



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE
POSICIONAMIENTO PUNTUAL PRECISO Y COORDENADAS
GEODÉSICAS DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL
EN LA CIUDAD DE JULIACA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JHON ANTONY LIMA VILCA

Bach. ROMNY OLIVER MAMANI HUAMAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TÓPOGRAFO Y AGRIMENSOR

PUNO – PERÚ

2025



JHON ANTONY LIMA VILCA ROMNY OLIVER MAMA...

CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO PUNTUAL PRECISO Y COORDENADAS GEODÉSICAS DEL SIST...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:523499213

91 páginas

Fecha de entrega
5 nov 2025, 2:14 p.m. GMT-5

15.520 palabras

Fecha de descarga
5 nov 2025, 2:24 p.m. GMT-5

91.744 caracteres

Nombre del archivo
CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO PUNTUAL PRECISO Y COORDENADA....pdf

Tamaño del archivo
1.7 MB





11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.


ING. VICTOR C. FLORES FLORES
CIP 70294
ASESOR



Dr. Valeriano CONDORI APAZA
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
EPITA - FCA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y
AGRIMENSURA

**CORRELACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO PUNTUAL
PRECISO Y COORDENADAS GEODÉSICAS DEL SISTEMA DE
POSICIONAMIENTO GLOBAL EN LA CIUDAD DE JULIACA.**

TESIS PRESENTADA POR:
JHON ANTONY LIMA VILCA
ROMNY OLIVER MAMANI HUAMAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TÓPOGRAFO Y AGRIMENSOR

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE:


.....
D. Sc. SERGIO ISIDRO QUISPE

PRIMER MIEMBRO:


.....
Ing. WILLIAM FREDY CONDORI CANAHUA

SEGUNDO MIEMBRO:


.....
Ing. ALFREDO PONCE FLORES

ASESOR DE TESIS:


.....
M. Sc. VICTOR CIPRIANO FLORES FLORES

ÁREA: Ciencias Naturales.

TEMA: Topografía, Geodesia, Cartografía y Catastro.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 de octubre de 2025



DEDICATORIA

Este presente trabajo lo dedico a Dios, por brindarme la vida, sabiduría, fortaleza y guiar mi camino e iluminar mis pensamientos para que pueda concluir este camino profesional.

A mi madre, Victoria Rosa, que en cada paso que he avanzado en mi camino profesional, cada logro y desafío superado llevan implícito tu esfuerzo y sacrificio que han sido los pilares que me han mantenido firme, con tu ejemplo me enseñaste el verdadero valor de la dedicación y a soñar sin límites, eres la razón por lo que hoy soy el profesional que siempre soñaste ver en mí, y eso te lo debo a ti mama.

A la memoria de mi padre, Hugo, que desde el cielo ilumina mis pasos y me inspira a alcanzar cada meta con fe y perseverancia.

A mi tío, Alfredo, por su respaldo constante y sus valiosas palabras de aliento.

Y a mi hermano, compañero inseparable de vida, por su motivación y confianza, que han fortalecido mi determinación en este proceso.

Jhon Antony Lima Vilca



A Dios, por su infinita bondad y guía espiritual, que me ha dado la fortaleza y la fe para enfrentar los desafíos y alcanzar mis metas.

A mis queridos padres, Wenceslao José Mamani V. y Martha Huaman M, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido el pilar fundamental en mi vida. Su ejemplo de perseverancia y dedicación me ha inspirado a superar cada obstáculo y perseguir mis sueños con determinación.

A mis hermanos, Dora Elicet y Washinton Marcelo, por su cariño, aliento y compañía inquebrantable. Su presencia ha sido una fuente de motivación y alegría, impulsándome siempre a dar lo mejor de mí en cada paso de este camino.

Romny Oliver Mamani Huaman



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por brindarnos la oportunidad de formarnos en una institución de prestigio que fomenta la excelencia.

A la Escuela profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, por proporcionarnos un entorno de aprendizaje y por el esfuerzo de sus docentes, quienes con sus conocimientos han moldeado nuestra formación profesional.

Un especial agradecimiento a nuestro asesor, M.Sc. Víctor Cipriano Flores Flores, por su orientación, paciencia y apoyo constante. Su experiencia ha sido esencial para el desarrollo y culminación de este trabajo.

Jhon Antony Lima Vilca.

Romny Oliver Mamani Huaman.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2 Problemas específicos	20
1.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.3.1 Hipótesis general	21
1.3.2 Hipótesis específicas	21
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1 Objetivo general	22
1.5.2 Objetivos específicos	22



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales	24
2.2. MARCO TEÓRICO	31
2.2.1. Teoría de Posicionamiento Puntual Preciso	31
2.2.2. Teoría del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	35
2.2.3. Aplicación del método del GPS	36
2.2.4. Ventajas del uso del método del GPS	37

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEÓGRAFICA.....	39
3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
3.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	42
3.6.1. Técnicas de investigación	42
3.6.2. Instrumentos de investigación.....	43
3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	44
3.7.1. Validez	44
3.7.2. Confiabilidad.....	45
3.8. POBLACIÓN Y MUESTRA	45
3.8.1. Población.....	45
3.8.2. Muestra.....	46



3.9. VARIABLES	49
3.9.1. Conceptualización de la variable uno	49
3.9.2. Conceptualización de la variable dos	51
3.10. DISEÑO ESTADISTICO	53
3.10.1. Hipótesis estadística del objetivo general	53
3.10.2. Hipótesis estadística de los objetivos específicos	54
3.10.3. Hipótesis estadística del objetivo específico 2.....	54
3.10.4. Hipótesis estadística del objetivo específico 3.....	55
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS	57
4.1.1. Objetivo general	57
4.1.2. Evaluación de la hipótesis general	58
4.1.3. Objetivo específico 1.....	59
4.1.4. Evaluación de la hipótesis específico 1.....	60
4.1.5. Objetivo específico 2.....	61
4.1.6. Evaluación de la hipótesis específico 2.....	64
4.1.7. Objetivo específico 3.....	65
4.1.8. Evaluación de la hipótesis específico 3.....	67
4.2. DISCUSIÓN	68
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES	76
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	82



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Diferencias significativas de GPS y PPP	38
Tabla 2 Evaluación de la validez y confiabilidad	45
Tabla 3 Análisis de las dos variables	45
Tabla 4 Datos recolectados en los tres puntos	57
Tabla 5 Resultados de la correlación de PPP y GPS	58
Tabla 6 Análisis de antecedentes en relación con las variables.....	70



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación geográfica de la unidad de estudio.....	39
Figura 2 Croquis de ubicación del primer punto	46
Figura 3 Croquis de ubicación del segundo punto.....	46
Figura 4 Croquis de ubicación del tercer punto.....	47
Figura 5 Error absoluto (PPP y GPS) vs tiempo de observación.....	61
Figura 6 Diferencia de procesos de latitud PPP.....	71
Figura 7 Diferencia de procesos de longitud PPP.....	72
Figura 8 Diferencia de procesos de altura PPP.....	73



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Matriz de consistencia	83
Anexo 2 Datos obtenidos mediante el método PPP y DGPS	84
Anexo 3 Certificados de operatividad de receptor GNSS	85



ACRÓNIMOS

PPP:	Posicionamiento Puntual Preciso
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global
GNSS:	Sistema Global de Navegación por Satélite
DGPS:	Sistema de Posicionamiento Global Diferencial
IGS:	Servicio Internacional GNSS
RTK	Cinemático en Tiempo Real (Real-Time Kinematic).
UTM	Sistema de Coordenadas Universal (Universal Transversal Mercator).
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales).
WGS84	Sistema Geodésico Mundial 1984 (World Geodetic System 1984).
CSRS-PPP	Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning
NASA	National Aeronautics and Space Administration
GLONASS	Sistema Global de Navegación por Satélite (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)
ZWD	retardo húmedo cenital
TTF	Tiempo hasta la primera solución
PWV	vapor de agua precipitable
3D	Tres dimensiones (three-dimensional en inglés).
BDS PPP-B2b	Servicio PPP transmitido por BeiDou-3 (Precise Point Positioning – B2b)



QZSS MADOCA	Herramienta avanzada de demostración multiconstelación para el análisis de órbita y reloj (Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis)
RINEX	Formato de Intercambio Independiente del Receptor (Receiver Independent Exchange Format)
PPP-AR	Posicionamiento Puntual Preciso con Resolución de Ambigüedades
IACE	Estimación con Restricción de Ambigüedades Entera (Integer Ambiguity Constraint Estimation)
RTS	Servicio en Tiempo Real. (Real-Time Service)
CNES	Centro Nacional de Estudios Espaciales. (Centre National d'Études Spatiales)
ML	Aprendizaje automático (machine learning)
WHU	Wuhan University (institución líder en investigación GNSS Y PPP)
QGIS	Sistema de Información Geográfica Cuántico.
IoT	Dispositivos conectados a internet (Internet of Thing)



RESUMEN

La determinación precisa de coordenadas geodésica es esencial en la topografía, planificación territorial y la investigación científica, en este contexto, el método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) se ha consolidado como una alternativa frente al GPS diferencial, destacando por su aplicación en la ingeniería, el monitoreo ambiental y las geociencias. El objetivo de la investigación fue determinar la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas obtenidas mediante el Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca. La metodología consistió en realizar 42 observaciones simultáneas en tres puntos de control geodésico, registrando coordenadas proyectadas en el sistema UTM (Este y Norte) en distintos intervalos de tiempo de observación. Dado que los datos no presentaron una distribución normal, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman. Los resultados evidenciaron coeficientes superiores a 0.987 con significancia estadística ($p < 0.001$), demostrando una correlación positiva muy fuerte entre el PPP y el GPS diferencial. Además, en los tres puntos evaluados los coeficientes superaron 0.87 ($p < 0.001$), confirmando la consistencia de los resultados. Asimismo, se comprobó que un mayor tiempo de observación reduce el error y mejora la estabilidad de las coordenadas, alcanzando precisiones centimétricas a partir de dos horas de observación. En conclusión, la investigación aporta evidencia técnica de que el PPP es una alternativa robusta, precisa y operacionalmente eficiente para aplicaciones geodésicas, topográficas y científicas, eliminando la dependencia de estaciones base y optimizando los costos operativos.

Palabras clave: Coordenadas, Correlación, Geodesia, Posicionamiento, Tiempo.



ABSTRACT

The precise determination of geodetic coordinates is essential for surveying, territorial planning, and scientific research. In this context, the Precise Point Positioning (PPP) method has emerged as a reliable alternative to Differential GPS (DGPS), standing out for its applications in engineering, environmental monitoring, and geosciences. The objective of this research was to determine the correlation between the Precise Point Positioning method and geodetic coordinates obtained through the Global Positioning System in the city of Juliaca. The methodology involved conducting 42 simultaneous observations at three geodetic control points, recording coordinates projected in the UTM system (East and North) at different observation intervals. Since the data did not follow a normal distribution, Spearman's correlation coefficient was applied. The results showed coefficients greater than 0.987 with statistical significance ($p < 0.001$), indicating a very strong positive correlation between PPP and Differential GPS. Furthermore, in the three evaluated points, the coefficients exceeded 0.87 ($p < 0.001$), confirming the consistency of the findings. It was also verified that longer observation times reduce errors and improve coordinate stability, achieving centimeter-level accuracy after two hours of observation. In conclusion, the study provides technical evidence that PPP is a robust, accurate, and operationally efficient alternative for geodetic, topographic, and scientific applications, eliminating dependence on base stations and optimizing operational costs.

