC  
 Observation File Type(s): RINEX  
 Observation File(s): 2483253F5.180  
 Antenna:  
 Name: STHS86HX-BS611A NONE  
 Height: 1.395 m  
 Reference: Bottom of antenna mount  
 Receiver Name: 86.1.2.2017062  
 Coordinate Systems: ITRF2005 & ITRF2014  
 Tectonic Plate: South America (Auto-detected)  
 Tectonic Plate Model: MORVEL56  
 Processing Interval: 15 s

### Statistics

# Total Obs	# Usable Obs	# Used Obs	Percent
1441	1441	1431	99

### Used Satellites

# Total Satellites:	28
GPS:	G02 G05 G06 G07 G09 G12 G13 G15 G17 G19 G24 G25 G28 G29 G30
GLONASS:	R01 R02 R03 R04 R11 R13 R14 R15 R17 R18 R22 R23 R24

### Processing Results

ITRF2005 at Epoch 2000.0		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	2288565.579 m	0.010 m
Y	-5670159.463 m	0.016 m
Z	-1818571.362 m	0.007 m
Latitude	16° 40' 7.21913" S	0.005 m
Longitude	68° 01' 12.79845" W	0.011 m
El. Height	2906.895 m	0.017 m

ITRF2014 at Epoch 2018.69		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	2288565.556 m	0.010 m
Y	-5670159.514 m	0.016 m
Z	-1818571.218 m	0.007 m
Latitude	16° 40' 7.21428" S	0.005 m
Longitude	68° 01' 12.79985" W	0.011 m
El. Height	2906.892 m	0.017 m

### Report Information

Trimble RTX Solution ID: 18763343  
 Solution Type: Static  
 Software Version: 6.1.4.17185  
 Creation Date: 10/24/2018 16:28:01 UTC

#### Disclaimer

Trimble Navigation Limited does not guarantee availability, reliability, and performance of the current RTX Post-Processing service and accepts no legal liability arising from, or connected to, the use of information on this document or use of this service.

**Figura 31:** Reporte de post-proceso de Trimble CenterPoint RTX.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Mediante el post-procesamiento con estos dos servicios en línea, se procesó los archivos RINEX para las siete estaciones de observación, en sus tres diferentes tiempos de sesión:

**PROCESO DE ARCHIVOS RINEX PARA DIFERENTES TIEMPOS DE SESION**

No	ESTACION	> 4 HORAS	2 HORAS	MEDIA HORA*
1	MLL-02	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX
2	TAY-01	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX
3	MEC-01	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX
4	PAL-03	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX
5	CAH-02	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX
6	HUA_ALT-03	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX
7	HUA_BAJ-04	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX	AUSPOS TRIMBLE RTX

*\*Para el caso del operador AUSPOS se consideró una hora, siendo el tiempo mínimo exigible para el proceso.*

**Cuadro 9:** *Tiempos de sesión sujetos a post-proceso.*

**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.6.2. Post-proceso mediante servicios de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP).**

Para este tipo de servicios, se utilizó dos operadores, caracterizados por su funcionalidad y su buen nivel de confianza:

- APPS – Automatic Precise Positioning Service
- IBGE-PPP Instituto Brasileño de Geografía y Estadística

El proceso general se resumen en:

- Selección del archivo RINEX.
- Selección del modo de transferencia de datos al servidor (puede ser mediante un servidor ftp, o por el mismo navegador de internet).
- Selección del modo de procesamiento (estático o cinemático).
- Selección del tipo de antena (en el caso de APPS se extrae de la cabecera del RINEX).

- Registro de altura de antena (también puede ser extraído de la cabecera del RINEX, además esta altura es la vertical).
- Selección del tipo de mensura (simple o doble frecuencia).
- Órbitas/relojes utilizados.
- Selección de Código L1 (Código CA o P).
- Datos de presión del modelo.
- Selección del modo de ponderación de datos dependientes de la elevación.
- Selección de ángulo de corte de elevación.
- Registro del correo electrónico.
- Envío de los datos.

The screenshot shows the 'Posicionamiento instantáneo' (Instant Positioning) page of the GDGPS system. The interface includes a sidebar with navigation links and a main form with the following sections:

- Posicionamiento instantáneo**
- Opciones de APPS**
  - Modo de procesamiento:**  Estático,  Cinemático
  - Tipo de medida:**  Frecuencia única,  Doble frecuencia
  - Órbitas / relojes utilizados:**
    - Final de JPL: Datos anteriores a 2018-11-10
    - JPL Rapid: Datos desde 2018-11-10 hasta 2018-11-18.
    - JPL Ultra R / T: Datos desde 2018-11-18 hasta el presente.
  - Código L1:**  Código CA,  Código P
  - Datos de presión del modelo?:**  SI,  No
  - Ponderación de datos dependientes de la elevación:**  Plano,  Pecado,  Sqrt (pecado)
  - Opciones avanzadas:**
    - Corte de ángulo de elevación: 7.5
    - Velocidad de salida de la solución (segundos): 300
- File Upload:**
  - Botón: Seleccionar archivo
  - Estado: Ningún archivo seleccionado
  - Botones: Restablecer, Subir
  - Nota: \* Se permite un máximo de 10MB para subir.

**Figura 32:** Página web de ingreso de datos de APPS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

En el caso de los servidores de posicionamiento puntual preciso, estos no devuelven las soluciones a los correos electrónicos, simplemente generan un link del archivo de procesamiento en la misma página web de navegación para ser abierto y revisado.



**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

---

### Sumário do Processamento do marco: MEC-01

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2018/09/10 15:11:30,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2018/09/10 21:11:30,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	STHS86HX-BS611A NONE
<b>Órbitas dos satélites:<sup>1</sup></b>	FINAL
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	15,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	1,395
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	1,00 GPS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	0,79 GPS

---

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4 (É a que deve ser usada)<sup>4</sup></b>	-16° 40' 07,2235"	-68° 01' 12,7999"	2.906,91	8156841.150	604476.519	-69
<b>Na data do levantamento<sup>5</sup></b>	-16° 40' 07,2144"	-68° 01' 12,7992"	2.906,91	8156841.429	604476.541	-69
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,003	0,009	0,015			
<b>Modelo Geoidal</b>	MAPGEO2015					
<b>Ondulação Geoidal (m)</b>	Fora do Contorno do Brasil					
<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	Fora do Contorno do Brasil					

---

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

---

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).  
<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.  
<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).  
<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.  
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.  
<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181.  
 Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

**Processamento autorizado para uso do IBGE.**

**Figura 33:** Página web de ingresso de dados de APPS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Similar que en el post-procesamiento diferencial, también se procesaron en PPP, diferentes tiempos de sesiones:

**PROCESO DE ARCHIVOS RINEX PARA DIFERENTES TIEMPOS DE SESION**

No	ESTACION	> 4 HORAS	2 HORAS	MEDIA HORA
1	MLL-02	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP
2	TAY-01	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP
3	MEC-01	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP
4	PAL-03	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP
5	CAH-02	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP
6	HUA_ALT-03	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP
7	HUA_BAJ-04	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP	APPS IBGE-PPP

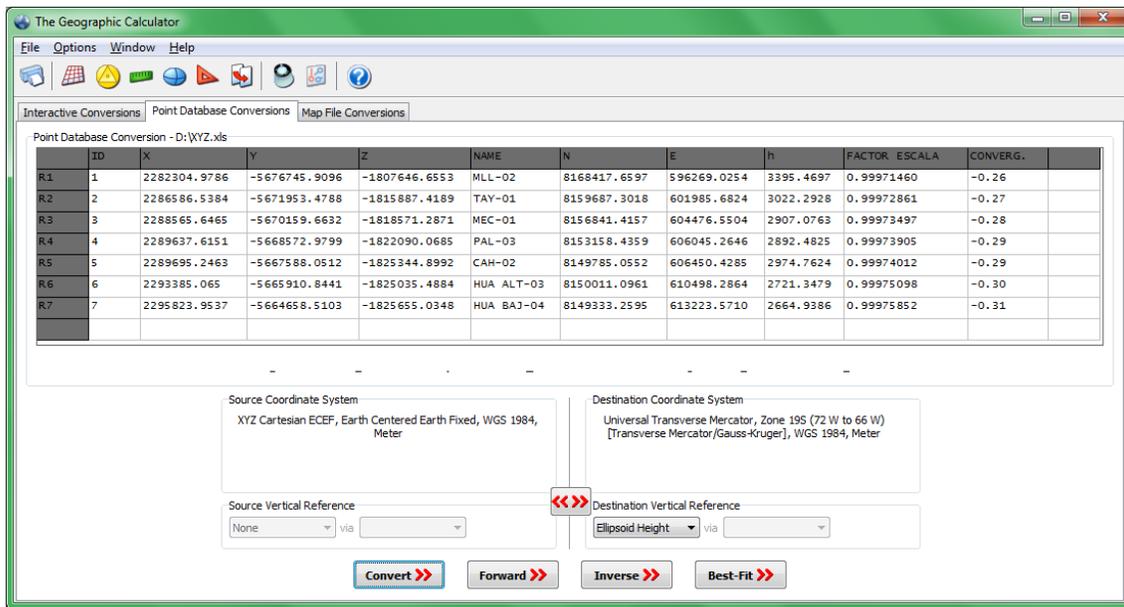
**Cuadro 10:** *Tiempos de sesión sujetos a post-proceso en PPP.*  
**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### **4.7. TRANSFORMACION DE COORDENADAS CARTESIANAS A UTM**

Para un mejor análisis comparativo de coordenadas y sea más objetivo la determinación de las diferencias, se realizó la transformación de coordenadas cartesianas - espaciales (X, Y, Z), a coordenadas UTM zona 19 Sur (Norte, Este, Altura elipsoidal), de todas las soluciones (tanto del posicionamiento diferencial y del posicionamiento puntual preciso - PPP), de los servicios utilizados en línea.

Para lo cual, se utilizó el programa The Geographic Calculator Version 6.2, realizando la transformación a coordenadas Universal Transversa de Mercator, zona 19 Sur, y considerando como altura referencia a la elipsoidal (h).

A fin de realizar un proceso relativamente rápido, se realizaron las transformaciones por grupo de coordenadas resultantes de cada servicio de posicionamiento en línea.



**Figura 34:** Transformación de coordenadas cartesianas a UTM.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.8. ANALISIS DE RESULTADOS

El procedimiento común, general o tradicional para el establecimiento de un punto determinado mediante tecnología GNSS, corresponde en realizar observaciones diferenciales (una estación base conocida y una estación rover), o para darle mayor precisión utilizar dos estaciones bases que permitan realizar la triangulación y generación de líneas bases entre puntos, o como en el caso de la investigación; buscando aun la mayor precisión posible realizar observaciones de puntos de un red geodésica, con sesiones superiores a cuatro horas.

En todas estas, por el método utilizado implica realizar el post-procesamiento de datos GPS, mediante el uso de programas comerciales especializados, como se utilizó en la investigación, el programa Leica Geo Office.

En este sentido la investigación considera como “valores verdaderos” a las coordenadas resultantes del post-procesamiento de datos mediante programa, las mismas son comparadas con las coordenadas resultantes de los servicios de posicionamiento en línea (diferencial y PPP), y de esta manera establecer las diferencias entre sus valores, así como verificar si las variaciones son o no significativas.

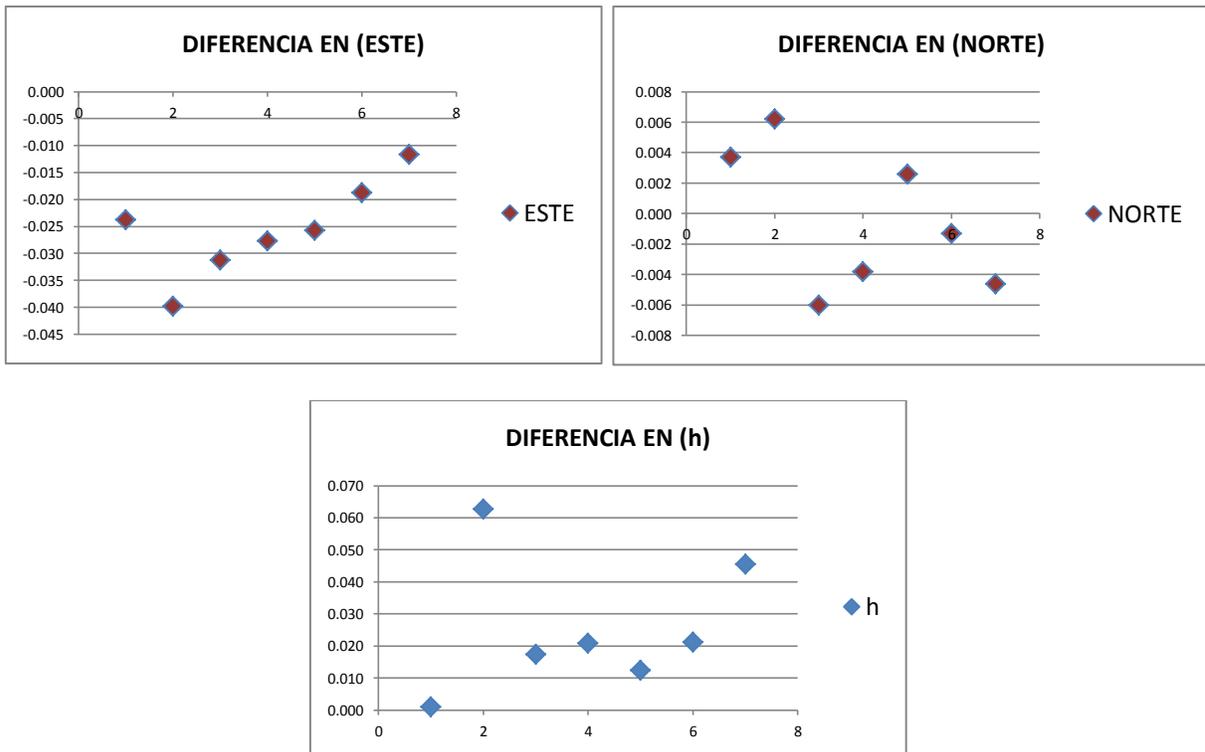
## 4.8.1. Comparación en coordenadas Este, Norte y Altura elipsoidal

### 4.8.1.1. Sesiones de 4 a 6 horas

#### A) COMPARACION LEICA GEO OFFICE - AUSPOS

4-6 HORAS		LEICA GEO OFFICE			AUSPOS			DIFERENCIA		
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.047	8168417.662	3395.275	-0.024	0.004	0.001
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.820	8159687.237	3022.204	-0.040	0.006	0.063
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.545	8156841.437	2906.890	-0.031	-0.006	0.017
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.347	8153158.460	2892.366	-0.028	-0.004	0.021
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.796	8149784.997	2974.652	-0.026	0.003	0.012
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.309	8150011.097	2721.332	-0.019	-0.001	0.021
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.554	8149333.257	2664.921	-0.012	-0.005	0.045
					VALOR ABSOLUTO	PROMEDIO	0.026	0.004	0.026	
						VALOR MAX.	0.040	0.006	0.063	
						VALOR MIN.	0.012	0.001	0.001	

**Cuadro 11:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS.  
Fuente: Elaboración propia.



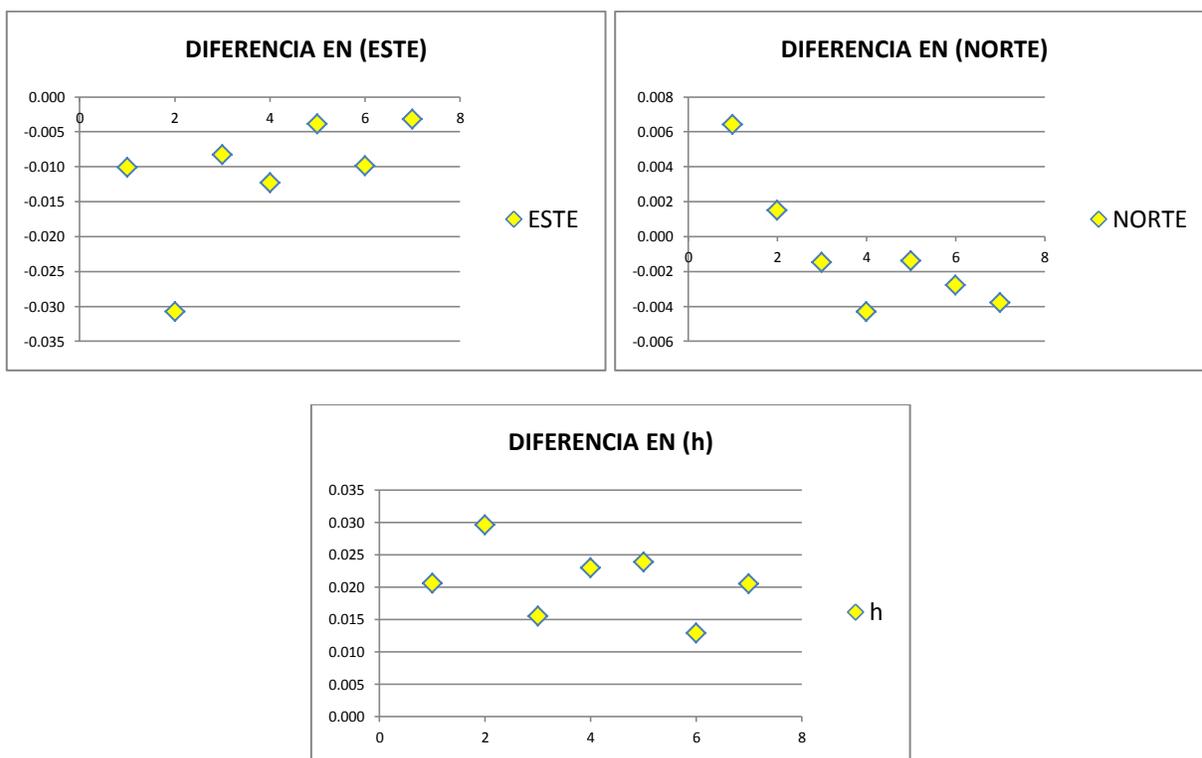
**Figura 35:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS.  
Fuente: Elaboración propia.

## B) COMPARACION LEICA GEO OFFICE – TRIMBLE RTX

4-6 HORAS		LEICA GEO OFFICE			TRIMBLE RTX			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.033	8168417.659	3395.255	-0.010	0.006	0.021	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.811	8159687.242	3022.237	-0.031	0.002	0.030	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.522	8156841.433	2906.892	-0.008	-0.002	0.015	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.331	8153158.460	2892.364	-0.012	-0.004	0.023	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.774	8149785.001	2974.640	-0.004	-0.001	0.024	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.300	8150011.098	2721.340	-0.010	-0.003	0.013	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.545	8149333.256	2664.945	-0.003	-0.004	0.021	
VALOR ABSOLUTO								PROMEDIO	0.011	0.003	0.021
								VALOR MAX.	0.031	0.006	0.030
								VALOR MIN.	0.003	0.001	0.013

**Cuadro 12:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – Trimble RTX.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 36:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – Trimble RTX.

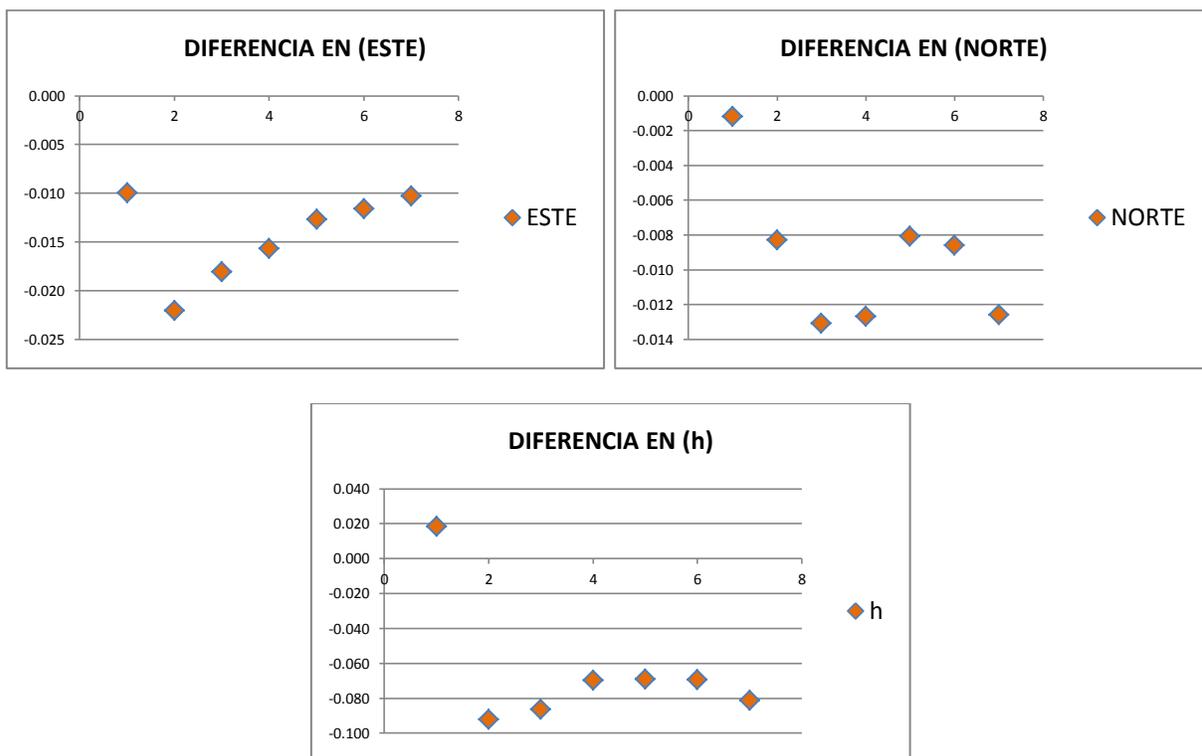
**Fuente:** Elaboración propia.

### C) COMPARACION LEICA GEO OFFICE – APPS

4-6 HORAS		LEICA GEO OFFICE			APPS			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.033	8168417.666	3395.258	-0.010	-0.001	0.018	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.803	8159687.252	3022.359	-0.022	-0.008	-0.092	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.532	8156841.444	2906.994	-0.018	-0.013	-0.086	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.335	8153158.468	2892.457	-0.016	-0.013	-0.070	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.783	8149785.008	2974.733	-0.013	-0.008	-0.069	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.302	8150011.104	2721.423	-0.012	-0.009	-0.069	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.552	8149333.265	2665.047	-0.010	-0.013	-0.081	
							VALOR ABSOLUTO	PROMEDIO	0.014	0.009	0.070
								VALOR MAX.	0.022	0.013	0.092
								VALOR MIN.	0.010	0.001	0.018

**Cuadro 13:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – APPS.

**Fuente:** Elaboración propia.



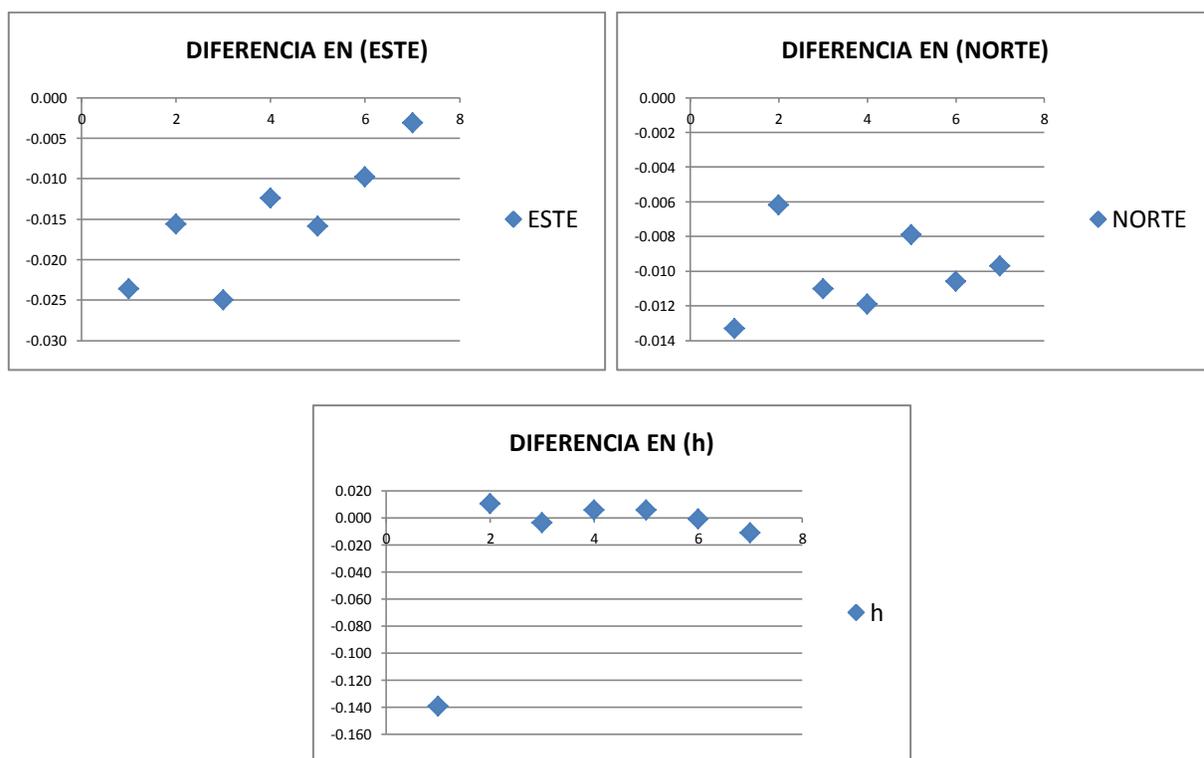
**Figura 37:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – APPS.

**Fuente:** Elaboración propia.

## D) COMPARACION LEICA GEO OFFICE – IBGE-PPP

4-6 HORAS		LEICA GEO OFFICE			IBGE-PPP			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.047	8168417.679	3395.415	-0.024	-0.013	-0.139	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.796	8159687.249	3022.256	-0.016	-0.006	0.011	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.539	8156841.442	2906.911	-0.025	-0.011	-0.004	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.331	8153158.468	2892.381	-0.012	-0.012	0.006	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.786	8149785.008	2974.658	-0.016	-0.008	0.006	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.300	8150011.106	2721.354	-0.010	-0.011	-0.001	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.545	8149333.262	2664.977	-0.003	-0.010	-0.011	
							VALOR ABSOLUTO	PROMEDIO	0.015	0.010	0.025
								VALOR MAX.	0.025	0.013	0.139
								VALOR MIN.	0.003	0.006	0.001

**Cuadro 14:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 38:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP.  
Fuente: Elaboración propia.

Generadas las tablas comparativas de coordenadas obtenidas mediante el proceso y ajuste con el programa Leica Geo Office y los 4 servicios en línea, se tiene la necesidad de generar una comparación interservicios de posicionamiento a fin de establecer cuál de estos ofrece mejores resultados, para lo cual se generó los promedios, valores máximos y mínimos en valor absoluto, a fin de tener un análisis mucho más objetivo de las diferencias, teniendo la siguiente tabla resumen:

		DIFERENCIAS		
		ESTE	NORTE	h
<b>AUSPOS</b>	<b>PROMEDIO</b>	0.026	0.004	0.026
	<b>VALOR MAX.</b>	0.040	0.006	0.063
	<b>VALOR MIN.</b>	0.012	0.001	0.001
<b>TRIMBLE RTX</b>	<b>PROMEDIO</b>	0.011	0.003	0.021
	<b>VALOR MAX.</b>	0.031	0.006	0.030
	<b>VALOR MIN.</b>	0.003	0.001	0.013
<b>APPS</b>	<b>PROMEDIO</b>	0.014	0.009	0.070
	<b>VALOR MAX.</b>	0.022	0.013	0.092
	<b>VALOR MIN.</b>	0.010	0.001	0.018
<b>IBGE-PPP</b>	<b>PROMEDIO</b>	0.015	0.010	0.025
	<b>VALOR MAX.</b>	0.025	0.013	0.139
	<b>VALOR MIN.</b>	0.003	0.006	0.001

**Cuadro 15:** Comparación de diferencias entre servicios de posicionamiento.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Comparando las diferencias entre los 4 servicios de posicionamiento vemos que TRIMBLE RTX, genera mejores resultados, llegando a errores mínimos de hasta 1 milímetro y máximo 31 milímetros, esto puede deberse, a que utiliza su propio software y acepta observaciones con datos de diferentes constelaciones (GPS, GLONASS, etc.), que sin duda aumentan la cantidad de datos a procesar mejorando las precisiones.

El segundo con mejor performance es APPS de la NASA, a pesar de ser un servicio de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP), supera a AUSPOS que es un servicio de posicionamiento diferencial. En este caso habría que considerar que AUSPOS es un servicio de Australia, y por la distancia a nuestra región, utiliza solo algunas estaciones activas. Por otro lado, vemos que en los cuatro servicios utilizados, al ser resultado de observaciones que van de 4 a 6 horas de sesión, las diferencias de coordenadas se encuentran por debajo de los 4 centímetros en coordenadas “este”, 1.3 centímetros en “norte” y 13.9 centímetros en altura elipsoidal.

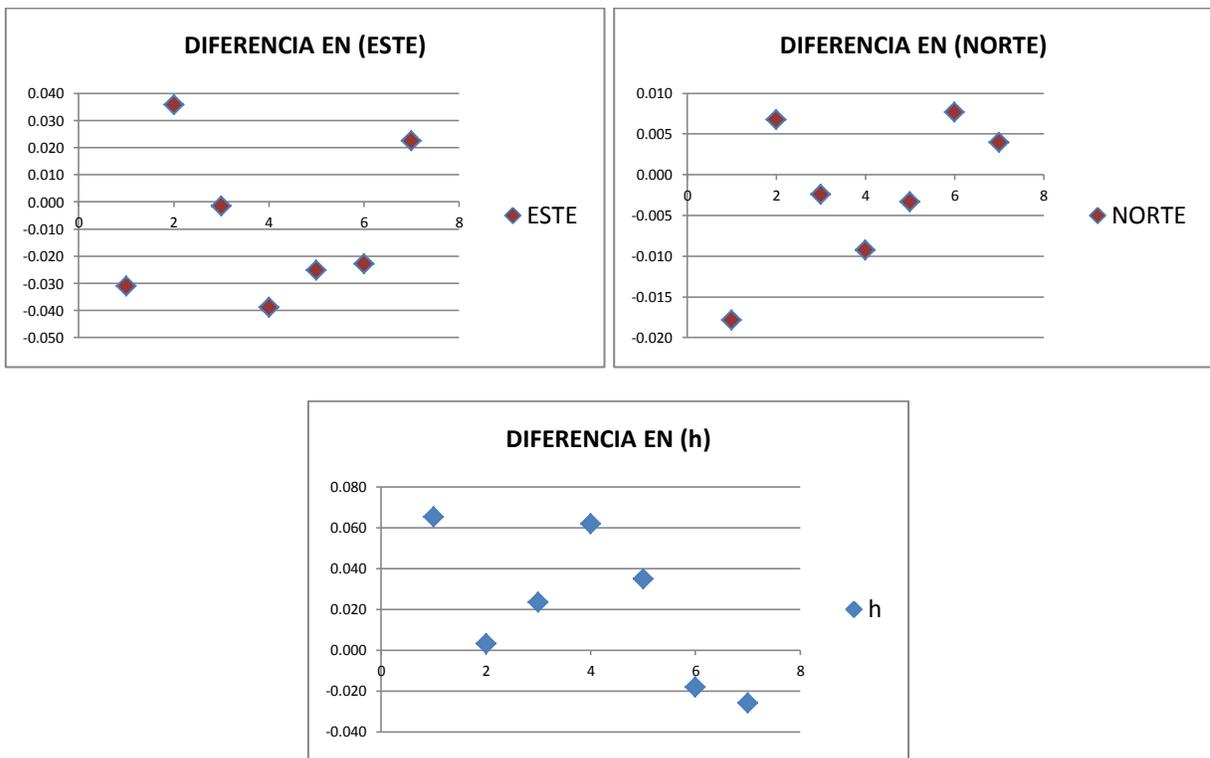
#### 4.8.1.2. Sesiones de 2 horas

##### A. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – AUSPOS

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			AUSPOS			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.054	8168417.683	3395.211	-0.031	-0.018	0.065	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.745	8159687.236	3022.264	0.036	0.007	0.003	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.516	8156841.434	2906.884	-0.002	-0.002	0.023	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.358	8153158.465	2892.325	-0.039	-0.009	0.062	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.796	8149785.003	2974.629	-0.025	-0.003	0.035	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.313	8150011.088	2721.372	-0.023	0.008	-0.018	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.520	8149333.248	2664.992	0.023	0.004	-0.026	
<b>VALOR ABSOLUTO</b>								<b>PROMEDIO</b>	<b>0.025</b>	<b>0.007</b>	<b>0.033</b>
								<b>VALOR MAX.</b>	<b>0.039</b>	<b>0.018</b>	<b>0.065</b>
								<b>VALOR MIN.</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>	<b>0.003</b>

**Cuadro 16:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS.

*Fuente:* Elaboración propia.