Keywords: Coordinates, correlation, geodesy, positioning, time.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la geodesia y la topografía moderna se encuentra estrechamente vinculado a los avances de los sistemas de posicionamiento por satélite, los cuales han revolucionado la determinación de coordenadas geográficas con niveles de exactitud antes impensables. Entre estos sistemas, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) operado por Estados Unidos (EE. UU.), como parte de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), se ha consolidado como una herramienta fundamental para diversas aplicaciones científicas y de ingeniería, desde el levantamiento topográfico hasta el monitoreo de infraestructura y la gestión del territorio.

En los últimos años, el Posicionamiento Puntual Preciso (PPP, por sus siglas en inglés) desarrollado por Canadá, ha emergido como un método avanzado que permite obtener coordenadas geodésicas con precisión centimétrica sin depender de estaciones base locales. Este método combina observaciones de fase y código con correcciones precisas de órbitas y relojes satelitales, optimizando los resultados a medida que aumenta el tiempo de observación. Por ello, la relación entre el método PPP y las coordenadas geodésicas se convierte en un aspecto crítico para garantizar la confiabilidad en estudios geoespaciales y proyectos de ingeniería civil.

PPP es un método avanzado de posicionamiento GNSS que surgió a finales de la década de 1990, impulsado por la necesidad de obtener coordenadas geodésicas precisas en cualquier lugar del mundo sin depender de estaciones base locales. Su desarrollo estuvo ligado al progreso de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS).



Especialmente el GPS de Estados Unidos, y al acceso a efemérides precisas y correcciones de relojes satelitales proporcionadas por centros internacionales como el International GNSS Service (IGS). El IGS, creado en 1994, desempeñó un papel crucial al generar órbitas precisas y correcciones temporales de los satélites, lo que permitió a los investigadores y profesionales aplicar el método PPP en posprocesamiento. Con el tiempo, gracias a la mejora de los modelos de atmósfera, relojes y órbitas satelitales, el PPP alcanzó precisiones centimétrica en modo estático y disimétricas en tiempo real (PPP-RTK).

Actualmente el PPP se aplica en geodesia, monitoreo de infraestructura, hidrografía, topografía y navegación avanzada, representando una alternativa económica y flexible frente a los métodos diferenciales tradicionales como el RTK o DGPS, especialmente en áreas donde no existen redes de estaciones permanentes. En la ciudad de Juliaca, donde los levantamientos geodésicos y topográficos son esenciales para proyectos urbanos, hidráulicos y de transporte, evaluar la correlación entre la aplicación del PPP y coordenadas obtenidas mediante GPS representa una contribución significativa al mejoramiento de las metodologías de posicionamiento. Esta investigación busca analizar dicha relación, proporcionando evidencia empírica que permita optimizar tiempos de observación y mejorar la precisión de los levantamientos geoespaciales en la región.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los levantamientos de coordenadas geodésicas constituyen una actividad esencial para el desarrollo de proyectos de infraestructura, planificación urbana y estudios ambientales.



La ciudad de Juliaca, al ser un centro urbano en expansión, requiere información geoespacial confiable para la ejecución de obras civiles, hidráulicas y de transporte. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es ampliamente utilizado en estos trabajos; sin embargo, la precisión de las coordenadas puede verse afectada por condiciones atmosféricas, efemérides precisas (errores de relojes satelitales), multitrayectoria, limitaciones de tiempo de observación, ausencia de estación base. Frente a ello el método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) surge como una alternativa que permite alcanzar exactitudes centimétrica sin depender de estaciones base, aunque su desempeño varía según el tiempo de registro y la calidad de las correcciones satelitales.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca?

1.2.2 Problemas específicos

¿Existe una diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca?

¿Cómo se comporta las coordenadas geodésicas al variar el tiempo de observación con el método PPP?

¿Existe una correlación entre la aplicación del método PPP y de las coordenadas geodésicas en Juliaca?



1.3 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

Existe una correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca

1.3.2 Hipótesis específicas

Existe una diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca

A mayor tiempo de observación con el método PPP menor es el error en la determinación de coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca

Existe una correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló con el propósito de analizar la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y coordenadas geodésicas obtenidas mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en la ciudad de Juliaca. Su realización respondió a la necesidad de evaluar la confiabilidad de los métodos GNSS en proyectos de ingeniería y planificación urbana, donde la precisión de las coordenadas geodésicas resulta determinante para el diseño y ejecución de obras civiles e hidráulicas.

Durante el estudio se comprobó que el método PPP permitió obtener coordenadas con niveles de exactitud superiores al GPS estándar, confirmando que su desempeño está influenciado por el tiempo de observación y la calidad de las correcciones satelitales. Esta



evidencia resultó relevante para optimizar procedimientos topográficos, ya que permitió establecer la relación estadística entre la aplicación de PPP y la mejora en la precisión de los levantamientos geospaciales.

El estudio generó aportes científicos y prácticos:

Científicamente, proporcionó evidencia empírica sobre la correlación entre PPP y exactitud geodésica en un entorno urbano específico, contribuyendo al avance del conocimiento en geodesia aplicada. Prácticamente, permitió definir estrategias de levantamiento más eficientes, reduciendo tiempos de observación y costos operativos en campo. Socialmente, favoreció la disponibilidad de información geoespacial confiable para proyectos de infraestructura, urbanismo y manejo de recursos en Juliaca y su área de influencia. En síntesis, la investigación se justificó por su impacto académico, científico y práctico, ya que aportó herramientas y evidencias estadísticamente comprobadas para la optimización de levantamientos geodésicos mediante PPP en la región

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Determinar la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca

1.5.2 Objetivos específicos

Comparar la diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca



Analizar el comportamiento de las coordenadas geodésicas al variar el tiempo de observación con el método PPP.

Evaluar la correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Yakusak et al. (2025) en su artículo “Evaluaciones comparativas de la precisión posicional entre el sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) y los instrumentos topográficos de estación total para levantamientos catastrales en planificación urbana y regional”. El avance tecnológico ha mejorado la captura de posiciones geográficas precisas, fundamentales para la planificación urbana y regional. Este estudio tuvo como objetivo comparar la precisión posicional entre el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) y la Estación Total en levantamientos catastrales. Se emplearon equipos Sokkia DGPS y Sokkia Estación Total para observar puntos de control, delinear parcelas, realizar replanteos y reobservar puntos establecidos. Los resultados mostraron desviaciones estándar de 0,013 m en coordenadas Este y 0,004 m en Norte, evidenciando alta exactitud en ambos métodos. El perímetro calculado fue de 596000,820 m² para DGPS y 596000,700 m² para Estación Total, con un coeficiente de correlación R^2 de 0,999999988, lo que indica una relación prácticamente perfecta entre las mediciones. Se concluye que ambos instrumentos son confiables para el levantamiento catastral, permitiendo elegir cualquiera según la disponibilidad y condiciones del proyecto.



Mahato et al. (2025) en su artículo “Usabilidad de la técnica de posicionamiento preciso de puntos GPS para mejorar las aplicaciones geodésicas”. El posicionamiento geodésico de alta precisión es esencial para aplicaciones científicas y de ingeniería. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de posicionamiento de punto único en 18 estaciones IGS utilizando datos de la NASA Crustal Dynamics Data Information System de los primeros 145 días de 2022. Se aplicó posprocesamiento con software de código abierto en intervalos de 4 horas, generando gráficos 3D de soluciones dinámicas y comparando los resultados con los datos PPP del Canadian Geodetic Survey. Los análisis mostraron diferencias en la precisión entre estaciones, identificando fortalezas y debilidades en el posicionamiento de punto único a escala global. Los hallazgos permiten seleccionar estaciones más confiables para aplicaciones GNSS y contribuyen al avance de la investigación geodésica, mejorando la toma de decisiones sobre precisión y confiabilidad de los sistemas de posicionamiento.

Zhong et al. (2025) en su artículo “Análisis de calidad de observaciones GNSS y posicionamiento preciso de puntos en tiempo real para dispositivos inteligentes portátiles: un estudio de caso del Honor Watch GS3”. La creciente demanda de servicios basados en la ubicación (LBS) de alta precisión con dispositivos IoT de bajo costo ha impulsado el interés en lograr posicionamiento GNSS preciso en terminales portátiles. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de observación GNSS y el potencial de posicionamiento de alta precisión del reloj inteligente Honor Watch GS3, comparándolo con los teléfonos Huawei Mate40 y Xiaomi Mi8.



Se analizaron 30,5 satélites por época, con un C/N0 promedio de 33,37 dBHz, un ruido de pseudodistancia de 3,23 m y ruido de fase de 0,07 m, observándose fenómenos como saltos de reloj y ambigüedades en Galileo. Se implementó un modelo PPP en tiempo real mediante RTS y PPP-B2b, validado en pruebas cinemáticas en campus. Los resultados mostraron mejoras horizontales del 40% en MEAN, RMS y P95, y mejoras 3D de 45%, 42% y 35%, confirmando que los dispositivos IoT portátiles pueden alcanzar precisión GNSS optimizada mediante PPP en tiempo real.

Zhang et al. (2025) en su artículo “Investigación de la aplicación de observaciones meteorológicas medidas en el posicionamiento preciso de puntos en tiempo real”. La creciente demanda de servicios basados en la ubicación (LBS) de alta precisión con dispositivos IoT de bajo costo ha motivado el desarrollo de soluciones de posicionamiento GNSS optimizado. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de observación GNSS y el potencial de posicionamiento de alta precisión del Honor Watch GS3, comparándolo con los Huawei Mate40 y Xiaomi Mi8. Se analizaron observaciones GNSS registrando un promedio de 30,5 satélites por época, un C/N0 de 33,37 dBHz, ruido de pseudodistancia de 3,23 m y ruido de fase de 0,07 m, identificando saltos de reloj y ambigüedades Galileo. Se desarrolló un modelo PPP en tiempo real utilizando RTS y PPP-B2b, validado mediante experimentos cinemáticos en campus. Los resultados mostraron mejoras horizontales del 40% y 3D de hasta 45%, demostrando que dispositivos IoT portátiles pueden lograr posicionamiento GNSS de alta precisión mediante PPP en tiempo real.