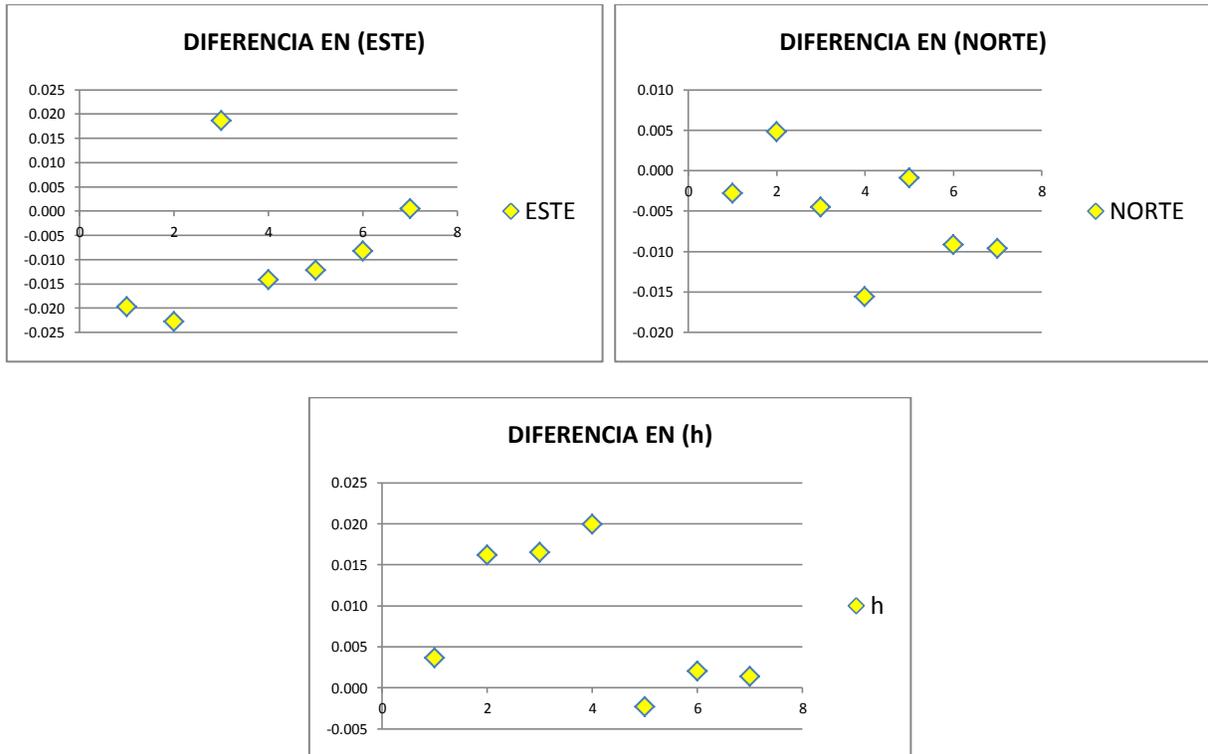
**Figura 39:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS.

*Fuente:* Elaboración propia.

## B. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – TRIMBLE RTX

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			TRIMBLE RTX			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.043	8168417.668	3395.272	-0.020	-0.003	0.004	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.803	8159687.238	3022.250	-0.023	0.005	0.016	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.496	8156841.436	2906.891	0.019	-0.005	0.017	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.333	8153158.471	2892.367	-0.014	-0.016	0.020	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.783	8149785.001	2974.666	-0.012	-0.001	-0.002	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.298	8150011.105	2721.351	-0.008	-0.009	0.002	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.542	8149333.262	2664.965	0.000	-0.010	0.001	
							VALOR ABSOLUTO	PROMEDIO	0.014	0.007	0.009
								VALOR MAX.	0.023	0.016	0.020
								VALOR MIN.	0.000	0.001	0.001

**Cuadro 17:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – TRIMBLE RTX.  
**Fuente:** Elaboración propia.

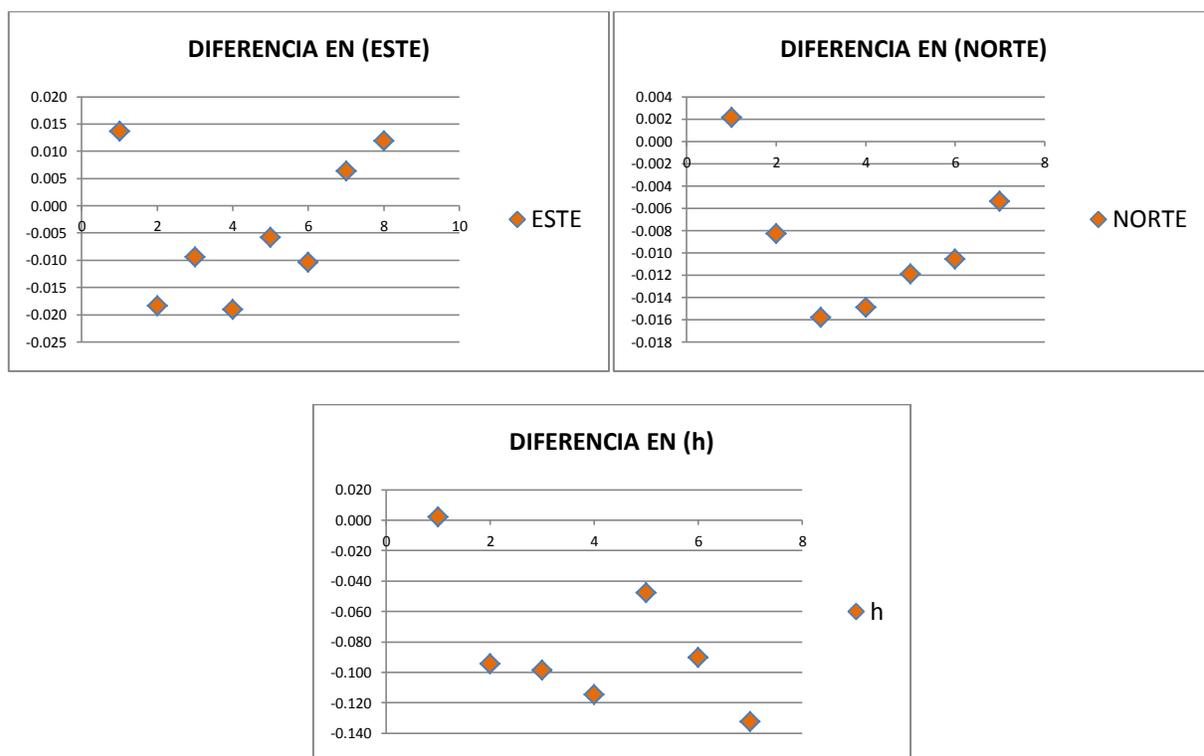


**Figura 40:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – RTX.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### C. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – APPS

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			APPS			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.009	8168417.663	3395.274	0.014	0.002	0.002	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.799	8159687.252	3022.361	-0.018	-0.008	-0.094	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.524	8156841.447	2907.006	-0.009	-0.016	-0.099	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.338	8153158.471	2892.502	-0.019	-0.015	-0.115	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.776	8149785.012	2974.712	-0.006	-0.012	-0.048	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.300	8150011.106	2721.444	-0.010	-0.011	-0.090	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.536	8149333.258	2665.098	0.006	-0.005	-0.132	
							VALOR ABSOLUTO	PROMEDIO	0.012	0.010	0.083
								VALOR MAX.	0.019	0.016	0.132
								VALOR MIN.	0.006	0.002	0.002

**Cuadro 18:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – APPS.  
**Fuente:** Elaboración propia.



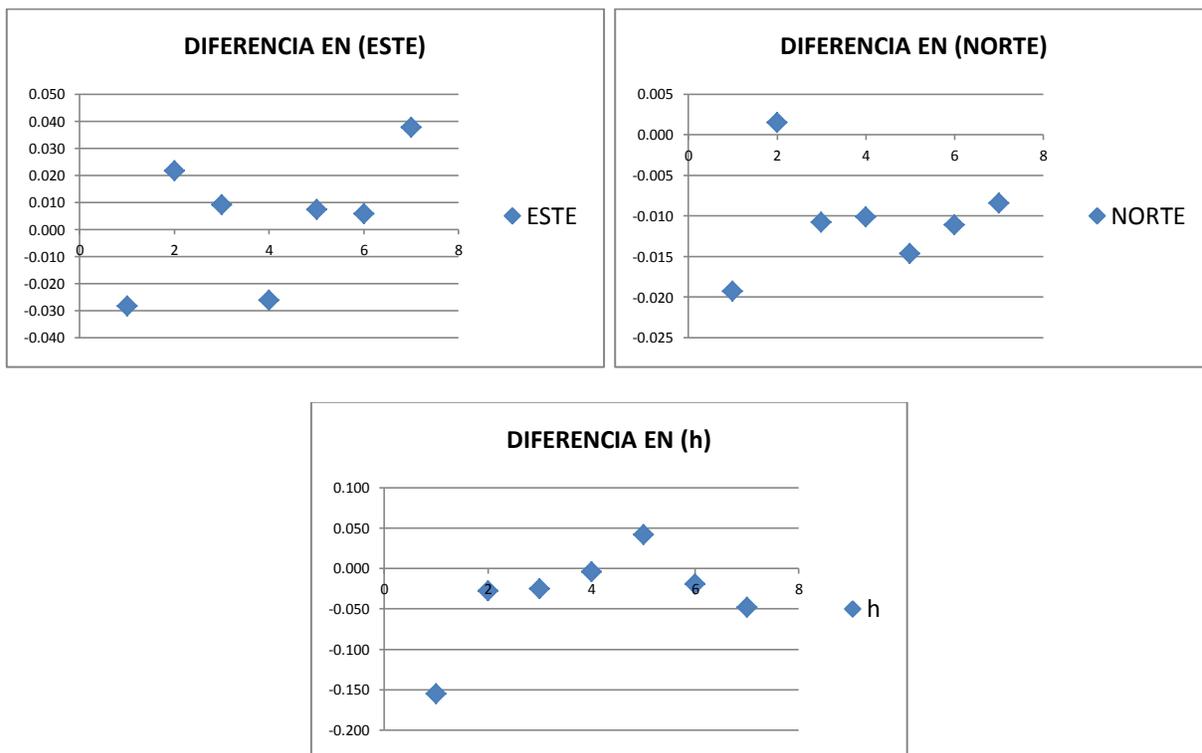
**Figura 41:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – APPS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### D. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – IBGE-PPP

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			IBGE-PPP			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.051	8168417.685	3395.432	-0.028	-0.019	-0.156	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.759	8159687.242	3022.295	0.022	0.002	-0.028	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.505	8156841.442	2906.932	0.009	-0.011	-0.025	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.345	8153158.466	2892.392	-0.026	-0.010	-0.005	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.763	8149785.015	2974.622	0.007	-0.015	0.042	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.284	8150011.107	2721.373	0.006	-0.011	-0.020	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.504	8149333.261	2665.014	0.038	-0.008	-0.048	
							VALOR ABSOLUTO	PROMEDIO	0.019	0.011	0.046
								VALOR MAX.	0.038	0.019	0.156
								VALOR MIN.	0.006	0.002	0.005

**Cuadro 19:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP.

*Fuente:* Elaboración propia.



**Figura 42:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP.

*Fuente:* Elaboración propia.

Para el análisis de resultados de diferencias de coordenadas para sesiones de dos horas, también se generó los promedios, valores máximos y mínimos en valor absoluto, a fin de tener un análisis objetivo de las diferencias, teniendo la siguiente tabla resumen:

		DIFERENCIAS		
		ESTE	NORTE	h
AUSPOS	PROMEDIO	0.025	0.007	0.033
	VALOR MAX.	0.039	0.018	0.065
	VALOR MIN.	0.002	0.002	0.003
TRIMBLE RTX	PROMEDIO	0.014	0.007	0.009
	VALOR MAX.	0.023	0.016	0.020
	VALOR MIN.	0.000	0.001	0.001
APPS	PROMEDIO	0.012	0.010	0.083
	VALOR MAX.	0.019	0.016	0.132
	VALOR MIN.	0.006	0.002	0.002
IBGE-PPP	PROMEDIO	0.019	0.011	0.046
	VALOR MAX.	0.038	0.019	0.156
	VALOR MIN.	0.006	0.002	0.005

**Cuadro 20:** Comparación de diferencias entre servicios de posicionamiento (2 horas).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Comparando los datos nuevamente TRIMBLE RTX, genera los mejores resultados, teniendo diferencias de 0 a 23 milímetros en “este”, de 1 a 16 milímetros en “norte” y de 1 a 20 milímetros en altura elipsoidal.

El segundo con mejor performance sigue siendo APPS de la NASA, con diferencia de coordenadas por debajo de los 19 y 16 milímetros en “este” y “norte” respectivamente, que superan a AUSPOS significativamente, exceptuando por la altura elipsoidal, que tiene menor diferencia que APPS.

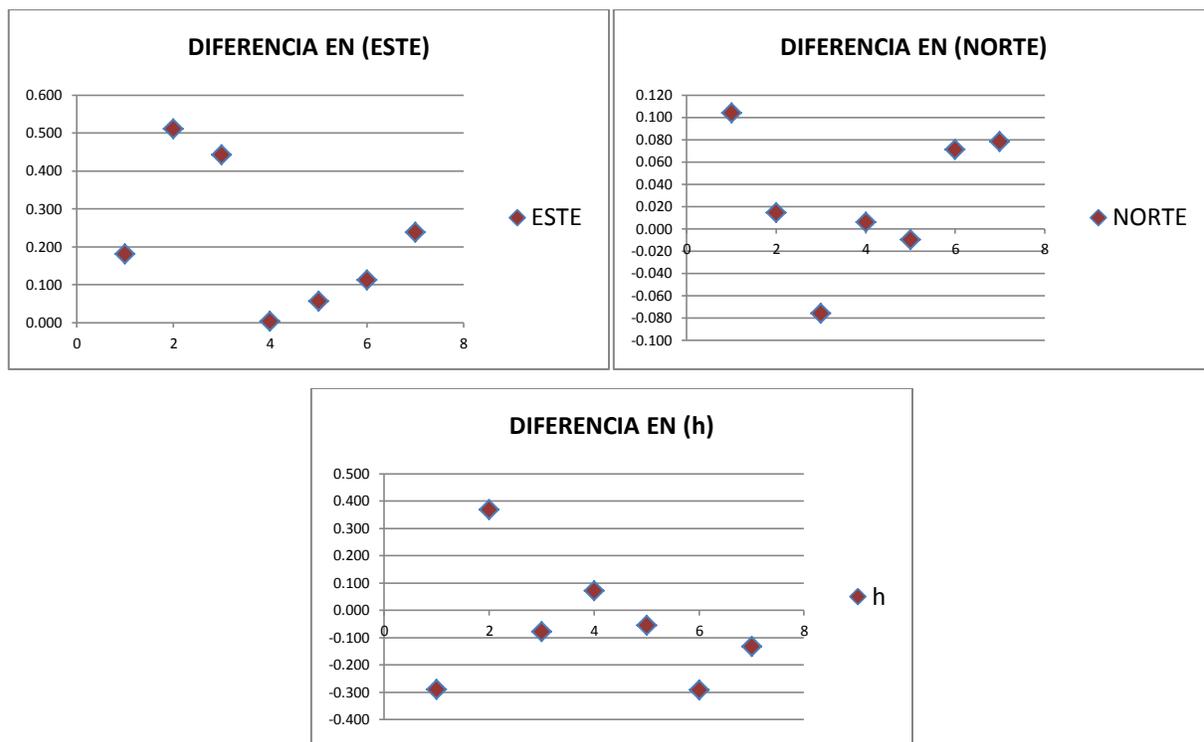
Comparando las diferencias con la tabla que corresponde a sesiones de 4 a 6 horas, vemos que en la coordenada “este” los valores se asemejan a los 4 centímetros (39 milímetros) como máxima diferencia, en la coordenada “norte” ya existe una diferencia de los 1.3 centímetros se incrementa a 1.9 centímetros como máxima diferencia y en la altura elipsoidal los 13.9 centímetros máximos llegan a 15.6. Concluyendo que a mayor tiempo de sesión los resultados del procesamiento en línea son mejores.

### 4.8.1.3. Sesiones de media hora

#### A. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – AUSPOS

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			AUSPOS			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596268.843	8168417.562	3395.568	0.180	0.103	-0.292	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.271	8159687.229	3021.899	0.510	0.014	0.367	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.073	8156841.507	2906.988	0.441	-0.076	-0.081	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.316	8153158.450	2892.317	0.003	0.006	0.070	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.715	8149785.010	2974.720	0.056	-0.010	-0.055	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.178	8150011.025	2721.646	0.112	0.071	-0.293	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.305	8149333.175	2665.101	0.237	0.078	-0.135	
VALOR ABSOLUTO								PROMEDIO	0.220	0.051	0.185
								VALOR MAX.	0.510	0.103	0.367
								VALOR MIN.	0.003	0.006	0.055

**Cuadro 21:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

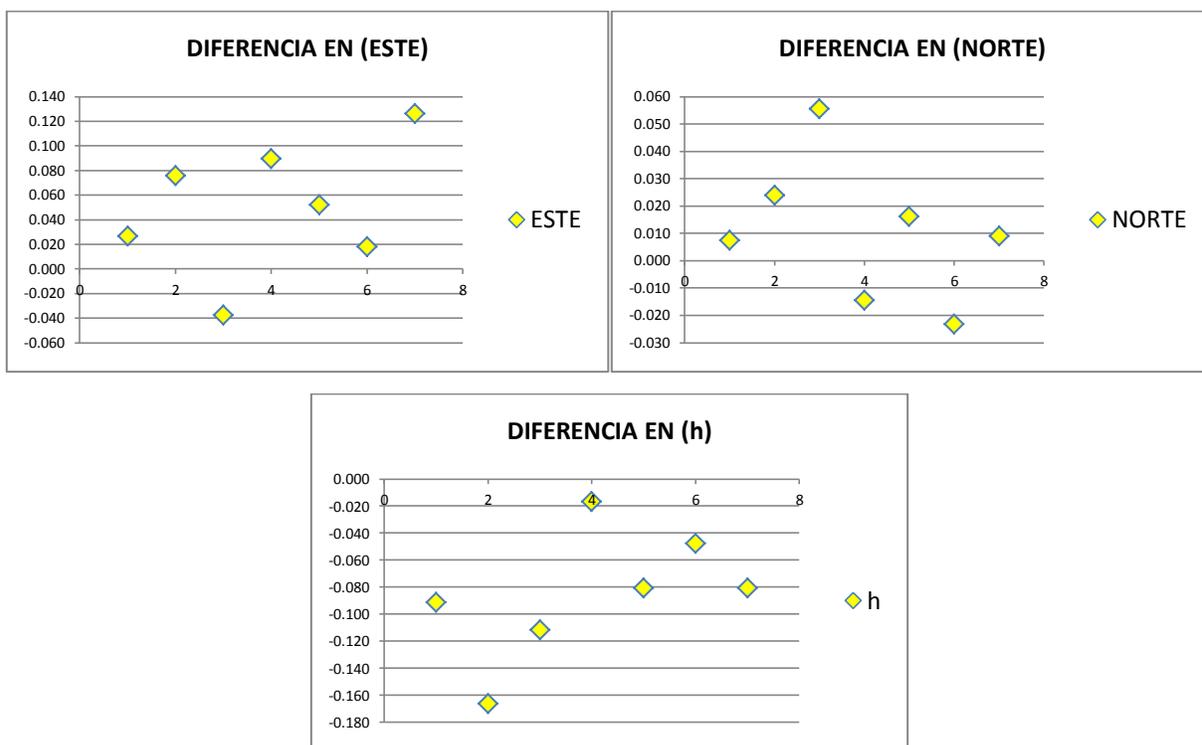


**Figura 43:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – AUSPOS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## B. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – TRIMBLE RTX

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			TRIMBLE RTX			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596268.997	8168417.658	3395.368	0.027	0.007	-0.091	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.705	8159687.219	3022.433	0.076	0.024	-0.167	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.552	8156841.376	2907.019	-0.038	0.055	-0.112	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.230	8153158.470	2892.404	0.089	-0.015	-0.017	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.719	8149784.984	2974.745	0.052	0.016	-0.081	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.272	8150011.119	2721.401	0.018	-0.023	-0.048	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.416	8149333.244	2665.047	0.126	0.009	-0.081	
VALOR ABSOLUTO								PROMEDIO	0.061	0.021	0.085
								VALOR MAX.	0.126	0.055	0.167
								VALOR MIN.	0.018	0.007	0.017

**Cuadro 22:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – TRIMBLE RTX.  
**Fuente:** Elaboración propia.

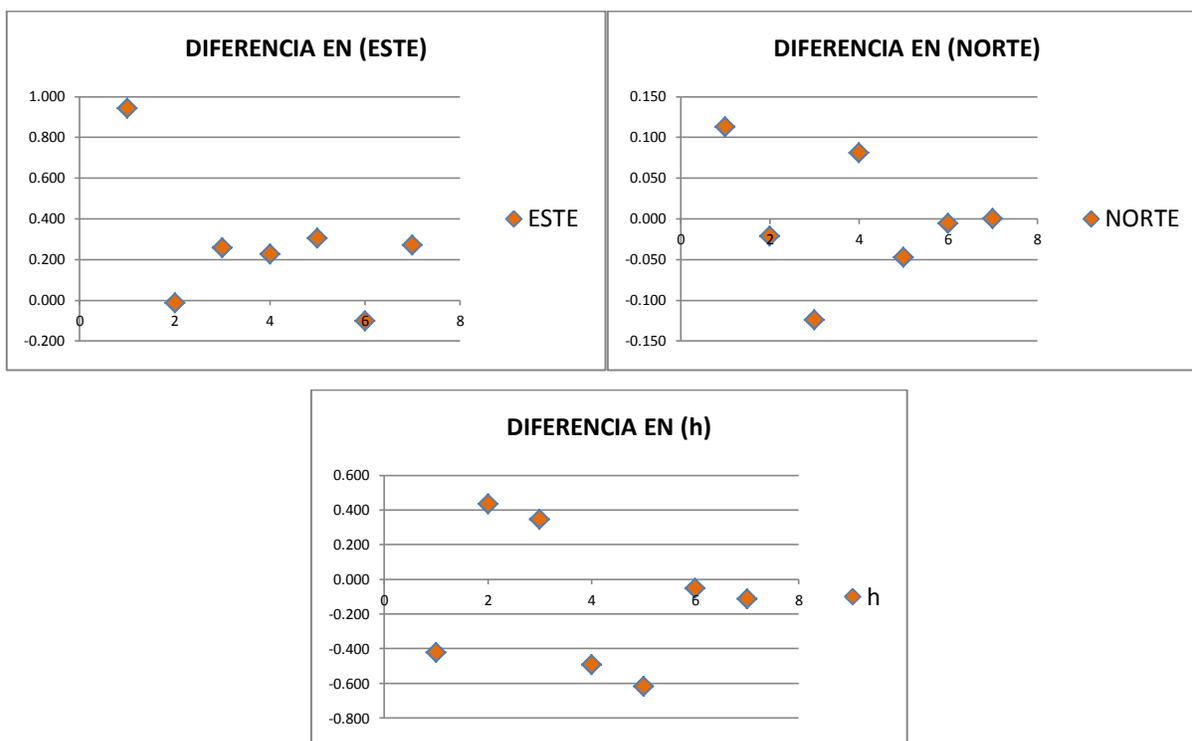


**Figura 44:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – TRIMBLE RTX.  
**Fuente:** Elaboración propia.

### C. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – APPS

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			APPS			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596268.083	8168417.552	3395.700	0.940	0.113	-0.424	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.795	8159687.265	3021.833	-0.014	-0.021	0.433	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.258	8156841.555	2906.561	0.257	-0.124	0.346	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.094	8153158.375	2892.879	0.225	0.081	-0.492	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.467	8149785.047	2975.283	0.304	-0.047	-0.619	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.392	8150011.101	2721.407	-0.102	-0.006	-0.053	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.272	8149333.252	2665.081	0.270	0.000	-0.115	
VALOR ABSOLUTO								PROMEDIO	0.302	0.056	0.355
								VALOR MAX.	0.940	0.124	0.619
								VALOR MIN.	0.014	0.000	0.053

**Cuadro 23:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – APPS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

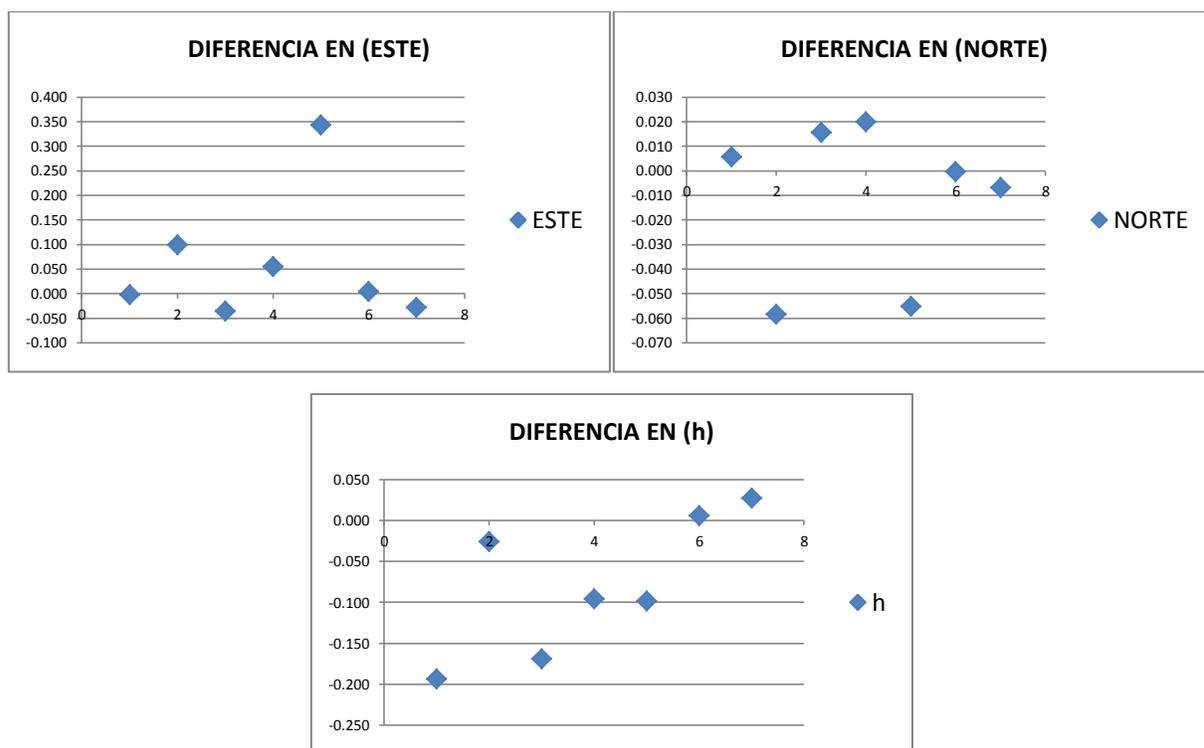


**Figura 45:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – APPS.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### D. COMPARACION LEICA GEO OFFICE – IBGE-PPP

2 HORAS		LEICA GEO OFFICE			IBGE-PPP			DIFERENCIA			
No.	PUNTO	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	ESTE	NORTE	h	
1	MLL-02	596269.023	8168417.665	3395.276	596269.025	8168417.660	3395.470	-0.002	0.005	-0.194	
2	TAY-01	601985.781	8159687.243	3022.267	601985.682	8159687.302	3022.293	0.098	-0.059	-0.026	
3	MEC-01	604476.514	8156841.431	2906.907	604476.550	8156841.416	2907.076	-0.036	0.015	-0.169	
4	PAL-03	606045.319	8153158.456	2892.387	606045.265	8153158.436	2892.483	0.054	0.020	-0.096	
5	CAH-02	606450.771	8149785.000	2974.664	606450.429	8149785.055	2974.762	0.342	-0.055	-0.098	
6	HUA ALT-03	610498.290	8150011.096	2721.353	610498.286	8150011.096	2721.348	0.003	-0.001	0.005	
7	HUA BAJ-04	613223.542	8149333.252	2664.966	613223.571	8149333.260	2664.939	-0.029	-0.007	0.027	
							VALOR ABSOLUTO	PROMEDIO	0.081	0.023	0.088
								VALOR MAX.	0.342	0.059	0.194
								VALOR MIN.	0.002	0.001	0.005

**Cuadro 24:** Comparación de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP.  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 46:** Graficas de diferencia de coordenadas Leica Geo Office – IBGE-PPP.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Similar que en los anteriores dos casos se procedió a generar promedios, valores máximos y mínimos en valor absoluto, a fin de tener un análisis objetivo de las diferencias:

		DIFERENCIAS		
		ESTE	NORTE	h
AUSPOS	PROMEDIO	0.220	0.051	0.185
	VALOR MAX.	0.510	0.103	0.367
	VALOR MIN.	0.003	0.006	0.055
TRIMBLE RTX	PROMEDIO	0.061	0.021	0.085
	VALOR MAX.	0.126	0.055	0.167
	VALOR MIN.	0.018	0.007	0.017
APPS	PROMEDIO	0.302	0.056	0.355
	VALOR MAX.	0.940	0.124	0.619
	VALOR MIN.	0.014	0.000	0.053
IBGE-PPP	PROMEDIO	0.081	0.023	0.088
	VALOR MAX.	0.342	0.059	0.194
	VALOR MIN.	0.002	0.001	0.005

**Cuadro 25:** Comparación de diferencias entre servicios de posicionamiento (media hora).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Para tiempos de sesión iguales a media hora, el servicio de posicionamiento TRIMBLE RTX, sigue siendo el que genera mejores resultados, teniendo diferencias de 1.8 a 12.6 centímetros en “este”, de 0.7 a 5.5 centímetros en “norte” y de 1.7 a 16.7 centímetros en altura elipsoidal.

Se observa que APPS ya no presenta el segundo mejor resultado, llegando a ser reemplazado por AUSPOS, la razón la podemos establecer que tanto TRIMBLE RTX y AUSPOS realizan el posicionamiento diferencial, en cambio APPS e IBGE-PPP corresponden al posicionamiento puntual preciso, los cuales son afectados por el tiempo de sesión reducido a media hora.

En cuanto a la influencia de la reducción de los tiempos de sesión, es indudable que afecta en las diferencias encontradas, concluyendo que a mayor tiempo de sesión siempre se tendrá mejores resultados. Para una mejor apreciación a continuación se muestra las variaciones de las diferencias de coordenadas en función del tiempo, establecidos para TRIMBLE RTX como servicio de posicionamiento que genere los mejores resultados.

TIEMPOS DE SESION	VALORES	DIFERENCIAS		
		ESTE	NORTE	h
4 - 6 HORAS	VALOR MAX.	0.031	0.006	0.030
	VALOR MIN.	0.003	0.001	0.013
2 HORAS	VALOR MAX.	0.023	0.016	0.020
	VALOR MIN.	0.000	0.001	0.001
MEDIA HORA	VALOR MAX.	0.126	0.055	0.167
	VALOR MIN.	0.018	0.007	0.017

**Cuadro 26:** Variación de las diferencias de coordenadas en función del tiempo de sesión.  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.8.2. Verificación de diferencias de coordenadas mediante el análisis estadístico

Para un mejor sustento de la investigación que permita establecer el nivel de variación de coordenadas entre las determinadas por el proceso y ajuste de datos GPS mediante el programa Leica Geo Office y los servicios de posicionamiento en línea, se realizó el Análisis estadístico mediante la prueba estadística T Student (Prueba T), de dos muestras, utilizando para ello el programa estadístico Minitab 18 versión 18.1.

Esta prueba determina en una comparación de coordenadas; si estas son o no iguales; estadísticamente hablando expresan; “si existe o no diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras”, estas muestras son en la investigación: las coordenadas resultantes del proceso con Leica Geo Office considerada “verdadera” y las coordenadas obtenidas mediante TRIMBLE RTX para 4 a 6 horas (los mejores resultados) y APPS para media hora (los peores resultados).

El procedimiento del análisis estadístico consiste en:

- Realizar la prueba de normalidad de las dos muestras a analizar, para verificar si la población esta normalmente distribuida, establece dos hipótesis:
  - Nula ( $H_0$ ) existe una distribución normal de las muestras
  - Alternativa ( $H_1$ ) no existe una distribución normal de las muestras.

Para la aplicación de la Prueba T, ambas muestras deben cumplir la hipótesis nula.

- Realizar la prueba de igualdad de varianzas con un 95% de confianza, establece también dos hipótesis:
  - Nula ( $H_0$ ) la varianza de la primera muestra dividida entre la varianza de la segunda muestra es igual a 1 – Existe igualdad de varianzas.
  - Alternativa ( $H_1$ ) la varianza de la primera muestra dividida entre la varianza de la segunda muestra es diferente a 1 – No existe igualdad de varianzas.

Para la aplicación de la Prueba T, debe cumplir la hipótesis nula.

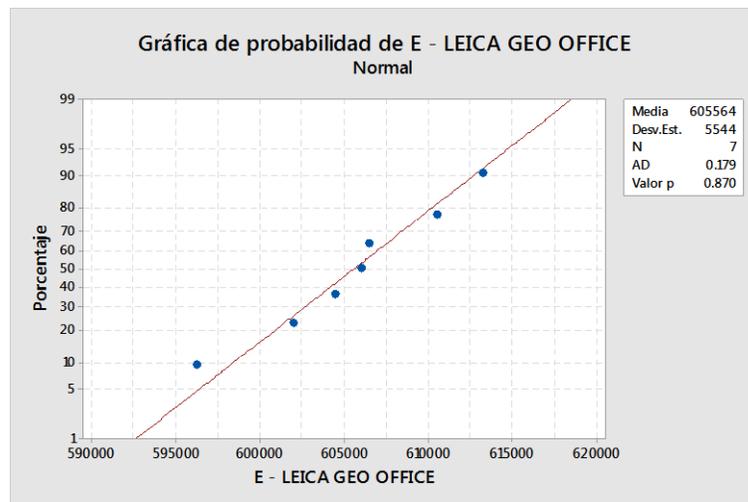
- Realizar la Prueba T Student de dos muestras, la cual también establece dos hipótesis:
  - Nula ( $H_0$ ) la diferencia de las dos muestras es igual a cero
  - Alternativa ( $H_1$ ) la diferencia de las dos muestras es diferente a cero.

Si se confirma la hipótesis Nula ( $H_0$ ), la prueba indicara, que “no existe diferencias estadísticamente significativas entre las muestras analizadas” lo mismo que decir que ambas muestras son iguales.