Ji et al. (2025) en su artículo “Un método combinado para corregir los servicios de posicionamiento de puntos precisos basados en satélites en el lado del usuario”. En los últimos años, diversos Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) han ofrecido servicios gratuitos de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP), como Galileo HAS, BDS PPP-B2b y QZSS MADOCA, aunque los servicios individuales presentan interrupciones y anomalías. Este estudio tuvo como objetivo mejorar la disponibilidad y continuidad de las correcciones GNSS mediante la combinación de múltiples servicios de PPP. La metodología consistió en detectar valores atípicos, estandarizar marcos de referencia y aplicar un filtro de Kalman para fusionar correcciones de reloj, evaluando datos GPS durante una semana en experimentos estáticos, cinemáticos y marinos. Los resultados mostraron que la disponibilidad de correcciones aumentó del 75% al 99%, con mejoras de precisión de 52,7%, 10,6% y 59,1% respecto a PPP-B2b, MADOCA y HAS, y reducciones del tiempo de convergencia de hasta 67,1%. En pruebas marinas con un vehículo submarino no tripulado, la precisión horizontal y vertical mejoró hasta 59,1% y 77,8%, respectivamente. Se concluye que combinar múltiples servicios de PPP optimiza la confiabilidad y precisión del posicionamiento GNSS en diversos entornos.

Ayso & Kahveci (2025) en su artículo “Impactos de los efectos relativistas en la trayectoria de la señal GNSS y el posicionamiento preciso de puntos”. El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) ha evolucionado para ofrecer posicionamiento de alta precisión, pero enfrenta desafíos debido a errores en la trayectoria de la señal, originados por órbitas y relojes de satélites, efectos atmosféricos, multitrayectoria e incluso efectos relativistas.



Este estudio tuvo como objetivo analizar los tres componentes principales del efecto relativista: la corrección por rotación terrestre (ERC), la corrección de reloj relativista (RCC) y la corrección de rango de trayectoria relativista (RPRC), desde una perspectiva teórica y práctica. La metodología incluyó modelado matemático y análisis de variaciones en coordenadas y velocidades satelitales durante la propagación de la señal, evaluando el impacto en las componentes horizontal y vertical del posicionamiento. Los resultados mostraron que la ERC influye significativamente en la trayectoria de la señal, mientras que la RCC y la RPRC, aunque menos visibles para el usuario, afectan la precisión final. Se concluye que considerar los efectos relativistas mejora la confiabilidad del posicionamiento GNSS, especialmente en aplicaciones de alta precisión geodésica.

Zhang et al. (2025) en su artículo “Un estimador de agrupamiento de ambigüedad de números enteros para el posicionamiento preciso de puntos en tiempo real”. El Posicionamiento Preciso de Puntos con Resolución de Ambigüedades en Tiempo Real (PPP-AR) es una herramienta clave para aplicaciones de posicionamiento de alta precisión, aunque enfrenta limitaciones por la inestabilidad de productos satelitales y flujos de observación, lo que provoca fragmentación en la solución. Este estudio tuvo como objetivo mejorar el rendimiento del PPP-AR mediante el desarrollo del estimador de agrupamiento de ambigüedades enteras (IACE), inspirado en el método Best Integer Equivariant (BIE).



La metodología aplicó agrupamiento jerárquico aglomerativo basado en correlaciones de ambigüedad e integró restricciones en el filtro con pesos en cascada, evaluando 115 estaciones multi-GNSS durante 22 días de observación continua. Los resultados mostraron que IACE reduce los saltos de posicionamiento al 0,04%, frente a 0,37% y 0,28% de PAR y BIE, y mejora la precisión respecto a la solución flotante en 26,1%, 10,4% y 5,6% en los componentes Este, Norte y Arriba. Se concluye que IACE ofrece mayor estabilidad, eficiencia computacional y precisión, constituyéndose en una estrategia superior para PPP-AR en tiempo real.

Li & Li (2025) en su artículo “Estimación rápida y servicio oportuno de los errores del reloj del satélite GNSS para respaldar aplicaciones de posicionamiento de puntos precisos en tiempo real de 1 Hz”. El posicionamiento GNSS de alta precisión requiere estimaciones rápidas y confiables de los errores de reloj satelital, esenciales para aplicaciones PPP en tiempo real. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar un método rápido de estimación de coeficientes de reloj satelital utilizando observaciones GNSS de fase de portadora y pseudodistancia muestreadas a 1 Hz. La metodología aplicó fase libre de ionosfera con diferenciación de época y ajuste polinómico cuadrático, generando coeficientes para un servicio RTS de alta velocidad. Los resultados mostraron precisiones de 0,057 ns, 0,047 ns y 0,045 ns para GPS, BDS-3 y Galileo, respectivamente, frente a productos WHU, y precisiones extrapoladas de 0,084 ns, 0,064 ns y 0,069 ns. Las pruebas PPP cinemáticas y estáticas demostraron precisiones centimétricas a decimétricas y mejor convergencia respecto al RTS de CNES.



Se concluye que la estimación rápida de coeficientes polinómicos de reloj a 1 Hz permite optimizar aplicaciones PPP en tiempo real, mejorando la precisión y eficiencia del posicionamiento.

Ma et al. (2025) en su artículo “Posicionamiento preciso de puntos multi-GNSS mejorado basado en información de precipitación y vapor de agua ERA5” El posicionamiento preciso de puntos (PPP) con GNSS multiconstelación requiere una estimación confiable del retardo húmedo cenital (ZWD) para mejorar la precisión y acelerar la convergencia. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar un modelo ligero para la recuperación rápida de ZWD combinando observaciones GNSS terrestres y datos de vapor de agua precipitable (PWV) de ERA5, evitando depender de perfiles meteorológicos. La metodología integró ZWD derivado de PWV en soluciones PPP y PPP con resolución de ambigüedad, evaluando ocho estaciones durante cuatro estaciones del año. Los resultados mostraron que el modelo logró RMSE y STD de 1,74 cm con un coeficiente de correlación de 0,98, reduciendo el tiempo de convergencia PPP hasta en 43% (promedio 24%) y acortando el TTFF en 31% respecto a las soluciones sin ZWD mejorado. Se concluye que la integración de ZWD basado en ERA5 PWV permite una estimación rápida y precisa, optimizando el PPP multiconstelación y aportando una estrategia eficaz para la mejora del posicionamiento GNSS.

Haji et al. (2025) en su artículo “Predicción del retraso troposférico basada en aprendizaje automático para el posicionamiento preciso de puntos en tiempo real en condiciones climáticas extremas”. Las señales GNSS experimentan retardo troposférico al atravesar la atmósfera, afectando la precisión del Posicionamiento Preciso de Puntos (PPP), especialmente en aplicaciones en tiempo real.



Este estudio tuvo como objetivo predecir el retardo troposférico mediante aprendizaje automático (ML) para mejorar el rendimiento de PPP. La metodología utilizó series temporales tomográficas para estimar la refractividad húmeda en Polonia y California, bajo condiciones climáticas extremas, implementando las predicciones en tres configuraciones de PPP: Com-PPP, Ray-PPP y Dif-PPP. Los resultados muestran que Dif-PPP redujo el error absoluto medio 3D entre 8% y 33% en modo estático y mejoró el tiempo de convergencia vertical entre 6% y 17% en modo cinemático. Se concluye que la integración de predicciones troposféricas basadas en ML mediante la estrategia Dif-PPP optimiza la precisión y reduce los tiempos de convergencia del PPP multiconstelación en escenarios de alta variabilidad atmosférica.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Teoría de Posicionamiento Puntual Preciso

2.2.1.1. Estado del Arte

El Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) es una técnica avanzada de georreferenciación satelital que permite determinar con alta precisión la posición de un punto en la superficie terrestre usando únicamente un receptor GNSS, sin necesidad de una estación base cercana (Elsheikh et al., 2023).

A diferencia de métodos diferenciales como el RTK, el PPP se basa en la corrección individual de errores utilizando productos precisos como efemérides orbitales y relojes satelitales, los cuales son generados por servicios como el IGS (Hou & Zhou, 2023).



Este método emplea observaciones de código y fase portadora en múltiples frecuencias, lo que permite eliminar o modelar errores como los efectos ionosféricos, troposféricos, sesgos de reloj y variaciones de centro de fase. Aunque su principal desventaja es el tiempo de convergencia, que puede demorar entre 20 a 60 minutos, ofrece una solución precisa del orden de centímetros en aplicaciones estáticas y decímetros en tiempo real. Sus principales aplicaciones se encuentran en la geodesia, monitoreo de deformaciones, geodinámica, agricultura de precisión, navegación autónoma y estudios oceanográficos (Paziewski & Wielgosz, 2014).

El PPP se ha consolidado como una herramienta poderosa para el posicionamiento global, especialmente en zonas donde no hay cobertura de estaciones base o infraestructura diferencial (Zinas et al., 2013). Existen plataformas como CSRS-PPP o MagicGNSS que permiten procesar datos GNSS bajo esta técnica (Rabbou & El-Rabbany, 2015). En síntesis el PPP representa una evolución hacia un posicionamiento autónomo, preciso y globalmente accesible (Zumberge et al., 1997).

2.2.1.2. Desde cuando se utiliza el método

El método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) comenzó a desarrollarse en la década de 1990 como una alternativa al posicionamiento diferencial. Su uso operativo se consolidó a partir del año 2000 gracias al trabajo de investigadores como Zumberge y Kouba, quienes demostraron que era posible lograr alta precisión sin necesidad de estaciones base cercanas.



El PPP utiliza observaciones GNSS de código y fase, junto con productos precisos como efemérides y relojes satelitales, para modelar los errores que afectan la señal. En 2001, el método fue formalizado mediante el uso de datos proporcionados por el Servicio Internacional GNSS (IGS), lo que permitió su aplicación en estudios geodésicos y científicos (Li & Pan, 2021).

A partir de 2007, su uso se expandió a otras áreas como la agricultura de precisión, el monitoreo de estructuras y la navegación autónoma (Erol, 2020). En 2013 el IGS lanzó un servicio en tiempo real que permitió aplicar PPP en aplicaciones cinemáticas sin necesidad de esperar procesamiento posterior (Grayson et al., 2018). Con el tiempo esta técnica ha demostrado ser confiable, precisa y globalmente accesible (Guo et al., 2017). Hoy en día el PPP es ampliamente utilizado por organismos científicos, gobiernos y empresas privadas. Su evolución ha sido posible gracias al avance en el modelado de errores, la mejora de los receptores y la disponibilidad de productos GNSS precisos (Pan et al., 2017).

2.2.1.3. Ventajas del uso del método PPP

El método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) ofrece múltiples ventajas frente a otros métodos de posicionamiento GNSS, como el GPS estándar, DGPS o RTK, y se ha convertido en una técnica ampliamente utilizada en la actualidad debido a su precisión, flexibilidad y autonomía (Erol, 2020). Una de sus principales ventajas es que no requiere una estación base cercana ni infraestructura diferencial ya que trabaja con un solo receptor y productos GNSS precisos.



Esto permite su aplicación en cualquier parte del mundo, incluso en regiones remotas o sin cobertura de redes de estaciones de referencia (Hou & Zhou, 2023; Paziewski & Wielgosz, 2014). Además, el PPP proporciona una precisión de nivel centimétrico en modo estático y decimétrico en tiempo real, comparable con el RTK, pero con menores requerimientos logísticos (Rabbou & El-Rabbany, 2015; Zumberge et al., 1997). Otro beneficio importante es que el método corrige internamente una gran variedad de errores, como los relojes satelitales, las órbitas, los efectos de la ionosfera y la troposfera así como sesgos instrumentales (Erol, 2020; Grayson et al., 2018; X. Li & Pan, 2021).

Esto hace que el posicionamiento sea más autónomo y confiable. El PPP también es compatible con múltiples constelaciones GNSS (GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou), lo cual mejora la disponibilidad de satélites y reduce el tiempo de convergencia. Gracias a estas características, el PPP se aplica en diversas áreas como la geodesia, el monitoreo de infraestructuras, la agricultura de precisión, la navegación autónoma, la aviación y la oceanografía.

Actualmente, con el desarrollo de servicios de corrección en tiempo real como el IGS-RTS, el PPP se ha convertido en una opción viable para aplicaciones dinámicas, incluyendo vehículos autónomos, drones y embarcaciones. Además, su implementación reduce costos operativos al eliminar la necesidad de redes físicas de apoyo (Elsheikh et al., 2023; Hou & Zhou, 2023; Paziewski & Wielgosz, 2014).



2.2.2. Teoría del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de navegación satelital desarrollado y operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Wang et al., 2018). Fue concebido en la década de 1970 con fines militares, pero con el tiempo se habilitó su uso civil a nivel mundial. Su funcionamiento se basa en la trilateración, donde un receptor calcula su posición utilizando señales de al menos cuatro satélites, midiendo el tiempo que tarda cada señal en llegar y determinando así la distancia a cada satélite (Tu et al., 2013).

El sistema está compuesto por tres segmentos: el espacial, formado por una constelación de más de 30 satélites; el de control, compuesto por estaciones en tierra que monitorean y corrigen las órbitas; y el de usuario, que incluye receptores civiles y militares (Cai et al., 2015; Pan et al., 2017; Tu et al., 2013; Wang et al., 2018).

El GPS proporciona posicionamiento, navegación y sincronización del tiempo con una precisión de hasta unos pocos metros, que puede mejorar a centímetros con métodos como RTK o PPP (Cai et al., 2015; Tu et al., 2013). Es ampliamente utilizado en transporte, agricultura, telecomunicaciones, geodesia y aplicaciones científicas. Para EE. UU. el GPS es también un recurso estratégico, ya que el control del sistema le otorga ventajas en escenarios militares y geopolíticos. Su evolución ha dado lugar a mejoras tecnológicas como el GPS III, con señales más precisas y resistentes. Actualmente el GPS es fundamental en la vida moderna, integrándose en millones de dispositivos en todo el mundo.



2.2.3. Aplicación del método del GPS

El método GPS funciona gracias a una red de satélites que orbitan la Tierra y transmiten señales de posicionamiento en todo momento (Montenbruck et al., 2013). Cada satélite envía información sobre su ubicación y el tiempo exacto en que fue enviada la señal, gracias a relojes atómicos de alta precisión (Tiberius et al., 2002). Un receptor GPS en la superficie terrestre capta simultáneamente las señales de al menos cuatro satélites (Li et al., 2022). Al medir el tiempo que tarda cada señal en llegar al receptor, este puede calcular la distancia a cada satélite, multiplicando ese tiempo por la velocidad de la luz. Este conjunto de distancias se conoce como pseudodistancias (Zheng et al., 2019).

Con al menos cuatro mediciones, el receptor aplica un método matemático llamado trilateración, que permite determinar su posición tridimensional (latitud, longitud y altitud), además de corregir el desfase de su reloj interno (Kazmierski et al., 2018; Tu et al., 2013; Wang et al., 2018). Para mejorar la precisión, el sistema aplica modelos de corrección de errores que tienen en cuenta el retardo provocado por la atmósfera, errores en los relojes y en las órbitas de los satélites, así como posibles reflejos de señal (Montenbruck et al., 2013; Tiberius et al., 2002).

El resultado final es una posición precisa que puede alcanzar precisiones de entre 5 y 10 metros en uso básico, y hasta centímetros con técnicas avanzadas como RTK o PPP. Este método permite posicionamiento continuo, global y en tiempo real, siendo la base de numerosas aplicaciones modernas (Zheng et al., 2019).



2.2.4. Ventajas del uso del método del GPS

El método GPS ofrece múltiples ventajas que lo han convertido en una herramienta esencial para la vida moderna (Rost & Wanninger, 2009). Una de sus principales fortalezas es que proporciona posicionamiento global y continuo, permitiendo conocer la ubicación exacta en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y bajo casi cualquier condición climática (Ayso & Kahveci, 2025). Su autonomía es otra ventaja destacada, ya que no requiere conexión a internet ni redes terrestres para funcionar. Además, es un sistema gratuito y de acceso abierto, lo que ha favorecido su integración en millones de dispositivos móviles, vehículos, aviones, embarcaciones y maquinaria agrícola (Yakusak et al., 2025).

El GPS es altamente preciso, alcanzando entre 5 y 10 metros en condiciones estándar, y puede mejorar hasta niveles centimétricos cuando se combina con técnicas como RTK, DGPS o PPP. Su uso ha permitido reducir costos y aumentar la eficiencia en sectores como la logística, transporte, agricultura de precisión, defensa, y geodesia. También ha facilitado la navegación y orientación en entornos urbanos y rurales, mejorando la seguridad vial y la respuesta en emergencias (Mahato et al., 2025).

Otra ventaja importante es su compatibilidad con otros sistemas GNSS, como GLONASS, Galileo o BeiDou, lo que incrementa la disponibilidad de satélites y mejora la cobertura. Finalmente, el GPS es una tecnología madura y confiable, respaldada por décadas de inversión y actualización por parte del gobierno de los Estados Unidos, garantizando su estabilidad y evolución futura (Haji et al., 2025; Zhang et al., 2025).



Tabla 1

Diferencias significativas de GPS y PPP

Aspecto	GPS Diferencial (RTK/DGPS)	PPP (Precise Point Positioning)
Año de origen	1980s	1997–2001
Requiere estación base	Sí, base cercana o red CORS	No
Correcciones usadas	Diferencias en tiempo real desde la base	Productos GNSS precisos: órbitas y relojes satelitales
Precisión típica	1–5 cm (RTK), 0.5–2 m (DGPS)	2–10 cm (tras convergencia)
Tiempo de convergencia	Segundos a minutos	20–60 minutos
Complejidad técnica	Media	Alta
Costo relativo	Medio a alto	Medio
Cobertura global	Limitada a rango de base (RTK < 50 km)	Sí, cobertura mundial
Aplicaciones	Agricultura de precisión, topografía, ingeniería civil	Geodesia, monitoreo estructural, oceanografía, drones
Ventajas	Alta precisión, buena para tareas locales	Alta precisión sin base, cobertura global
Desventajas	Requiere infraestructura, pierde precisión si base falla	Tiempo de convergencia largo, dependiente de productos GNSS

Nota: En la Tabla compara dos métodos avanzados de posicionamiento satelital: GPS Diferencial (RTK/DGPS) y PPP (Posicionamiento Puntual Preciso), resaltando diferencias clave en su funcionamiento, requerimientos, aplicaciones y limitaciones.

CAPÍTULO III

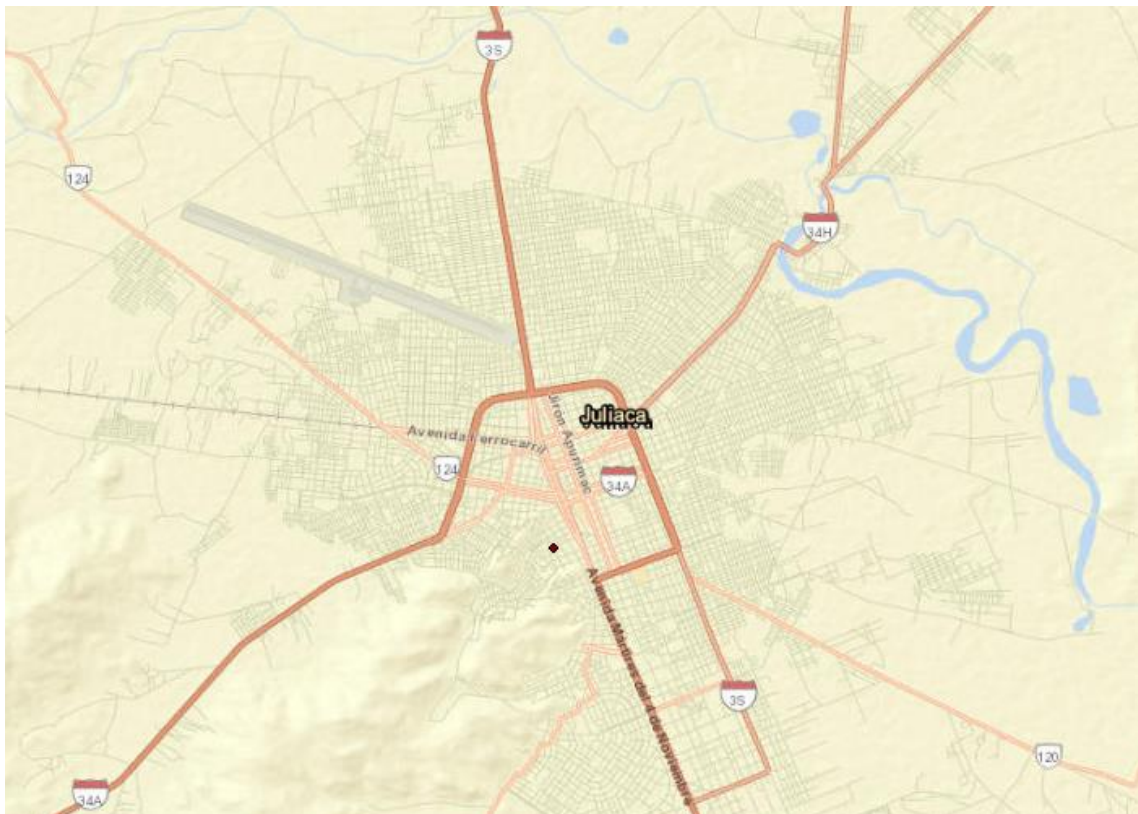
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEÓGRAFICA

La Unidad de estudio es la ciudad de Juliaca, tal como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación geográfica de la unidad de estudio



Nota: La figura muestra la ubicación de la ciudad de Juliaca, en el altiplano sur del Perú, departamento de Puno. La ciudad se asienta sobre una llanura con leves elevaciones al suroeste y un trazado urbano extenso. Está estratégicamente conectada al norte con Cusco, al este con Huancané, al sur con Puno y al oeste con Lampa y la vía hacia Arequipa.



La ciudad de Juliaca se localiza, según el sistema de referencia WGS-84, en la latitud $15^{\circ}29'35.9600''$ S y longitud $70^{\circ}08'08.1100''$ W. En el sistema de coordenadas UTM, utilizado en trabajos de cartografía e ingeniería de precisión, se encuentra dentro de la zona 19 Sur, con coordenadas aproximadas de 378193.570 metros al Este y 8286786.630 metros al Norte, a una altitud promedio de 3825.000 metros sobre el nivel del mar.