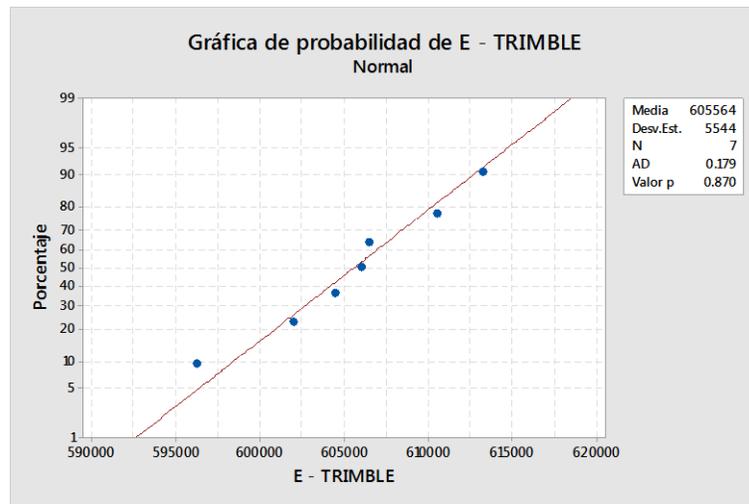
#### 4.8.2.1. Análisis estadístico para las coordenadas de Leica Geo Office y Trimble RTX (sesión de 4 – 6 horas).

##### A) Analisis para la coordenada Este.

#### GRAFICAS DE NORMALIDAD

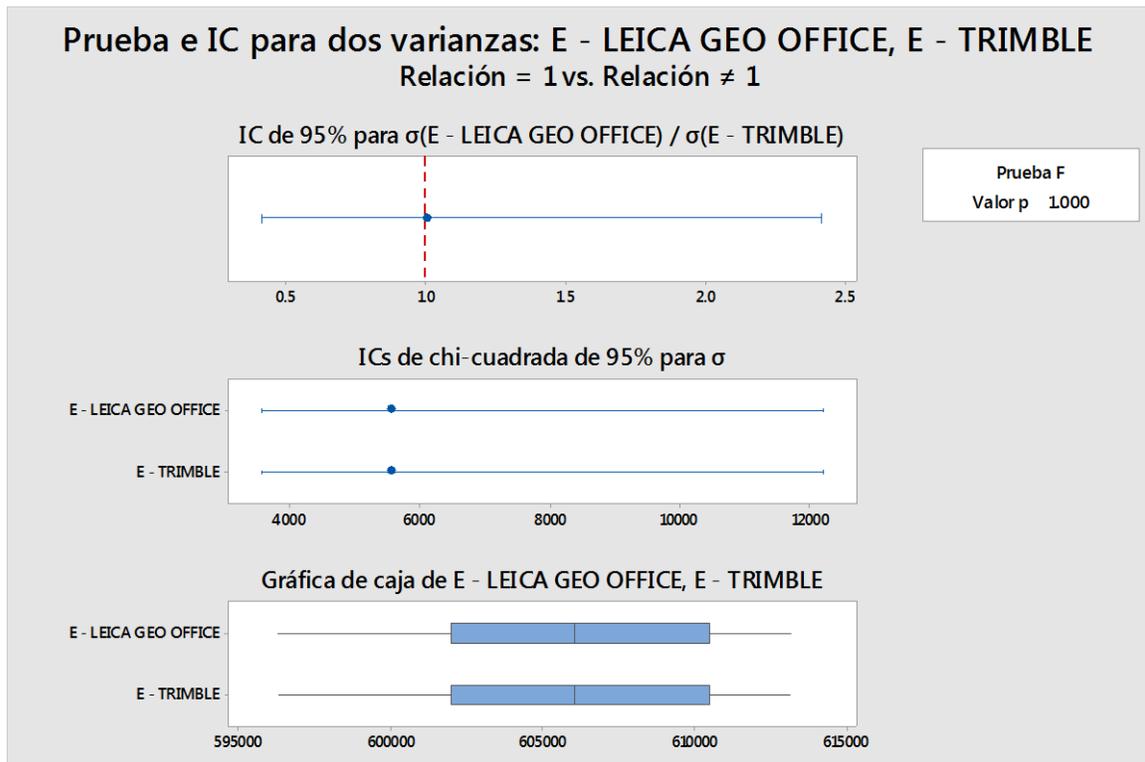


**Figura 47:** Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Este)  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 48:** Grafica de normalidad y Valor P para TRIMBLE.RTX (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

**PRUEBA DE IGUALDAD DE VARIANZAS CON 95% DE CONFIANZA**



**Figura 49:** Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs TRIMBLE RTX (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

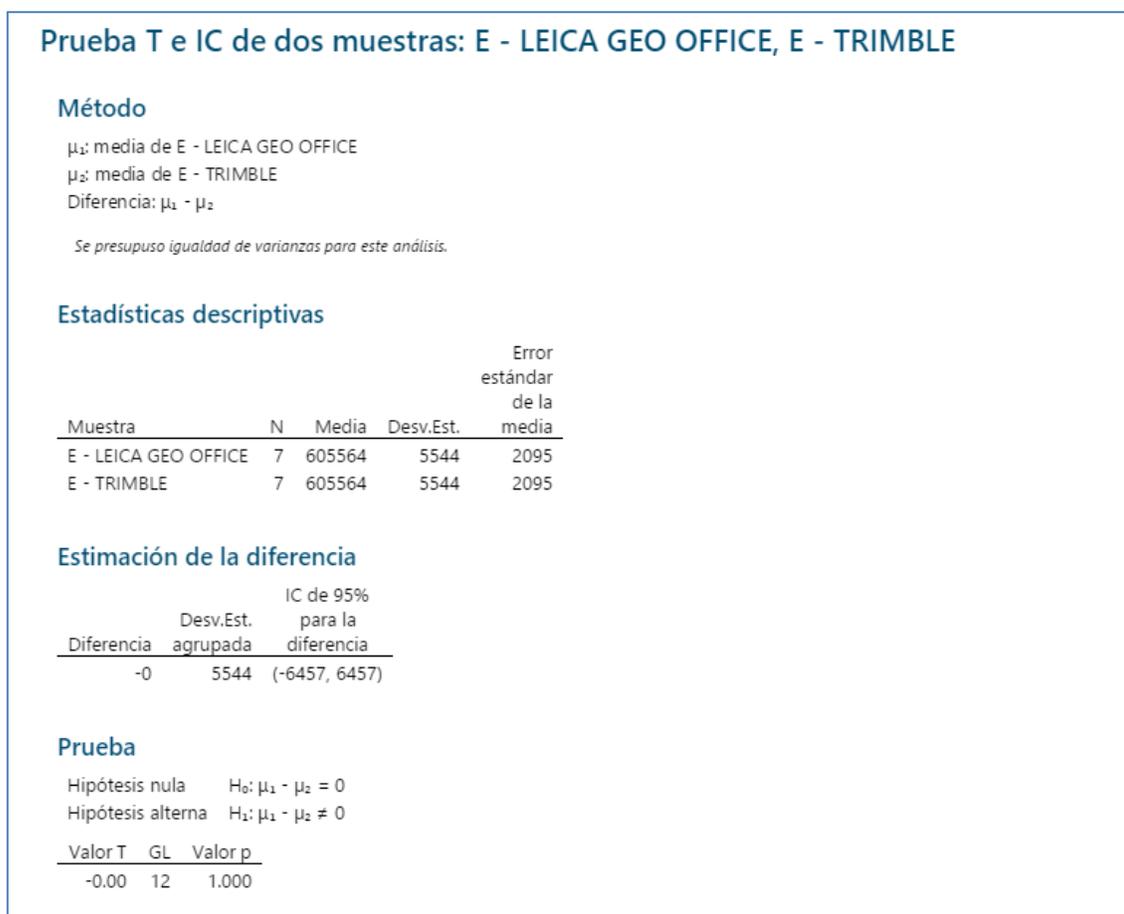
Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Distribución normal de datos (E – LEICA GEO OFFICE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.870	Se acepta H <sub>0</sub>
Distribución normal de datos (E – TRIMBLE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.870	Se acepta H <sub>0</sub>
Prueba de igualdad de varianzas “2 varianzas”	H <sub>0</sub> : $\sigma^2_{LEICA} / \sigma^2_{TRIMBLE} = 1$ H <sub>1</sub> : $\sigma^2_{LEICA} / \sigma^2_{TRIMBLE} \neq 1$	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	1	Se acepta H <sub>0</sub>

**Cuadro 27:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Este).

**Fuente:** Elaboración propia.

Como ambos grupos tienen distribución normal corresponde realizar la prueba T.

## PRUEBA T DE 2 MUESTRAS



**Figura 50:** Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y TRIMBLE RTX (Coord. Este).

**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Prueba “t de 2 muestras” para varianzas iguales	$H_0: \mu_{LEICA} - \mu_{TRIMBLE} = 0$ $H_1: \mu_{LEICA} - \mu_{TRIMBLE} \neq 0$	Si $P > \alpha$ se acepta $H_0$	0.05	1	Se acepta $H_0$

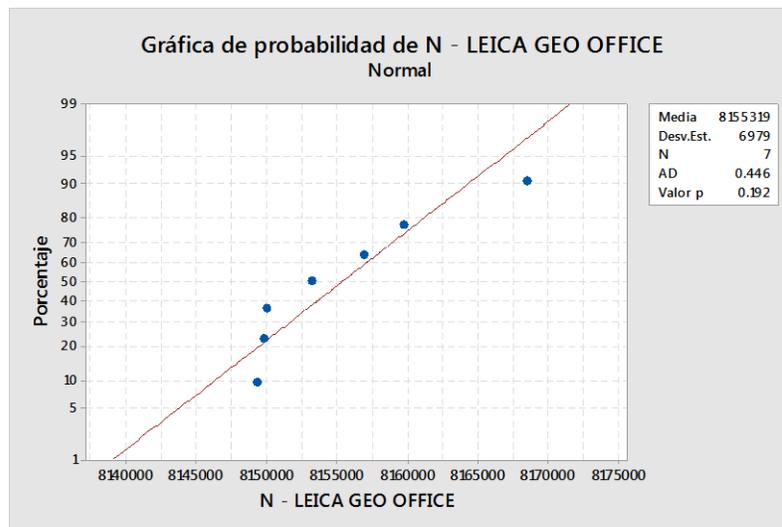
**Cuadro 28:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis cumple la hipótesis nula ( $H_0$ ), por tanto se puede concluir que “no existe diferencias estadísticamente significativas entre las coordenadas “ESTE” determinadas mediante Leica Geo Office y Trimble RTX”.

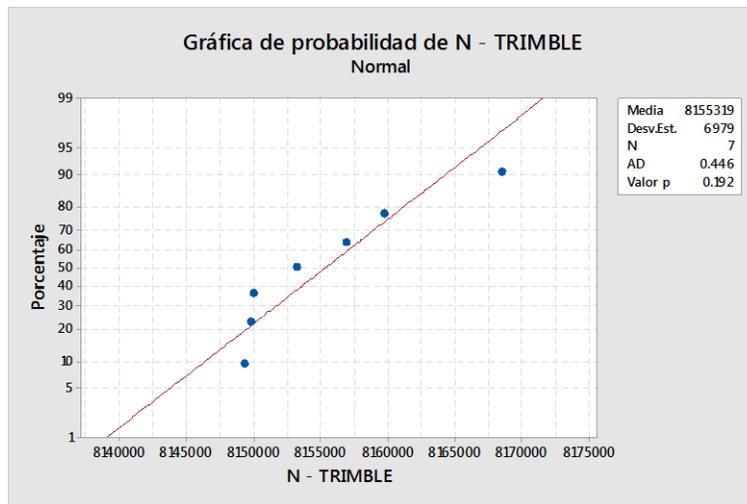
Concluido el análisis para las coordenadas “este” se procedió a realizar el análisis estadístico para las coordenadas “norte”, siguiendo los mismos pasos establecidos anteriormente.

## B) Analisis para la coordenada Norte

### GRAFICAS DE NORMALIDAD

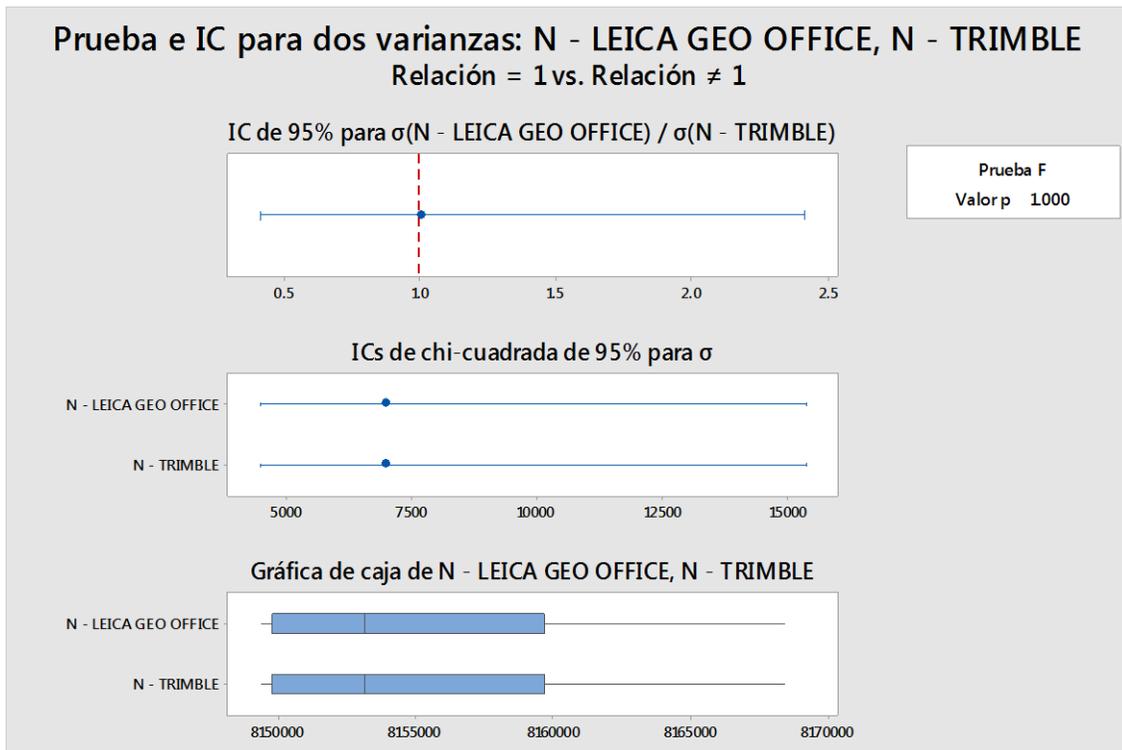


**Figura 51:** Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Norte)  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 52:** Grafica de normalidad y Valor P para TRIMBLE.RTX (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

**PRUEBA DE IGUALDAD DE VARIANZAS CON 95% DE CONFIANZA**



**Figura 53:** Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs TRIMBLE RTX (Coord. Norte)  
**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Distribución normal de datos (N – LEICA GEO OFFICE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si P > $\alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.192	Se acepta H <sub>0</sub>
Distribución normal de datos (N – TRIMBLE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si P > $\alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.192	Se acepta H <sub>0</sub>
Prueba de igualdad de varianzas “2 varianzas”	H <sub>0</sub> : $\sigma^2_{N-LEICA} / \sigma^2_{N-TRIMBLE} = 1$ H <sub>1</sub> : $\sigma^2_{N-LEICA} / \sigma^2_{N-TRIMBLE} \neq 1$	Si P > $\alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	1	Se acepta H <sub>0</sub>

**Cuadro 29:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Como ambos grupos tienen distribución normal corresponde realizar la prueba T.

## PRUEBA T DE 2 MUESTRAS

Prueba T e IC de dos muestras: N - LEICA GEO OFFICE, N - TRIMBLE				
<b>Método</b>				
$\mu_1$ : media de N - LEICA GEO OFFICE				
$\mu_2$ : media de N - TRIMBLE				
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$				
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.</i>				
<b>Estadísticas descriptivas</b>				
				Error estándar de la media
Muestra	N	Media	Desv.Est.	
N - LEICA GEO OFFICE	7	8155319	6979	2638
N - TRIMBLE	7	8155319	6979	2638
<b>Estimación de la diferencia</b>				
	Desv.Est.	IC de 95% para la diferencia		
Diferencia	agrupada			
-0	6979	(-8128, 8128)		
<b>Prueba</b>				
Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : $\mu_1 - \mu_2 = 0$			
Hipótesis alterna	H <sub>1</sub> : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
Valor T	GL	Valor p		
-0.00	12	1.000		

**Figura 54:** Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y TRIMBLE RTX (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

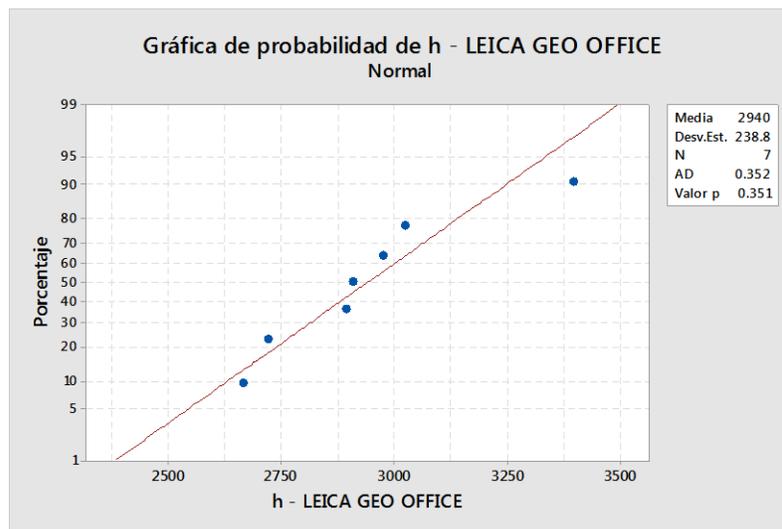
Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Prueba “t de 2 muestras” para varianzas iguales	$H_0: \mu_N - LEICA - \mu_N - TRIMBLE = 0$ $H_1: \mu_N - LEICA - \mu_N - TRIMBLE \neq 0$	Si $P > \alpha$ se acepta $H_0$	0.05	1	Se acepta $H_0$

**Cuadro 30:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

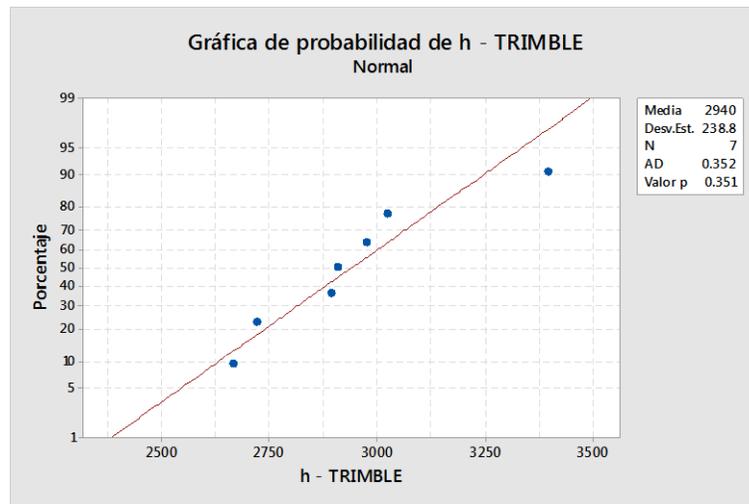
El análisis cumple la hipótesis nula ( $H_0$ ), por tanto se puede concluir que “no existe diferencias estadísticamente significativas entre las coordenadas “NORTE” determinadas mediante Leica Geo Office y Trimble RTX”.