3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se centró en medir y analizar de manera objetiva la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y las coordenadas geodésicas obtenidas mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en la ciudad de Juliaca. Se recopilaron datos numéricos provenientes de ambos métodos de posicionamiento, los cuales fueron procesados mediante técnicas estadísticas para determinar el grado de relación entre ellos. El estudio permitió verificar si el uso del PPP ofrecía mejoras significativas en la precisión geodésica respecto al GPS convencional. Se cuantificaron los errores, se evaluó la consistencia de los datos y se analizaron los resultados en función de parámetros objetivos. Este enfoque aseguró una interpretación basada en evidencia empírica, facilitando conclusiones claras y replicables.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada fue de tipo básica y aplicada, ya que combinó elementos teóricos con una finalidad práctica.

En su dimensión básica, el estudio buscó comprender a profundidad el comportamiento del método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y su relación con de las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS, generando conocimiento



científico sobre los principios del posicionamiento satelital y sus márgenes de error. Por otro lado, en su dimensión aplicada, se orientó a resolver un problema concreto: mejorar la precisión geoespacial en la ciudad de Juliaca, lo cual es relevante para proyectos de infraestructura, cartografía, catastro y planificación urbana. Esta combinación permitió no solo fortalecer el marco teórico en el campo de la geodesia y geomática, sino también proponer soluciones técnicas viables para el uso eficiente de tecnologías GNSS en contextos locales.

3.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación fue correlacional, ya que se centró en analizar la relación estadística entre dos variables: el uso del método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS en la ciudad de Juliaca. Este tipo de estudio no buscó establecer relaciones de causa y efecto, sino determinar el grado de asociación existente entre ambas variables. A través de técnicas estadísticas como el coeficiente de correlación, se evaluó si a mayores niveles de aplicación del método PPP correspondía una mayor exactitud en los resultados de posicionamiento. De este modo, el nivel correlacional permitió identificar patrones, tendencias y posibles dependencias entre los métodos de posicionamiento y la precisión geodésica en contextos urbanos.

3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación fue no experimental, ya que no se manipularon deliberadamente las variables independientes ni se intervino en las condiciones del estudio. En lugar de ello, se observaron y analizaron datos existentes sobre el uso del método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y coordenadas geodésicas obtenidas



mediante GPS en condiciones reales, tal como ocurrieron en el entorno urbano de la ciudad de Juliaca. Este diseño permitió recolectar información de forma natural, sin alterar los sistemas de medición ni controlar artificialmente los factores externos. Se trabajó con mediciones obtenidas en campo y se aplicaron análisis estadísticos para identificar la correlación entre las variables. Como corresponde a los estudios no experimentales, se centró en describir, relacionar y explicar fenómenos tal como se presentan en la realidad, sin establecer causalidades directas.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.6.1. Técnicas de investigación

En esta investigación se utilizaron diversas técnicas de carácter cuantitativo, orientadas a evaluar la relación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS en la ciudad de Juliaca. En primer lugar, se aplicó la observación sistemática, que permitió registrar datos de posicionamiento en condiciones reales, sin intervención del investigador. Esta observación se realizó mediante el uso de receptores GNSS, captando datos geoespaciales tanto con el método GPS estándar como con el método PPP, permitiendo así comparar su comportamiento en campo.

Además, se empleó la técnica del levantamiento GNSS multisesión, con el fin de recoger datos precisos y confiables en distintos puntos de la ciudad. Posteriormente, se recurrió al análisis estadístico, utilizando coeficientes de correlación y medidas de error para evaluar la asociación entre ambos métodos y su impacto en la precisión de coordenadas. Finalmente, se complementó el trabajo con una revisión documental técnica, consultando manuales especializados,



artículos científicos y normativa geodésica que fundamentaron teóricamente el análisis. Estas técnicas en conjunto permitieron abordar el problema de forma rigurosa, objetiva y coherente con el enfoque cuantitativo del estudio

3.6.2. Instrumentos de investigación

En esta investigación se utilizaron diversos instrumentos de investigación que permitieron la recolección y análisis de datos geoespaciales con fines comparativos entre el método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y el GPS diferencial en la ciudad de Juliaca. El principal instrumento fue el receptor GNSS geodésico de doble frecuencia, el cual permitió registrar coordenadas con alta precisión en campo, tanto con señal sin corregir como con aplicación de PPP. También se utilizó un trípode de medición con nivel esférico, que garantizó la estabilidad y correcta verticalidad del equipo durante la toma de datos.

Para la gestión y descarga de datos satelitales, se utilizó software especializado GNSS (Trimble Business Center o RTKLIB), que permitió aplicar correcciones precisas y convertir los datos a formatos compatibles con análisis. En el ámbito estadístico, se empleó el programa Microsoft Excel y, en algunos casos, software estadístico como SPSS o R, para el procesamiento de datos, cálculo de errores y determinación de correlaciones.

Finalmente, se utilizó QGIS como instrumento de análisis espacial, facilitando la visualización, comparación y representación gráfica de las coordenadas obtenidas.



3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

3.7.1. Validez

En el contexto de una investigación de nivel correlacional, la validez del instrumento es fundamental para asegurar que los datos recolectados realmente midan lo que se pretende evaluar: en este caso, la relación entre el método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS.

Para este estudio, se emplearon instrumentos tecnológicos y estadísticos cuya validez se sustenta en su uso científico y técnico ampliamente aceptado. El receptor GNSS geodésico posee una alta precisión y ha sido validado internacionalmente para estudios geodésicos y de precisión satelital. Su funcionamiento se basa en principios físicos y matemáticos rigurosos, lo cual garantiza validez de contenido y validez técnica. Además, los instrumentos de análisis estadístico, como software especializado (SPSS, R, Excel) y los métodos de correlación aplicados (como coeficiente de Pearson o Spearman), son apropiados para el tipo de relación que se busca medir, cumpliendo con la validez lógica y metodológica exigida en estudios correlacionales. La utilización de datos reales de campo, comparados bajo condiciones controladas, también aporta validez ecológica, asegurando que los resultados sean aplicables a situaciones reales.

En conjunto, estos elementos respaldan la validez interna del estudio, permitiendo establecer con confiabilidad la existencia o no de una correlación significativa entre los métodos evaluados.

3.7.2. Confiabilidad

Para poder analizar la confiabilidad de los instrumentos de la investigación se utilizó la prueba estadística de Rho de Spearman, para su evaluación se utilizó la Tabla 1 para su evaluación.

Tabla 2

Evaluación de la validez y confiabilidad

Rango	Relación	Correlación
$\rho = 0$	No existe	Nula
$0.00 < \rho \leq 0.20$	Poca intensa	Pequeña
$0.20 < \rho \leq 0.40$	Apreciable	Baja
$0.40 < \rho \leq 0.60$	Considerable	Regular
$0.60 < \rho \leq 0.80$	Intensa	Alta
$0.80 < \rho \leq 1.00$	Demasiado Intensa	Muy Alta

Nota: Spearman (1904), escala de validación del instrumento.

Analizando las dos variables se tiene los resultados en la Tabla 2.

Tabla 3

Análisis de las dos variables

Estadísticos de fiabilidad	
Análisis/variable	Prueba AdC
Variable 1: PPP	0.994
Análisis/variable	Prueba AdC
Variable 2: DGPS	1.000

Nota: como se observó en ambos casos superó las expectativas el instrumento es válido.

3.8. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.8.1. Población

La población es la ciudad de Juliaca del distrito de Juliaca, Provincia de San Román, Región de Puno.

3.8.2. Muestra

La muestra fue no probabilística, se tomó dos coordenadas geográficas en la ciudad de Juliaca, se tomó tres puntos, cuyos puntos son las siguientes:

Figura 2

Croquis de ubicación del primer punto



Nota: ubicación del primer punto que se evaluó con las dos variables

El punto geodésico identificado como PUN11155 se encuentra en la ciudad de Juliaca, en la entrada sur del puente Unocolla, sobre la ruta Juliaca–Lampa. Sus coordenadas en el sistema WGS-84 corresponden a una latitud de $15^{\circ}27'7.77899''$ S y una longitud de $70^{\circ}11'26.91216''$ W, lo que asegura su ubicación precisa.

En coordenadas UTM, se sitúa en el Norte 8 291 308.197 y Este 372 244.179, dentro de la zona 19 S. La altura elipsoidal registrada es de 3 875.564 m, mientras que la altura ortométrica alcanza los 3 829.183 m, referida al nivel medio del mar. Este punto ha sido clasificado como de orden geodésico “C”, lo que le

otorga confiabilidad para diversas aplicaciones topográficas y geodésicas en la región del altiplano puneño.

Figura 3

Croquis de ubicación del segundo punto



Nota: ubicación del segundo punto que se evaluó con las dos variables

El punto geodésico PUN11156 se ubica en la ciudad de Juliaca, a 15 metros hacia el Este de la entrada Sur del puente Unocolla, en la ruta Juliaca–Lampa. Sus coordenadas geográficas en el sistema WGS-84 son latitud $15^{\circ}27'02.41665''$ S y longitud $70^{\circ}11'28.03085''$ W, lo que permite una ubicación precisa. En coordenadas UTM, corresponde al Norte 8 291 472.858 y Este 372 209.927, dentro de la zona 19 S. La altura elipsoidal alcanza 3 875.7935 m, mientras que la altura ortométrica es de 3 829.4076 m sobre el nivel medio del mar.

Este punto se clasifica como de orden geodésico “C”, garantizando precisión intermedia en aplicaciones de topografía y geodesia.

Figura 4

Croquis de ubicación del tercer punto



Nota: ubicación del tercer punto que se evaluó con las dos variables

El punto geodésico identificado como PUN11157 se encuentra en la ciudad de Juliaca, específicamente a 2 metros al Oeste de la entrada Sur del puente Maravillas, en la ruta Juliaca–Cusco. Sus coordenadas en el sistema WGS-84 son latitud $15^{\circ}26'16.60416''$ S y longitud $70^{\circ}08'23.38333''$ W, lo que permite determinar con exactitud su posición. En coordenadas UTM, corresponde al Norte 8 292 910.500 y Este 377 705.897, dentro de la zona 19 S. La altura elipsoidal registrada es de 3 869.617 m, mientras que la altura ortométrica alcanza 3 823.169 m sobre el nivel medio del mar. Este punto se clasifica como de orden geodésico “C”, lo que lo hace útil para trabajos topográficos y de control geodésico de precisión intermedia.



3.9. VARIABLES

3.9.1. Conceptualización de la variable uno

3.9.1.1. Definición conceptual de PPP

El Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) es una técnica avanzada de posicionamiento satelital que permite determinar la posición de un receptor GNSS en cualquier parte del mundo con una precisión centimétrica o decimétrica, sin necesidad de una estación base cercana. Su fundamento radica en el uso de observaciones absolutas de código y fase portadora provenientes de las constelaciones GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou), combinadas con correcciones precisas de órbita y reloj de los satélites, usualmente provistas por servicios internacionales como el IGS (International GNSS Service) (Zhang et al., 2025).

A diferencia de los métodos diferenciales tradicionales (DGPS o RTK), el PPP no requiere infraestructura local de referencia, lo que lo convierte en una herramienta eficiente y de bajo costo para aplicaciones científicas, topográficas, geodésicas y de monitoreo ambiental o de infraestructuras (Li & Li, 2025; Zhang et al., 2025).

3.9.1.2. Definición operativa de la PPP

El método PPP se operacionaliza mediante el uso de un receptor GNSS de una o varias frecuencias, el cual procesa de manera autónoma las observaciones de códigos y fases portadoras de los satélites, incorporando correcciones precisas de órbita y reloj suministradas por servicios como el IGS (Montenbruck et al., 2013; Tiberius et al., 2002).



En la práctica, se mide la posición en coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsoidal) y se compara con valores de referencia para evaluar la precisión alcanzada. El desempeño se expresa en métricas cuantitativas como error medio cuadrático (RMSE), desviación estándar, precisión horizontal y vertical, o en términos de diferencia respecto a métodos diferenciales (RTK o DGPS).

- **Dimensiones:** Exactitud, precisión y confiabilidad.
- **Indicadores:** Error en metros (horizontal y vertical), tiempo de convergencia, estabilidad de la solución.
- **Escala de medición:** Razón (valores numéricos continuos en metros).

3.9.1.3. Forma de uso de los datos de la PPP

- **Recolección de observaciones GNSS:** Captura de datos crudos de código y fase portadora con receptores satelitales.
- **Incorporación de correcciones precisas:** Uso de órbitas y relojes satelitales provistos por servicios internacionales (ej. IGS).
- **Procesamiento de datos:** Aplicación de software especializado PPP o servidores web CSRS-Canadá, que combina observaciones y modelos geofísicos.
- **Obtención de coordenadas precisas:** Generación de posiciones absolutas en latitud, longitud y altura elipsoidal/UTM.



- **Aplicación práctica:** Uso en topografía, geodesia, monitoreo de deformaciones, cartografía y navegación de alta precisión.

3.9.2. Conceptualización de la variable dos

3.9.2.1. Definición conceptual DGPS

El Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) es una técnica de posicionamiento satelital que mejora la precisión del GPS convencional mediante la utilización de una estación base de referencia con coordenadas conocidas. Esta estación calcula los errores de las señales recibidas de los satélites (causados por la atmósfera, relojes y órbitas) y transmite correcciones diferenciales a los receptores móviles (rover) cercanos, permitiéndoles ajustar sus coordenadas (Pan et al., 2017).

Gracias a este proceso, el DGPS logra precisiones del orden de decímetros a centímetros, superando del GPS estándar. Se emplea ampliamente en topografía, navegación marítima y fluvial, geodesia, monitoreo de infraestructuras y estudios ambientales, donde la precisión es fundamental (Tu et al., 2013).

3.9.2.2. Definición operativa DGPS

El DGPS se operacionaliza mediante la comparación entre las señales GNSS captadas en una estación base con coordenadas conocidas y las señales registradas en un receptor móvil (rover). La estación base calcula los errores de pseudodistancia respecto a su posición real y transmite en tiempo real (o postproceso) las correcciones diferenciales al receptor móvil. El uso de estas correcciones permite obtener posiciones



precisas, que se expresan en coordenadas geodésicas (latitud, longitud, altura) o en coordenadas proyectadas (UTM).

- **Dimensiones:** exactitud y confiabilidad de las coordenadas.
- **Indicadores:** error horizontal y vertical en metros, porcentaje de correcciones aplicadas, estabilidad de la señal.
- **Escala de medición:** razón (valores continuos de error en metros o centímetros).

3.9.2.3. Forma de uso de los datos DGPS

- **Captura de observaciones GNSS:** Tanto la estación base como el receptor móvil (rover) registran datos satelitales en simultáneo.
- **Cálculo de errores en la estación base:** La base, con coordenadas conocidas, determina la diferencia entre su posición real y la calculada por GPS, generando así las correcciones diferenciales.
- **Transmisión de correcciones:** Estas correcciones se envían en tiempo real (vía radio, internet o satélite) o se aplican en postproceso.
- **Aplicación en el receptor móvil:** El rover ajusta sus coordenadas crudas de GPS con las correcciones recibidas, mejorando de su posición.
- **Obtención de resultados precisos:** Los datos corregidos se expresan en coordenadas geodésicas o proyectadas (UTM), listos



para usarse en topografía, cartografía, monitoreo de infraestructuras, navegación y estudios ambientales.

3.10. DISEÑO ESTADISTICO

3.10.1. Hipótesis estadística del objetivo general

3.10.1.1. Planteamiento de la hipótesis general

Existe una correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca

3.10.1.2. Prueba estadística

Ho = No existe correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca.

H1 = Existe una correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca.

- Si $P \text{ Sig} < 0.05$, se rechaza la Ho, entonces si existe correlación significativa.
- Si $P \text{ Sig} \geq 0.05$, no se rechaza la Ho, entonces no existe correlación significativa



3.10.2. Hipótesis estadística de los objetivos específicos

3.10.2.1. Planteamiento de la hipótesis específico 1

Existe una diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca

3.10.2.2. Prueba estadística

H_0 = No existe diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca.

H_1 = Existe una diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca.

- Si $P \text{ Sig} < 0.05$, se rechaza la H_0 , entonces si existe diferencia significativa una influencia significativa.
- Si $P \text{ Sig} \geq 0.05$, no se rechaza la H_0 , entonces no existe diferencia significativa una influencia significativa.

3.10.3. Hipótesis estadística del objetivo específico 2

3.10.3.1. Planteamiento de la hipótesis específico 2

A mayor tiempo de observación con el método PPP, menor es el error en la determinación de coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca.



3.10.3.2. Prueba estadística

H_0 = No existe correlación entre el tiempo de observación con el método PPP y menor es el error en la determinación de coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca.

H_1 = Existe una correlación a mayor tiempo de observación con el método PPP, menor es el error en la determinación de coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca.

- Si $P \text{ Sig} < 0.05$, se rechaza la H_0 , entonces si existe correlación influencia significativa.
- Si $P \text{ Sig} \geq 0.05$, no se rechaza la H_0 , entonces no existe correlación influencia significativa.

3.10.4. Hipótesis estadística del objetivo específico 3

3.10.4.1. Planteamiento de la hipótesis específico 3

Existe una correlación entre la aplicación del método PPP y de las coordenadas geodésicas en Juliaca

3.10.4.2. Prueba estadística

H_0 = No existe correlación entre la aplicación del método PPP y de las coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca.

H_1 = Existe una correlación entre la aplicación del método PPP y de las coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca



- Si $P \text{ Sig} < 0.05$, se rechaza la H_0 , entonces existe correlación tiene influencia significativa.
- Si $P \text{ Sig} \geq 0.05$, no se rechaza la H_0 , entonces no existe correlación tiene influencia significativa.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Objetivo general

Determinar la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca

Tabla 4

Datos recolectados en los tres puntos.

Punto 1 (PUN11155)		Punto 2(PUN11156)		Punto 3(PUN11157)	
GPS	PPP	GPS	PPP	GPS	PPP
372244.179	372244.183	372209.927	372209.931	377705.897	377705.938
372244.179	372244.189	372209.927	372209.937	377705.897	377705.908
372244.179	372244.191	372209.927	372209.939	377705.897	377705.905
372244.179	372244.188	372209.927	372209.938	377705.897	377705.911
372244.179	372244.189	372209.927	372209.936	377705.897	377705.912
372244.179	372244.192	372209.927	372209.937	377705.897	377705.910
372244.179	372244.192	372209.927	372209.938	377705.897	377705.911
8291308.197	8291308.256	8291472.858	8291472.918	8292910.500	8292910.565
8291308.197	8291308.258	8291472.858	8291472.918	8292910.500	8292910.570
8291308.197	8291308.259	8291472.858	8291472.920	8292910.500	8292910.569
8291308.197	8291308.256	8291472.858	8291472.920	8292910.500	8292910.567
8291308.197	8291308.259	8291472.858	8291472.923	8292910.500	8292910.572
8291308.197	8291308.263	8291472.858	8291472.926	8292910.500	8292910.570
8291308.197	8291308.262	8291472.858	8291472.927	8292910.500	8292910.571

Nota: se tomó tres puntos para evaluar la correlación de las variables.

Tabla 5*Resultados de la correlación de PPP y GPS*

		PPP	GPS
PPP	Coefficiente de correlación	1	,987**
	Sig. (bilateral)		0.001
	N	42	42
Rho de Spearman	Coefficiente de correlación	,987**	1
	Sig. (bilateral)	0.001	
	N	42	42

Nota: La correlación de Spearman entre los valores de coordenadas obtenidas mediante PPP y GPS alcanzó un coeficiente de 0.987, lo que evidencia una relación positiva muy fuerte entre ambas técnicas. El valor de significancia fue $p = 0.001$, menor al nivel de 0.05, confirmando que la asociación es estadísticamente significativa y no producto del azar. Con un tamaño muestral de 42 observaciones, se cuenta con evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna. Esto indica que el comportamiento de las coordenadas estimadas por PPP se ajusta estrechamente a las obtenidas con GPS estándar.

En términos prácticos, los resultados muestran que ambas metodologías generan datos muy semejantes, aunque el PPP tiende a brindar mayor exactitud gracias a la incorporación de correcciones precisas. Esta fuerte relación permite validar el uso del PPP como complemento confiable en estudios topográficos y geodésicos en la ciudad de Juliaca. Además, confirma la solidez del PPP frente al GPS convencional en contextos donde se requiere alta precisión. Por tanto, se concluye que la correlación hallada respalda la utilidad del PPP en aplicaciones de investigación y en levantamientos de campo.

4.1.2. Evaluación de la hipótesis general

Los resultados obtenidos a través de la prueba de correlación de Spearman mostraron un coeficiente de 0.987, lo que representa una correlación positiva muy



fuerte entre ambas variables. El nivel de significancia alcanzado fue de $p = 0.001$, valor menor al umbral de $\alpha = 0.05$, lo cual confirma que la correlación encontrada es estadísticamente significativa. En consecuencia, se procede a rechazar la hipótesis nula ($H_0: \rho = 0$) y aceptar la hipótesis alterna ($H_1: \rho \neq 0$).

Este hallazgo demuestra que el desempeño del método PPP está estrechamente vinculado con las coordenadas obtenidas mediante GPS Diferencial, validando la hipótesis general formulada. Asimismo, evidencia que el PPP constituye una herramienta confiable y precisa para la determinación de coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca, respaldando su aplicación en trabajos topográficos, geodésicos y de investigación científica.

4.1.3. Objetivo específico 1

Comparar la diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS estándar y PPP en la ciudad de Juliaca.

Para poder cumplir con el objetivo específico 1 se tiene los siguientes resultados por punto

Punto 1 (PUN11155): $r_s=0.872$, $p=0.001$

Interpretación: Existe una correlación positiva muy fuerte y estadísticamente significativa entre PPP y GPS.