### C) Analisis para la Altura elipsoidal (h)

#### GRAFICAS DE NORMALIDAD

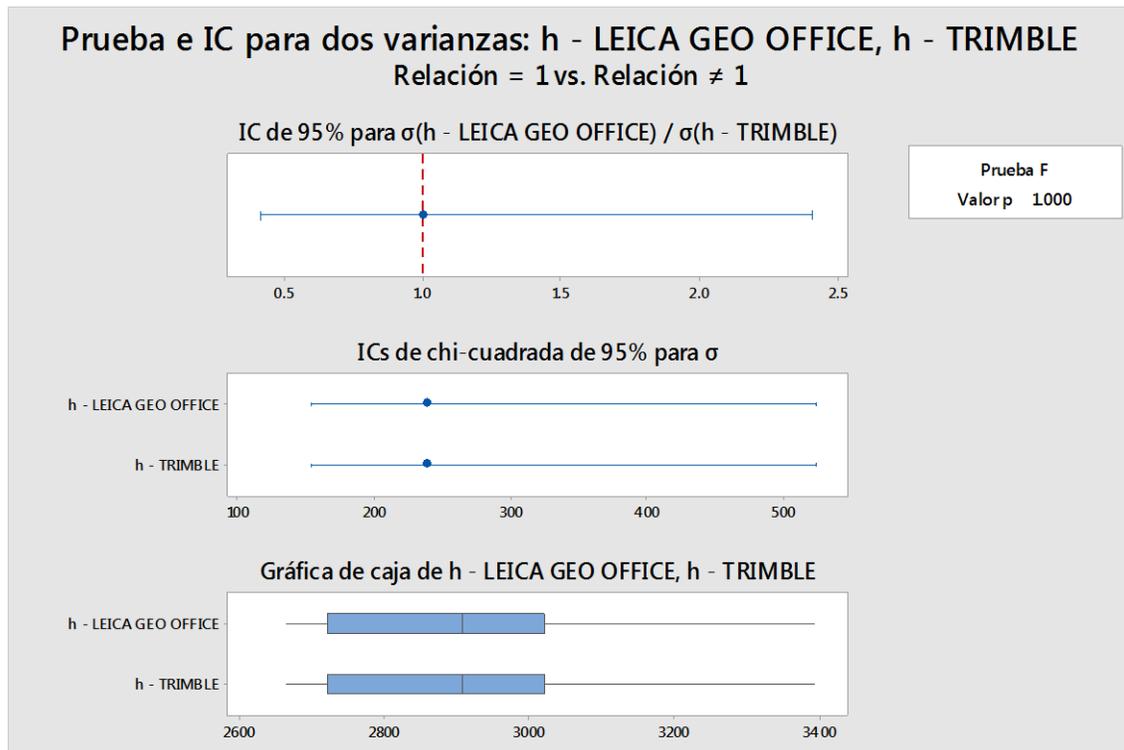


**Figura 55:** Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Altura elipsoidal)  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 56:** Grafica de normalidad y Valor P para TRIMBLE.RTX (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

### PRUEBA DE IGUALDAD DE VARIANZAS CON 95% DE CONFIANZA



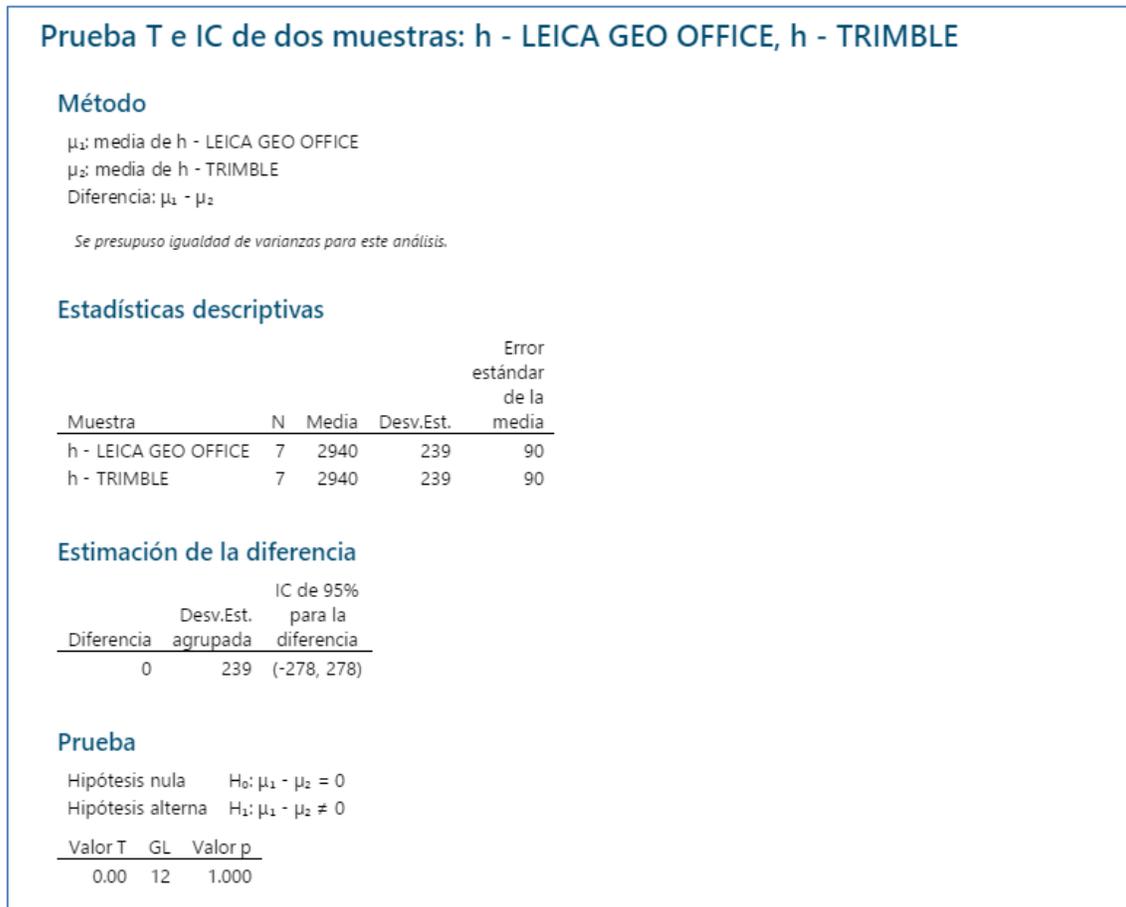
**Figura 57:** Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs TRIMBLE RTX (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Distribución normal de datos (h – LEICA GEO OFFICE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.351	Se acepta H <sub>0</sub>
Distribución normal de datos (h – TRIMBLE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.351	Se acepta H <sub>0</sub>
Prueba de igualdad de varianzas “2 varianzas”	H <sub>0</sub> : $\sigma_{h-LEICA}^2 / \sigma_{h-TRIMBLE}^2 = 1$ H <sub>1</sub> : $\sigma_{h-LEICA}^2 / \sigma_{h-TRIMBLE}^2 \neq 1$	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	1	Se acepta H <sub>0</sub>

**Cuadro 31:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Como ambos grupos tienen distribución normal corresponde realizar la prueba T.

## PRUEBA T DE 2 MUESTRAS



**Figura 58:** Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y TRIMBLE RTX (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Prueba “t de 2 muestras” para varianzas iguales	$H_0: \mu_{h-LEICA} - \mu_{h-TRIMBLE} = 0$ $H_1: \mu_{h-LEICA} - \mu_{h-TRIMBLE} \neq 0$	Si $P > \alpha$ se acepta $H_0$	0.05	1	Se acepta $H_0$

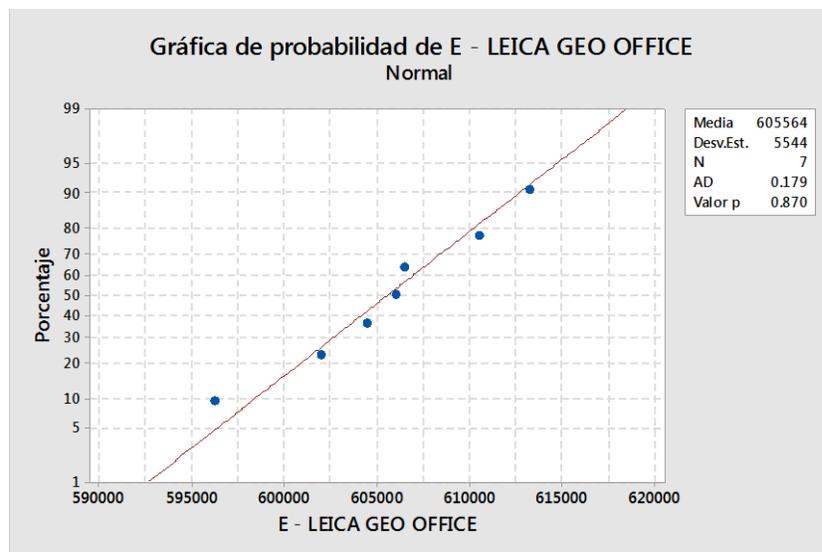
**Cuadro 32:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis cumple la hipótesis nula ( $H_0$ ), por tanto se puede concluir que “no existe diferencias estadísticamente significativas entre las “Alturas elipsoidales” determinadas mediante Leica Geo Office y Trimble RTX”.

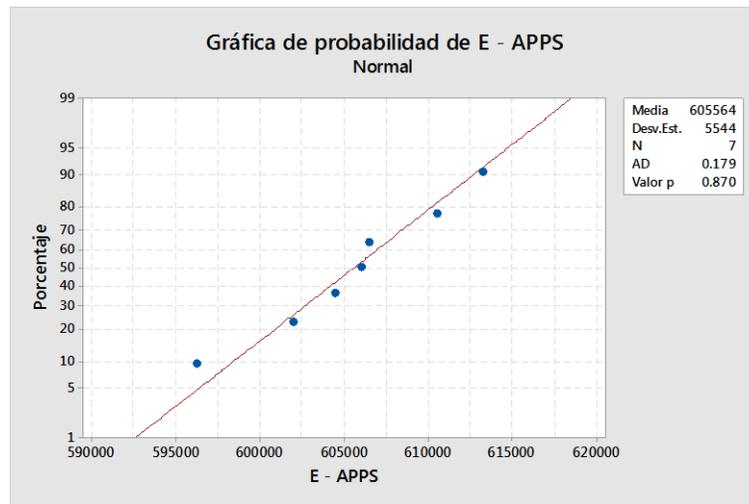
#### 4.8.2.2. Análisis estadístico para las coordenadas de Leica Geo Office y APPS (sesión de media hora).

##### A) Analisis para la coordenada Este.

#### GRAFICAS DE NORMALIDAD

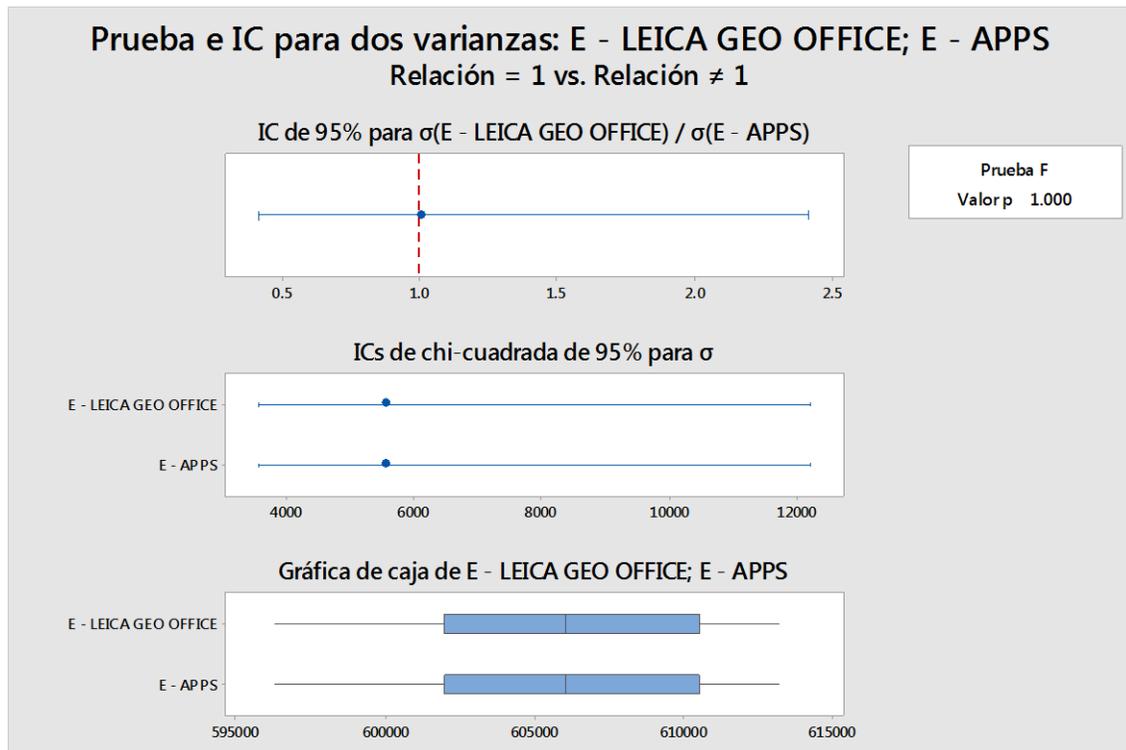


**Figura 59:** Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Este)  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 60:** Grafica de normalidad y Valor P para APPS (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

**PRUEBA DE IGUALDAD DE VARIANZAS CON 95% DE CONFIANZA**



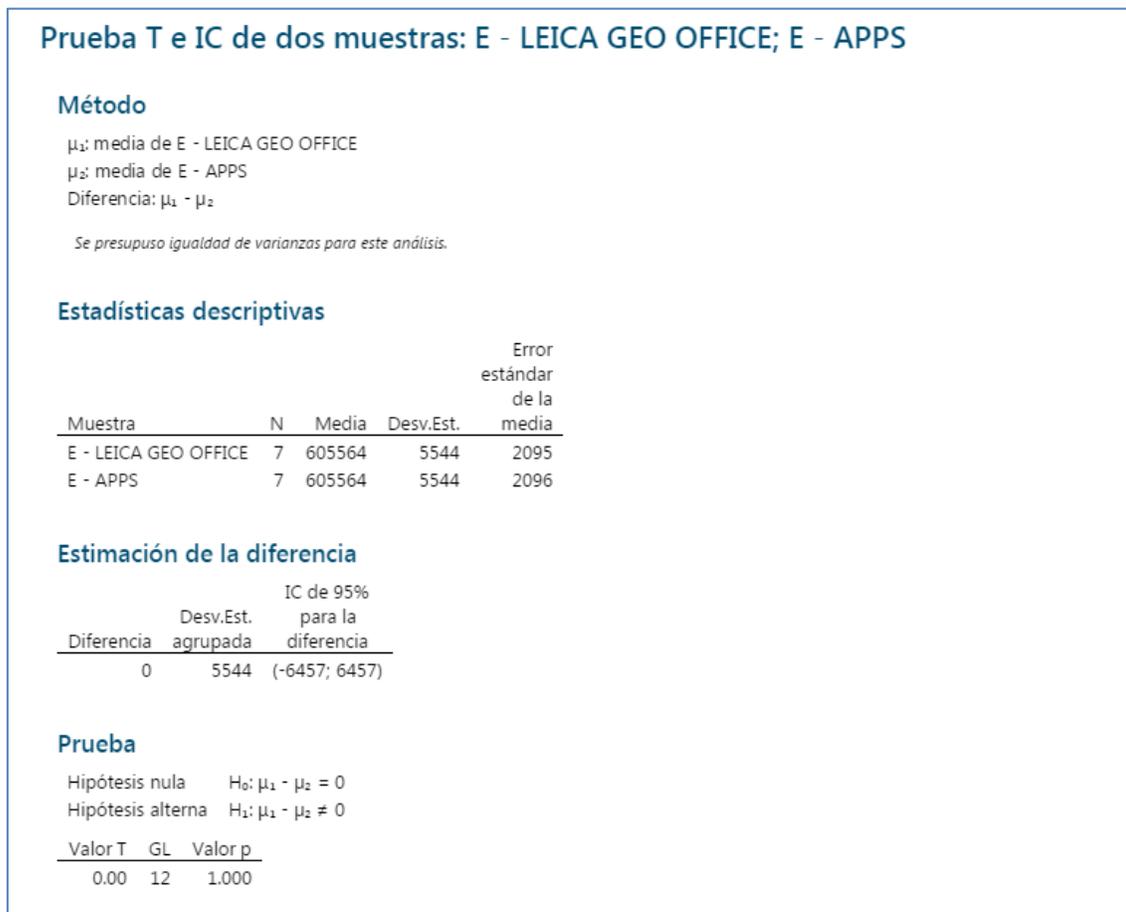
**Figura 61:** Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs APPS (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Distribución normal de datos (E – LEICA GEO OFFICE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.870	Se acepta H <sub>0</sub>
Distribución normal de datos (E – APPS) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.870	Se acepta H <sub>0</sub>
Prueba de igualdad de varianzas “2 varianzas”	H <sub>0</sub> : $\sigma^2_{LEICA} / \sigma^2_{APPS} = 1$ H <sub>1</sub> : $\sigma^2_{LEICA} / \sigma^2_{APPS} \neq 1$	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	1	Se acepta H <sub>0</sub>

**Cuadro 33:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Como ambos grupos tienen distribución normal corresponde realizar la prueba T.

## PRUEBA T DE 2 MUESTRAS



**Figura 62:** Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y APPS (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

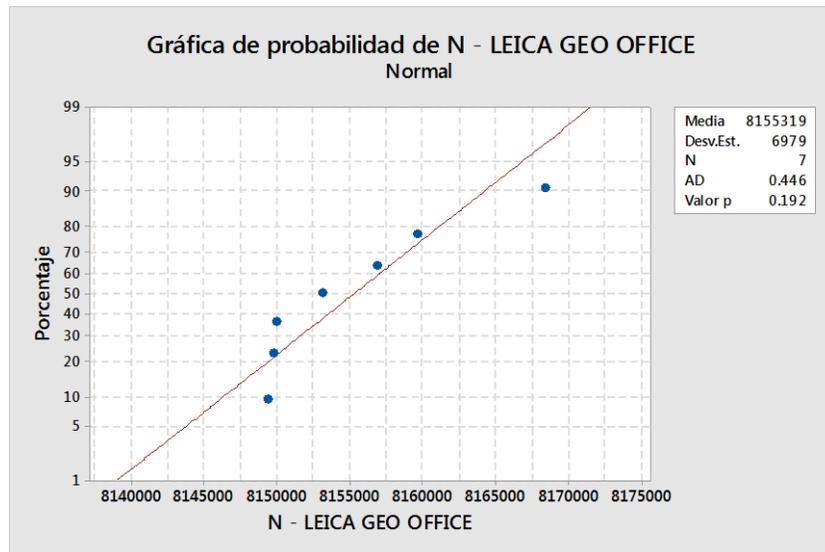
Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Prueba “t de 2 muestras” para varianzas iguales	$H_0: \mu_{LEICA} - \mu_{APPS} = 0$ $H_1: \mu_{LEICA} - \mu_{APPS} \neq 0$	Si $P > \alpha$ se acepta $H_0$	0.05	1	Se acepta $H_0$

**Cuadro 34:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Este).  
**Fuente:** Elaboración propia.

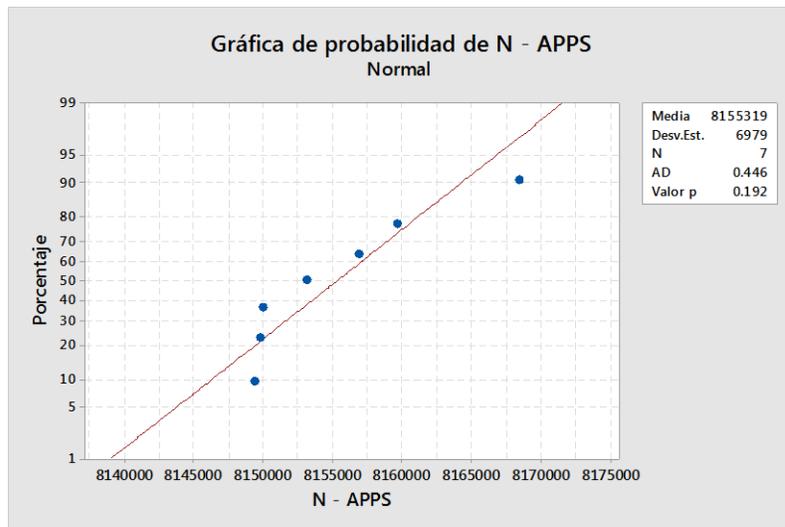
El análisis cumple la hipótesis nula ( $H_0$ ), por tanto se puede concluir que “no existe diferencias estadísticamente significativas entre las coordenadas “ESTE” determinadas mediante Leica Geo Office y APPS”.

### B) Analisis para la coordenada Norte

#### GRAFICAS DE NORMALIDAD

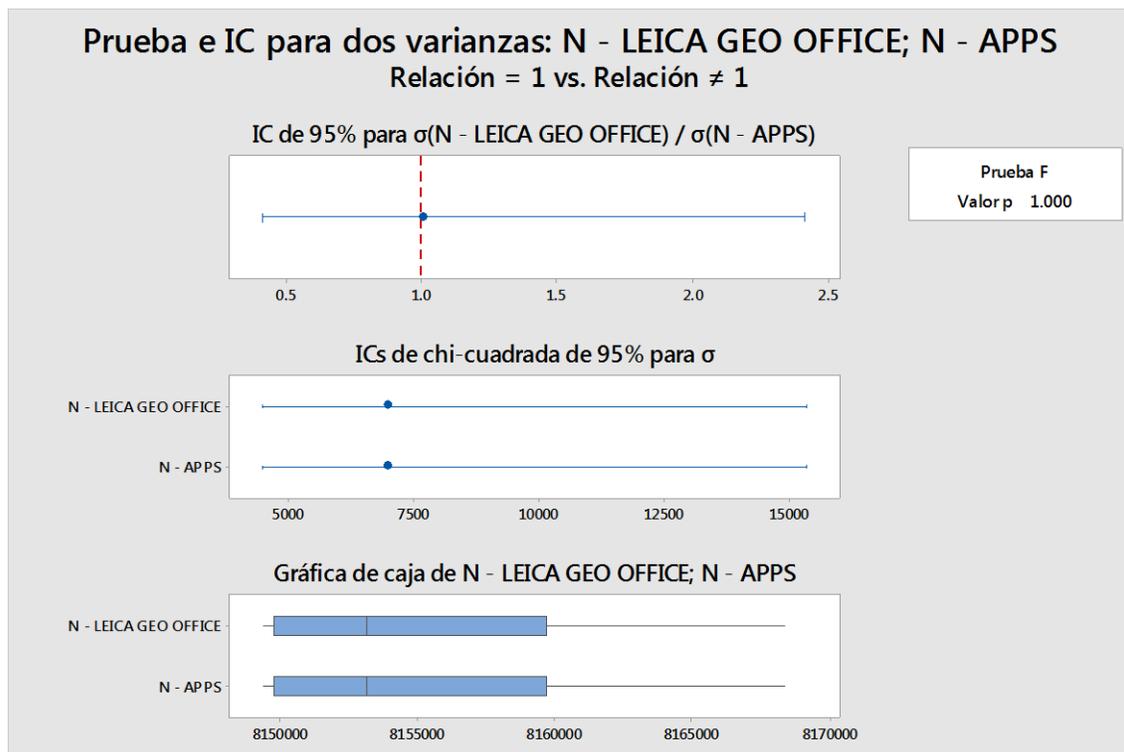


**Figura 63:** Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Coord. Norte)  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 64:** Grafica de normalidad y Valor P para APPS (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

### PRUEBA DE IGUALDAD DE VARIANZAS CON 95% DE CONFIANZA



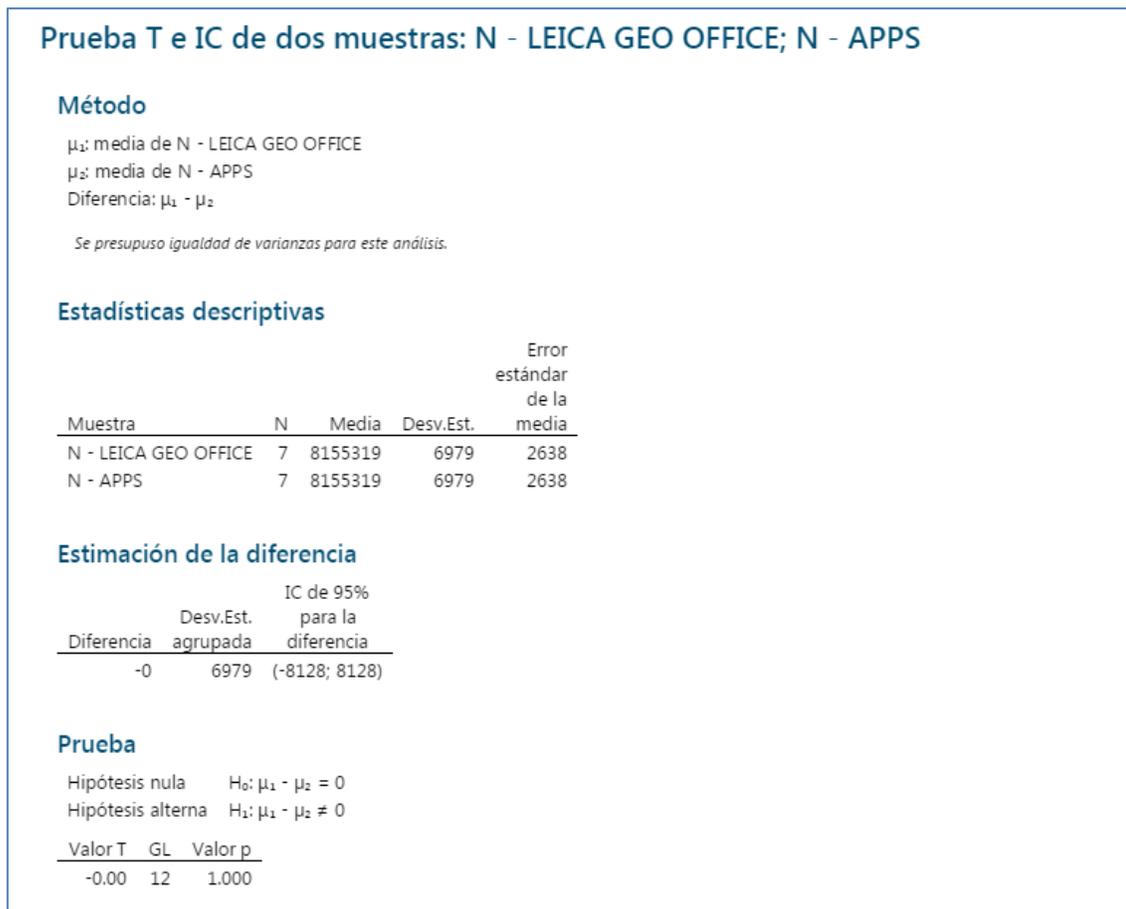
**Figura 65:** Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs APPS (Coord. Norte)  
**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Distribución normal de datos (N – LEICA GEO OFFICE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.192	Se acepta H <sub>0</sub>
Distribución normal de datos (N – APPS) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.192	Se acepta H <sub>0</sub>
Prueba de igualdad de varianzas “2 varianzas”	H <sub>0</sub> : $\sigma^2_{N-LEICA} / \sigma^2_{N-APPS} = 1$ H <sub>1</sub> : $\sigma^2_{N-LEICA} / \sigma^2_{N-APPS} \neq 1$	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	1	Se acepta H <sub>0</sub>

**Cuadro 35:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Como ambos grupos tienen distribución normal corresponde realizar la prueba T.

## PRUEBA T DE 2 MUESTRAS



**Figura 66:** Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y APPS (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

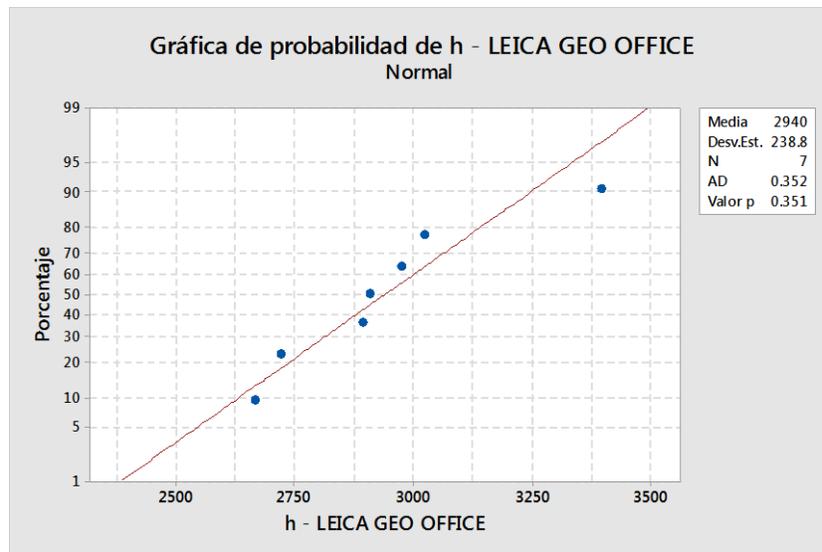
Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Prueba “t de 2 muestras” para varianzas iguales	$H_0: \mu_{N-LEICA} - \mu_{N-APPS} = 0$ $H_1: \mu_{N-LEICA} - \mu_{N-APPS} \neq 0$	Si $P > \alpha$ se acepta $H_0$	0.05	1	Se acepta $H_0$

**Cuadro 36:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Coord. Norte).  
**Fuente:** Elaboración propia.

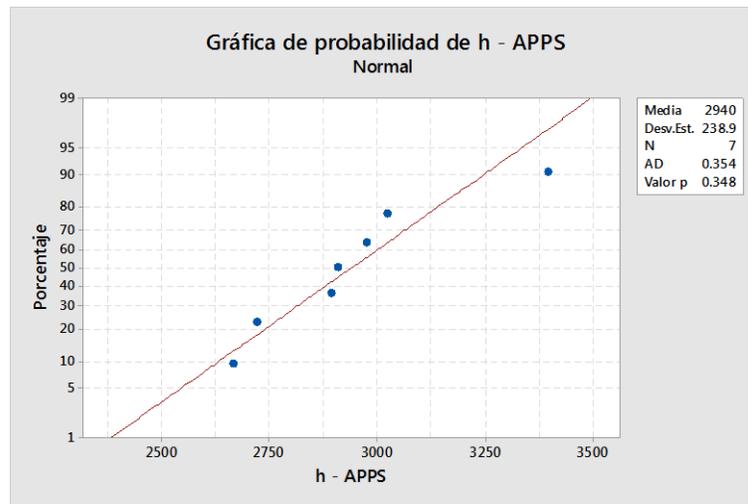
El análisis cumple la hipótesis nula ( $H_0$ ), por tanto se puede concluir que “no existe diferencias estadísticamente significativas entre las coordenadas “NORTE” determinadas mediante Leica Geo Office y APPS”.