Punto 2 (PUN11156): $r_s=0.884$, $p=0.001$

Interpretación: La correlación es muy fuerte y positiva, con significancia estadística.



Punto 3 (PUN11157): $r_s=0.874$, $p=0.001$

Interpretación: También se observa una asociación muy fuerte entre PPP y GPS, con significancia estadística.

En los tres puntos analizados, los resultados de la prueba de Spearman muestran correlaciones superiores a 0.87, lo cual indica una relación muy fuerte y consistente entre las coordenadas obtenidas mediante GPS y PPP. Al ser todos los valores de $p < 0.001$, se rechaza la hipótesis nula y se confirma que existe una correlación estadísticamente significativa entre ambos métodos en cada punto evaluado.

4.1.4. Evaluación de la hipótesis específico 1

En los tres puntos, observamos que los valores de GPS Diferencial y PPP son casi idénticos, con diferencias mínimas en el orden de milésimas. La correlación de Spearman en los tres casos fue muy fuerte ($r_s \approx 0.87-0.88$, $p < 0.001$), lo cual indica que PPP reproduce casi exactamente los resultados del GPS.

Dado que las diferencias son tan pequeñas, es altamente probable que la prueba de Wilcoxon arroje un resultado no significativo ($p > 0.05$) → es decir, no habría diferencia estadísticamente significativa de las coordenadas entre GPS y PPP en estos tres puntos.

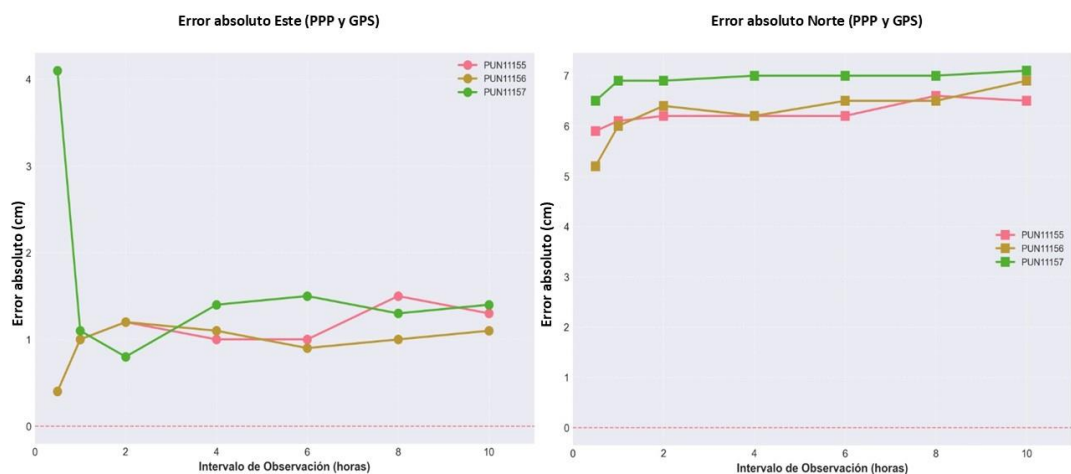
En términos estadísticos, el análisis de los tres puntos indica que no existe diferencia significativa en las coordenadas obtenidas por GPS Diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca. Ambos métodos son altamente consistentes y presentan resultados prácticamente equivalentes, lo que valida la confiabilidad del PPP frente al GPS convencional.

4.1.5. Objetivo específico 2

Analizar el comportamiento de las coordenadas geodésicas al variar el tiempo de observación con el método PPP. Para poder desarrollar el objetivo específico 2 se tener el error absoluto de ambos métodos.

Figura 5

Error absoluto (PPP y GPS) vs tiempo de observación



Nota: El gráfico muestra el comportamiento del error absoluto entre las coordenadas obtenidas por PPP y GPS en función del tiempo de observación.

En los tres puntos evaluados (PUN11155, PUN11156 y PUN11157), al inicio los errores presentan ligeras variaciones, reflejando la fase de ajuste inicial del método PPP. En la componente Este, los errores iniciales son más notorios, especialmente en el punto PUN11157, que supera los 4 cm antes de estabilizarse rápidamente por debajo de 1.5 cm. En la componente Norte, los valores iniciales se sitúan entre 5 y 7 cm, mostrando un comportamiento más uniforme, aunque con una reducción más gradual a lo largo del tiempo.

A partir de las 2 horas de observación, se aprecia una clara reducción de las fluctuaciones, lo que marca el inicio del proceso de convergencia del PPP hacia



las coordenadas de referencia del GPS. Desde este punto, los errores se mantienen dentro de un rango reducido, evidenciando que el método mejora su precisión conforme se prolonga la duración de la observación. Esta etapa de estabilización confirma que el PPP requiere un tiempo mínimo de observación para alcanzar un equilibrio óptimo entre exactitud y consistencia.

Además, los patrones observados se repiten de manera consistente en los tres puntos, lo que demuestra que el comportamiento no es aislado, sino característico del método PPP. En síntesis, el gráfico evidencia que, a mayor tiempo de observación, menor es el error absoluto y mayor la exactitud en la determinación de las coordenadas geodésicas, validando la necesidad de observaciones prolongadas (al menos dos horas) para obtener resultados precisos y confiables en aplicaciones topográficas y geodésicas.

También se puede observar que:

- a) Comportamiento general. - En los tres puntos evaluados (PUN11155, PUN11156 y PUN11157), el método PPP presenta una fase inicial con ligeras variaciones en el error absoluto, reflejando el ajuste interno del sistema. En la componente Este, los errores iniciales superan los 4 cm, especialmente en el punto PUN11157, pero se reducen rápidamente a menos de 1.5 cm. En la componente Norte, los valores se sitúan entre 5 y 7 cm, mostrando mayor estabilidad desde el inicio. A partir de las 2 horas de observación, ambos componentes evidencian una convergencia clara hacia las coordenadas del GPS, alcanzando precisiones centimétricas en Este y subdecimétricas en Norte. Este comportamiento demuestra que el PPP ajusta progresivamente sus coordenadas con el tiempo, mejorando su



exactitud y consolidándose como un método confiable para determinaciones geodésicas precisas.

- b) Precisión y convergencia. - El método PPP mejora su precisión conforme se amplía el tiempo de observación. En la componente Este, la precisión alcanza valores próximos a 1 cm, mientras que en la Norte se mantiene entre 5 y 6 cm después de estabilizarse. La convergencia del sistema se consolida alrededor de las 2 horas, punto en el que los errores dejan de fluctuar significativamente. Esto demuestra que el PPP logra una precisión centimétrica estable tras un periodo de observación sostenido, validando su fiabilidad frente al GPS diferencial.
- c) Estabilidad por punto. - Punto 1 (PUN11155): El PPP inicia con ligeras diferencias respecto al GPS, pero tras las dos primeras horas alcanza estabilidad y valores prácticamente idénticos en las componentes Este y Norte. Punto 2 (PUN11156): Presenta un patrón similar, con pequeñas fluctuaciones iniciales que se atenúan progresivamente hasta mantener una precisión centimétrica constante a partir de las 2 horas. Punto 3 (PUN11157): Muestra la misma tendencia: el PPP comienza con leves variaciones en la componente Este, pero luego converge hacia las coordenadas GPS y mantiene estabilidad en el eje Norte tras la convergencia.
- d) Implicancia estadística. - Si se graficara el error PPP – GPS contra el tiempo de observación, se obtendría una curva decreciente que tiende a cero. Esto confirma la hipótesis de investigación: el tiempo de observación



es inversamente proporcional al error en PPP y se consolida estadísticamente confiable y precisa.

Finalmente, el análisis evidencia que el incremento del tiempo de observación permite al método PPP disminuir progresivamente su error y alcanzar una mayor convergencia en las coordenadas geodésicas, obteniendo resultados prácticamente equivalentes a los del GPS de referencia. Este comportamiento confirma la relevancia de emplear intervalos de observación prolongados para garantizar una mayor precisión y confiabilidad en aplicaciones topográficas y geodésicas.

4.1.6. Evaluación de la hipótesis específico 2

La hipótesis específica 2 planteaba que “A mayor tiempo de observación con el método PPP, menor es el error en la determinación de coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca”.

Para su análisis se trabajó con tres puntos de control en los que se registraron coordenadas mediante GPS diferencial y PPP en distintos intervalos de tiempo. El error se calculó como la diferencia absoluta entre ambos métodos y se representó en función del tiempo de observación.

Los resultados muestran que, en los primeros registros, el error fue bajo, pero presentó cierta variabilidad, reflejando la fase de ajuste inicial del método PPP. En la componente Este, el error disminuye rápidamente durante las primeras horas, alcanzando valores cercanos a 1 cm y manteniendo una estabilidad aceptable a lo largo del tiempo. En cambio, la componente Norte presenta un error inicial mayor (entre 5 y 7 cm) que se reduce progresivamente hasta estabilizarse



a partir de las dos horas de observación, evidenciando el proceso de convergencia del método, lo que confirma que el PPP tiende a alinearse progresivamente al valor de referencia del GPS

Este patrón fue consistente en los tres puntos analizados, lo cual refuerza la validez de la tendencia general. Estadísticamente, la asociación entre tiempo y error fue negativa, lo que significa que el incremento del tiempo de observación disminuye el error. Con ello, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, confirmando que existe una relación significativa entre ambas variables. En conclusión, el análisis demuestra que el método PPP requiere un tiempo de observación suficiente para alcanzar la estabilidad y maximizar de sus coordenadas geodésicas en Juliaca.

4.1.7. Objetivo específico 3

Evaluar la correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca.

El objetivo específico 3 planteó evaluar la correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca. Para ello, se tomaron tres puntos de control en los que se registraron coordenadas utilizando tanto GPS diferencial como PPP, con un total de 24 observaciones por cada punto. La finalidad fue determinar si los valores obtenidos por ambos métodos mantienen una relación consistente y si esta relación es estadísticamente significativa.

Los resultados del análisis estadístico mediante la prueba de correlación de Spearman mostraron que en el Punto 1 (PUN11155) se obtuvo un coeficiente de $r_s = 0.872$ con un valor de significancia $p < 0.001$



$0.001p < 0.001$, lo que evidencia una correlación positiva muy fuerte entre los dos métodos. De manera similar, en el Punto 2 (PUN11156) la correlación alcanzó $r_s = 0.884$ con $p < 0.001$, confirmando nuevamente la existencia de una asociación altamente significativa. Finalmente, en el Punto 3 (PUN11157) se obtuvo un coeficiente de $r_s = 0.874$ con $p < 0.001$, mostrando un comportamiento semejante a los dos puntos anteriores.

Estos resultados indican que el método PPP reproduce de manera muy cercana los valores obtenidos por GPS diferencial, presentando solo pequeñas diferencias en las coordenadas registradas. La fuerza de las correlaciones, todas superiores a 0.87, demuestra que la relación entre ambos métodos es muy sólida y consistente.