### C) Analisis para la Altura elipsoidal (h)

#### GRAFICAS DE NORMALIDAD

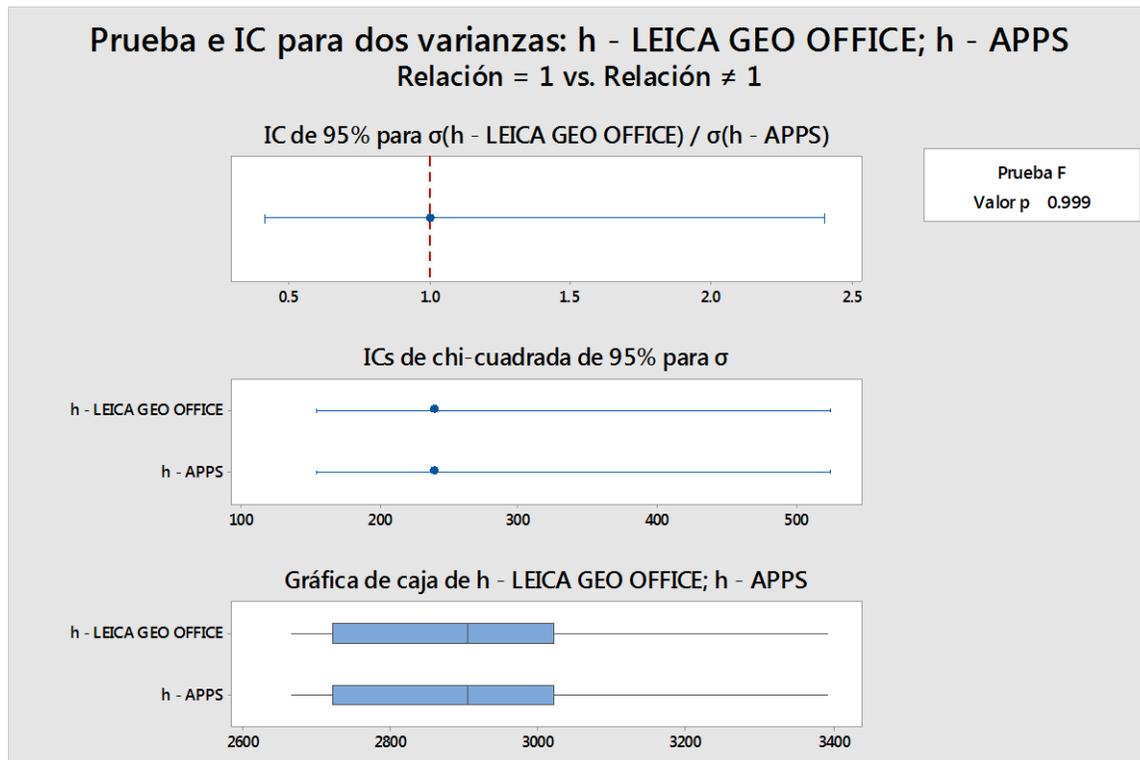


**Figura 67:** Grafica de normalidad y Valor P para Leica Geo Office (Altura elipsoidal)  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 68:** Grafica de normalidad y Valor P para APPS (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

**PRUEBA DE IGUALDAD DE VARIANZAS CON 95% DE CONFIANZA**



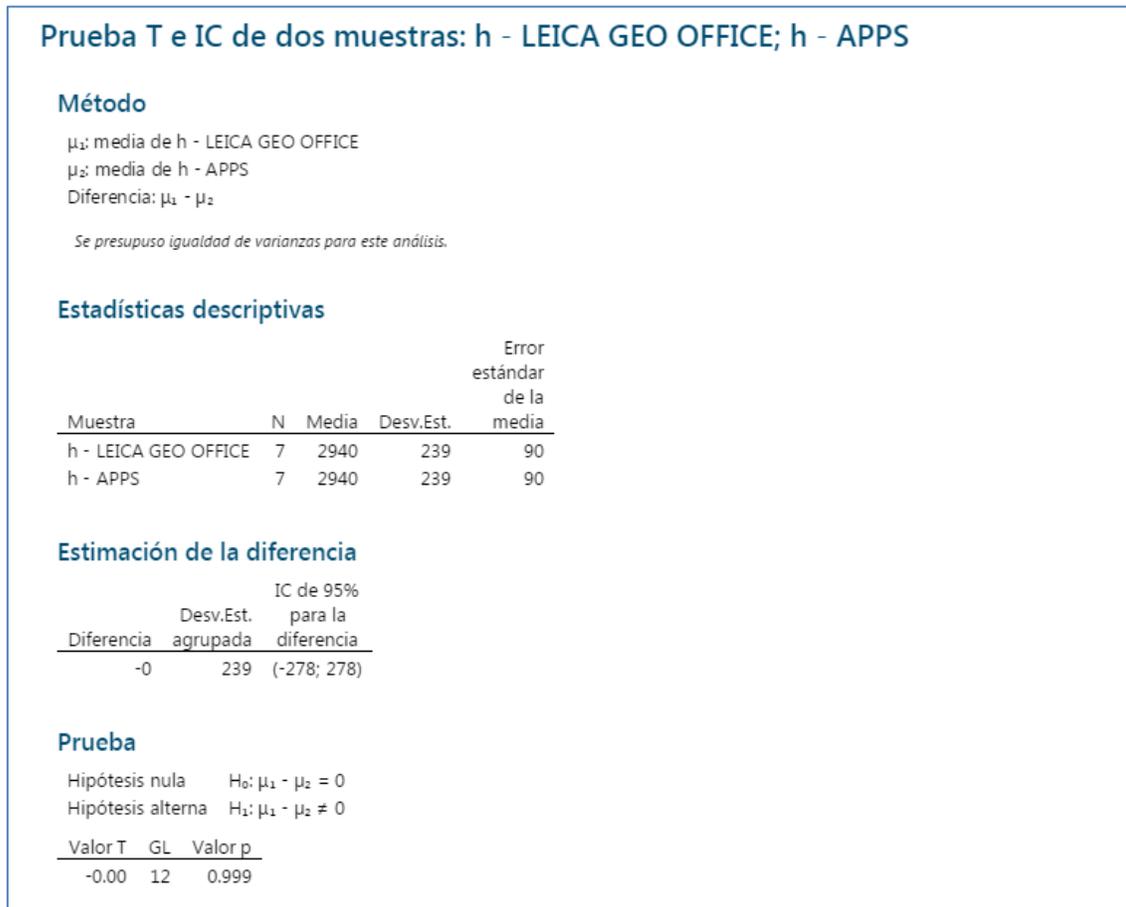
**Figura 69:** Prueba de igualdad de varianzas Leica Geo Office vs APPS (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Distribución normal de datos (h – LEICA GEO OFFICE) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.351	Se acepta H <sub>0</sub>
Distribución normal de datos (h – APPS) de Anderson-Darling	H <sub>0</sub> : Existe distribución normal. H <sub>1</sub> : No existe distribución normal.	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.348	Se acepta H <sub>0</sub>
Prueba de igualdad de varianzas “2 varianzas”	H <sub>0</sub> : $\sigma_{h-LEICA}^2 / \sigma_{h-APPS}^2 = 1$ H <sub>1</sub> : $\sigma_{h-LEICA}^2 / \sigma_{h-APPS}^2 \neq 1$	Si $P > \alpha$ se acepta H <sub>0</sub>	0.05	0.999	Se acepta H <sub>0</sub>

**Cuadro 37:** Identificación de las hipótesis aceptadas de normalidad y varianza (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Como ambos grupos tienen distribución normal corresponde realizar la prueba T.

## PRUEBA T DE 2 MUESTRAS



**Figura 70:** Reporte de la prueba T para Leica Geo Office y APPS (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

Prueba Estadística aplicada	Planteamiento de Hipótesis	Criterio de aceptación	$\alpha$ Escogido	Valor P hallado	Conclusión
Prueba “t de 2 muestras” para varianzas iguales	$H_0: \mu_h - LEICA - \mu_h - APPS = 0$ $H_1: \mu_h - LEICA - \mu_h - APPS \neq 0$	Si $P > \alpha$ se acepta $H_0$	0.05	0.999	Se acepta $H_0$

**Cuadro 38:** Identificación de las hipótesis aceptadas en la prueba T (Altura elipsoidal).  
**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis cumple la hipótesis nula ( $H_0$ ), por tanto se puede concluir que “no existe diferencias estadísticamente significativas entre las “Alturas elipsoidales” determinadas mediante Leica Geo Office y APPS”.

Verificando los resultados del análisis estadístico realizado para TRIMBLE RTX de **4 a 6 horas** de sesión (como aquella que genera los mejores resultados), y APPS de **media hora** de sesión (como aquella que genera los peores resultados), diferenciados por los tiempos de sesión establecidos, vemos que estadísticamente ambas concluyen que no existe diferencias estadísticamente significativas entre las coordenadas “Este”, “Norte” y “Altura elipsoidal, para ambos servicios comparado con los resultados de Leica Geo Office.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Se determinó las variaciones de coordenadas de observaciones GNSS aplicando el post-procesamiento de datos mediante el programa comercial Leica Geo Office y los servicios de posicionamiento en línea, dos diferenciales que son AUSPOS y TRIMBLE RTX, y dos de posicionamiento puntual preciso (PPP), que son APPS e IBGE-PPP, estableciendo también 3 diferentes tiempos de sesión: de 4 a 6 horas, de 2 horas y finalmente de media hora.

Se realizó dos tipos de comparación; la primera generando tablas comparativas con valores de promedios, valores máximos y mínimos de las diferencias de coordenadas, para cada uno de los servicios en línea utilizados, estableciendo para ello como valor “verdadero” las coordenadas resultantes del proceso y ajuste con Leica Geo Office, y segundo mediante el análisis estadístico realizado con el programa Minitab 18, aplicando la prueba de T Student para dos muestras, la cual determina la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas de los datos analizados.

En el primer caso, se determinó que los mejores resultados expresados en mínimas diferencias de coordenadas la tiene TRIMBLE RTX, con diferencias por debajo de 31 milímetros en la coordenada este, 6 milímetros en la coordenada norte y 30 milímetros en altura elipsoidal, para un tiempo de sesión de 4 a 6 horas. Similar situación ocurrió para las sesiones de dos horas y media hora, donde TRIMBLE RTX genera el mejor performance, llegando a diferencias menores a 12,6 centímetros para la coordenada este, 5,5 centímetros para norte y 16.7 para altura elipsoidal, para las sesiones de media hora.

En función a estos resultados podemos concluir que a mayor tiempo de sesión mejor serán las precisiones de las coordenadas determinadas. Así también, que los mejores resultados en general, lo brindan los servicios de posicionamiento diferencial en comparación con los servicios de PPP, lo cual se debe a la misma metodología que utilizan cada uno para el post-procesamiento de datos.

En el segundo caso, se realizó el análisis estadístico comparando el mejor resultado de diferencias en coordenadas que es TRIMBLE RTX con sesiones de 4 a 6 horas y aquel que considera el peor, mostrando mayores diferencias, que es APPS para sesiones de media hora. Los resultados de la aplicación de la prueba estadística T Student muestran que para ambos casos no existe diferencias estadísticamente significativas en sus coordenadas comparadas con las obtenidas mediante Leica Geo Office. Asimismo, se observa que aplicando esta prueba para todos los servicios los resultados son los mismos, debido a que la diferencia máxima es de 13.9 centímetros en altura elipsoidal para sesiones de 4 a 6 horas, lo cual estadísticamente mediante la prueba T representa insignificancia.

Se utilizó como grupo muestra a siete de los nueve puntos de la red geodésica principal del municipio de Mecapaca, realizándose observaciones GNSS, con equipos geodésicos de doble frecuencia para sesiones de 4 a 6 horas.

Se realizó el ajuste y proceso de datos GPS mediante el programa Leica Geo Office, referenciando los puntos a la red MARGEN-CON del Instituto Geográfico Militar (IGM), mediante los puntos BLPZ, (INGA) que se encuentra en La Paz y CBMB de Cochabamba los cuales se encontraban referidos al ITRF2005 época 2010.2, transformando y calculando al ITRF2014 época 2018,69 (fecha de la observación) para realizar una comparación con las coordenadas determinadas mediante los servicios de posicionamiento en línea.

Los datos resultantes del proceso y ajuste con Leica Geo Office, fueron considerados “verdaderos” y como patrón de comparación para las coordenadas.

Se realizó el post-proceso de los datos GPS, con cuatro servicios de posicionamiento en línea, dos servicios de posicionamiento diferencial como son AUSPOS y TRIMBLE RTX, y dos servicios de posicionamiento puntual preciso (PPP), que son APPS e IBGE-PPP, los cuales generaron una serie de reportes con datos de coordenadas, cartesianas – espaciales, geodésicas referidas al ITRF2014 época 2018,69.

Realizado el análisis de resultados, vemos que las máximas diferencias son generadas por los servicios PPP y Diferencial (en ese orden), para sesiones de media hora con diferencias de coordenadas que llegan hasta 94 centímetros para PPP y 51 centímetros para diferencial,

las mínimas diferencias de coordenadas son obtenidas con los servicios Diferencial y PPP (en ese orden) para sesiones de 4 a 6 horas con diferencias en coordenadas que llegan a 6.3 centímetros para el modo diferencial y 13.9 centímetros para PPP. Los resultados de las sesiones de dos horas alcanzan diferencias de 6.5 centímetros para diferencial y 15.6 centímetros en PPP, siendo resultados intermedios entre los anteriores citados. En este sentido podemos establecer posibles aplicaciones en función de las diferencias alcanzadas.

Estando las máximas diferencias por debajo del metro, estas pueden ser aplicadas en el saneamiento de la propiedad agraria que viene realizando el Instituto Nacional de Reforma Agrario (INRA), cuya tolerancia en la determinación de vértices prediales es submétrica la cual necesariamente utiliza estaciones bases para realizar observaciones diferenciales, las cuales podrían obviarse con los servicios en línea.

Otra aplicación que se podría dar, es para el establecimiento de puntos de control terrestre o de apoyo fotogramétrico para los levantamientos con drones, siendo que observando 2 horas cada punto, tranquilamente se satisfacen con precisiones por debajo de los 6.5 centímetros en modo diferencial. Reduciendo el presupuesto en la compra de datos estaciones activas y en el tiempo de procesamiento que en línea no superan los 5 minutos.

Sin embargo habrá que considerar que estos servicios de posicionamiento en línea, requieren que las observaciones se realicen con equipos de doble frecuencia, lo cual llega a ser una limitante.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Para el uso de las coordenadas determinadas por los servicios de posicionamiento en línea se debe tomar en cuenta, que la mayoría de estos refiere las coordenadas a ITRF2014 y para la época de observación.

Se debe tener cuidado en el formato de archivo RINEX a enviar, así como en la información que contenga, en especial sobre los tipos de antenas de los equipos GNSS utilizados, siendo que los servicios en línea realizan los post-procesos considerando la calibración de antenas según formato y registro del IGS.

Un cuidado especial en el post-procesamiento en línea es que son pocos los servicios que consideran los datos de altura de antena registrados en el archivo RINEX, siendo indispensable introducirlos en las plataformas web que poseen, además estas alturas deben ser verticales.

## **CAPITULO VI**

### **BIBLIOGRAFÍA**

Acuña G. (2008), Introducción al Posicionamiento GPS de Punto Preciso (PPP): Fundamentos Teóricos, Maracaibo Venezuela.

Australian Government (2018), Servicio de procesamiento de GPS en línea, Australia.

Cioce V., Alves S., Gende M. (2017), Simposio SIRGAS 2017 – Reportando las actividades del Grupo de Trabajo I: procesamiento, combinación y generación de productos a través de SIRGAS-CON, Mendoza Argentina.

Echalar Rivera A., Sánchez L. (2010), Ajuste del Marco de Referencia Geodésico Nacional de Bolivia en SIRGAS: MARGEN-SIRGAS, Múnich Alemania.

Fernando Martín Asín (1983), Geodesia y Cartografía Matemática, Editorial Paraninfo S.A., Madrid España.

Garrido V. N. (2014), Investigando sobre GNSS y delimitación de la propiedad.

GAPS (2018), Analysis and Positioning Software, Universidad de New Brunswick, Canadá.

Honorable Alcaldía Municipal de La Paz, Dirección de Información Territorial (2006), Norma técnica de Densificación de la Red Geodésica del GMLP, La Paz Bolivia.

Huerta E., Mangiaterra A., Noguera G. (2005), GPS, Posicionamiento satelital, UNR Editora, Rosario Argentina.

Instituto Nacional de Reforma Agraria (2008), Normas técnicas para el saneamiento de la propiedad agraria, conformación del catastro y registro predial, La Paz Bolivia.

Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Fomento de España (2011), Apuntes Curso Avanzado de Posicionamiento por Satélite, Madrid España.

Landau H., Leandro R., Moessmer M. (2011), Introducing Ambiguity Resolution in Web-hosted Global Multi-GNSS Precise Positioning with Trimble RTX-PP.

Mackern M., Mateo M., Di Marco (2015), Posicionamiento puntual preciso a tiempo real, una herramienta para el monitoreo de deformaciones corticales, Mendoza Argentina.

Marafini M., Ruarte J., Orellano M. (2017), Estudios geodinámicos en Latinoamérica con técnicas geodésicas satelitales, San Juan Argentina.

Pestarini Santiago (2016), Georreferenciación utilizando servicios de posicionamiento en línea y su aplicación en la Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Rosario Argentina.

Servicio Internacional de GNSS (IGS) (2018), Misión y valores organizacionales.

### **Páginas electrónicas consultadas**

<https://leica-geosystems.com/products/total-stations/software/leica-geo-office>

<http://infogeospacial.trimble.com/TBC-LP-v410-Official.html>

<https://nagarvil.webs.upv.es/bernese-redes-gnss/>

<http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl>

<https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>

<https://geodesy.noaa.gov/OPUS/about.jsp>

<https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>

<http://sopac.ucsd.edu/scout.shtml>

<http://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>

<http://www.gdgps.net/>

[http://apps.gdgps.net/apps\\_file\\_upload.php](http://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php)

<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>

<http://gaps.gge.unb.ca/submitbasic.php>

<http://gaps.gge.unb.ca/index.html>

<http://cafegeodesico.blogspot.com>

<http://www.igs.org>

<https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>

<https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>

<http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/stations/>

<http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/coordinates/>