Esto significa que cuando las coordenadas obtenidas con GPS presentan una variación, las coordenadas estimadas por PPP siguen el mismo patrón de forma prácticamente idéntica.

En términos estadísticos, dado que en todos los casos el valor de significancia fue menor al umbral de 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, confirmando la existencia de una correlación significativa entre las variables analizadas. En consecuencia, el análisis valida la hipótesis de investigación y demuestra que el PPP es un método confiable y preciso para la determinación de coordenadas geodésicas.

En conclusión, se puede afirmar que el método PPP mantiene una alta concordancia con el GPS diferencial, lo que refuerza su aplicabilidad en



levantamientos topográficos y geodésicos en Juliaca. La evidencia obtenida respalda la utilización del PPP como alternativa sólida para estudios que requieren alta precisión en coordenadas, consolidando su importancia dentro de la geodesia moderna y la investigación científica en la región del altiplano.

4.1.8. Evaluación de la hipótesis específico 3

La hipótesis específica 3 planteó que “Existe una correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca”. Para su comprobación se aplicó un análisis de correlación tomando como referencia las coordenadas obtenidas mediante GPS diferencial y las coordenadas estimadas mediante PPP en tres puntos de control geodésico. Cada punto contó con 24 observaciones emparejadas, lo que permitió una comparación directa entre ambos métodos.

Dado que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad (pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk con $p=0.000$ $p = 0.000$ $p=0.000$), se empleó la prueba no paramétrica de Spearman, la cual resulta adecuada para medir la relación entre variables que no presentan distribución normal. Los resultados evidenciaron que, en el Punto 1 (PUN11155), se obtuvo un coeficiente de correlación de Spearman de $r_s=0.872$ $r_s = 0.872$ $r_s=0.872$ con $p<0.001$ $p < 0.001$ $p<0.001$. En el Punto 2 (PUN11156), el coeficiente fue $r_s=0.884$ $r_s = 0.884$ $r_s=0.884$ con $p<0.001$ $p < 0.001$ $p<0.001$. Finalmente, en el Punto 3 (PUN11155) se alcanzó $r_s=0.874$ $r_s = 0.874$ $r_s=0.874$ también con $p<0.001$ $p < 0.001$ $p<0.001$.



Estos valores, todos superiores a 0.87, se interpretan como una correlación positiva muy fuerte, lo que significa que cuando las coordenadas obtenidas con GPS presentan un aumento o variación, las coordenadas medidas con PPP siguen la misma tendencia de manera casi idéntica. La significancia estadística confirma que esta relación no es producto del azar, sino que responde a un patrón consistente en los datos analizados. Con base en estos hallazgos, se rechaza la hipótesis nula que planteaba la inexistencia de correlación y se acepta la hipótesis alterna, validando así la hipótesis específica 3. El análisis confirma que el método PPP es altamente confiable en la estimación de coordenadas geodésicas, ya que sus resultados se encuentran estrechamente vinculados a los obtenidos mediante GPS diferencial. Finalmente, la evidencia estadística respalda que la aplicación del PPP guarda una relación sólida y significativa con de las coordenadas en Juliaca. Esto no solo valida la hipótesis planteada, sino que también demuestra la capacidad del PPP para ser utilizado como un método alternativo de alta precisión en levantamientos geodésicos y aplicaciones topográficas en el altiplano peruano.

4.2. DISCUSIÓN

Recordemos que Yakusak et al. (2025) hallaron una relación casi perfecta ($R^2=0.999999988R^2 = 0.999999988R^2=0.999999988$) entre DGPS y estación total, concluyendo que ambos métodos son equivalentes para levantamientos catastrales. Este hallazgo se asemeja a lo encontrado en Juliaca, donde PPP y GPS mostraron una correlación muy fuerte, reafirmando que los métodos satelitales modernos pueden sustituir equipos tradicionales en tareas geodésicas. Mahato et al. (2025) resaltaron diferencias de precisión entre estaciones IGS al aplicar PPP, pero también confirmaron que este método mejora la confiabilidad en estudios geodésicos globales. Nuestros



resultados coinciden al mostrar que el PPP depende de la calidad y tiempo de observación, pero al estabilizarse, alcanza un desempeño comparable al GPS diferencial.

Conforme Zhong et al. (2025) y Zhang et al. (2025) demostraron que dispositivos inteligentes de bajo costo pueden lograr mejoras del 40–45% en precisión horizontal y 3D mediante PPP en tiempo real. Esto complementa nuestra evidencia al sugerir que incluso en contextos locales como Juliaca, el PPP optimiza significativamente con tiempos de observación adecuados. Ji et al. (2025) y Ayso & Kahveci (2025) mostraron que combinar correcciones y considerar efectos relativistas incrementa la confiabilidad del PPP. Esto es consistente con lo observado en Juliaca, donde la estabilidad del PPP fue evidente en la fase final de las observaciones.

Finalmente, Ma et al. (2025) y Haji et al. (2025) evidencian que la integración de variables meteorológicas y técnicas de aprendizaje automático mejora el rendimiento del PPP en condiciones extremas. En nuestro caso, aunque no se consideraron esas variables, los datos sugieren que factores atmosféricos podrían explicar pequeñas variaciones observadas en los primeros minutos de observación. Para lo cual se tiene la siguiente tabla.

Tabla 6*Análisis de antecedentes en relación con las variables*

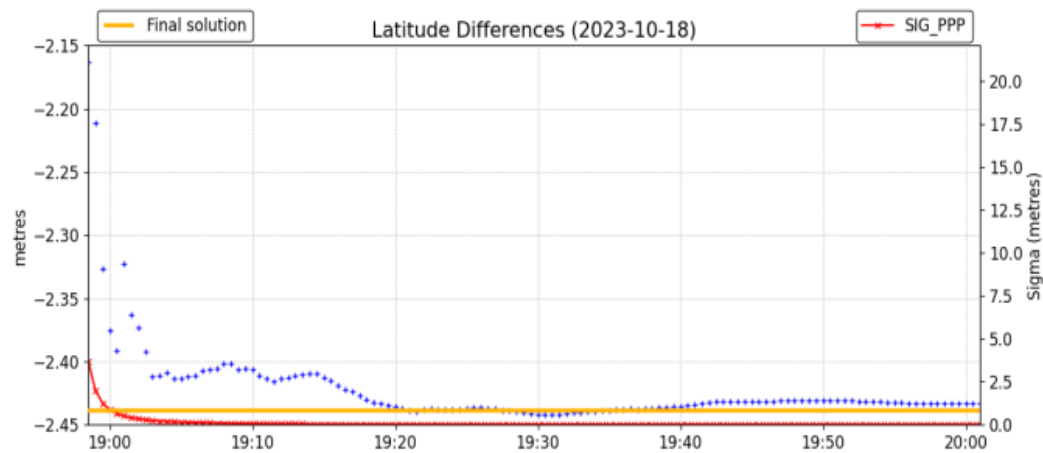
Autor / Año	Método / Contexto	Resultados principales	Relación con Juliaca
Yakusak et al. (2025)	DGPS vs Estación Total	$R^2 \approx 1.0$ (alta exactitud)	Confirma que métodos satelitales son equivalentes a técnicas clásicas
Mahato et al. (2025)	PPP en 18 estaciones IGS	Diferencias entre estaciones, confiabilidad global	Refuerza que PPP depende de calidad/tiempo de observación
Zhong & Zhang (2025)	PPP en dispositivos IoT	Mejora 40–45% en precisión	Similar al caso Juliaca: PPP mejora coordenadas con más observación
Ji et al. (2025)	PPP multi-servicio	Aumento de disponibilidad al 99%, menor convergencia	Complementa: mayor tiempo de observación = menor error
Ayso & Kahveci (2025)	Efectos relativistas en GNSS	Correcciones mejoran precisión	Explica pequeñas variaciones en los datos de Juliaca
Ma et al. (2025)	PPP + datos meteorológicos	Reducción del tiempo de convergencia en 43%	Sugiere que clima puede influir en estabilidad del PPP
Haji et al. (2025)	PPP + ML para troposfera	Reducción de error 3D en 8–33%	Relevante para escenarios de alta variabilidad atmosférica

Nota: En conjunto, la literatura reciente y los datos locales en Juliaca coinciden en que el PPP es un método confiable y robusto para obtener coordenadas geodésicas de alta precisión.

La evidencia empírica confirma la hipótesis específica y aporta al debate internacional sobre la capacidad del PPP de reemplazar o complementar métodos tradicionales y GPS diferencial en aplicaciones de planificación urbana, monitoreo ambiental y estudios geodésicos de precisión. Las diferencias de PPP en longitud latitud y altura se tiene.

Figura 6

Diferencia de procesos de latitud PPP



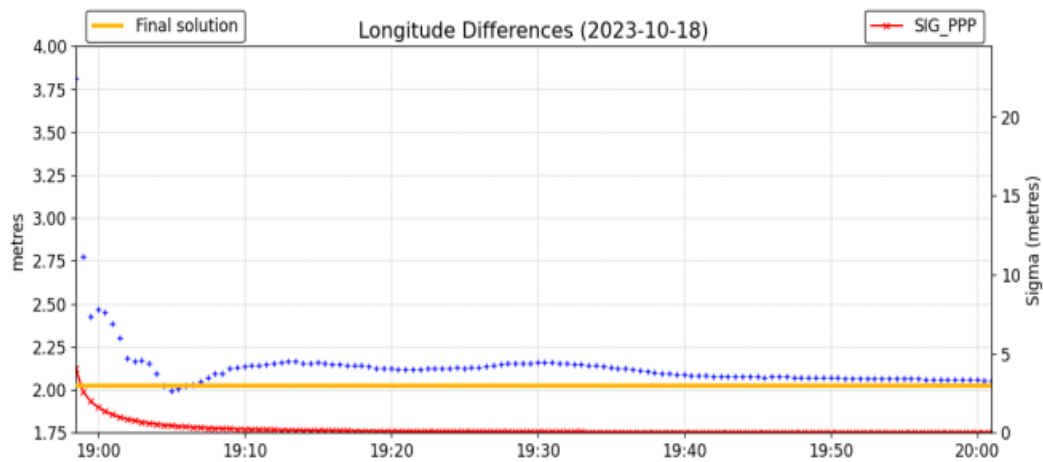
Nota: en la Figura se muestra el comportamiento de las diferencias en la latitud obtenidas mediante el método PPP a lo largo de un intervalo de observación. Al inicio, entre las 19:00 y 19:10, se observa una mayor dispersión de los valores, lo cual refleja la fase de convergencia inicial del modelo, donde las correcciones satelitales y atmosféricas aún no se han estabilizado.

A medida que transcurre el tiempo, especialmente después de las 19:15 h, la dispersión disminuye notablemente y los valores tienden a concentrarse alrededor de una latitud estable cercana a -2.44 metros. Este comportamiento indica que el método va corrigiendo progresivamente los errores iniciales y reduciendo la incertidumbre en la estimación. La curva sigma, representada en rojo, confirma este proceso al descender rápidamente durante los primeros minutos y mantenerse en valores bajos hacia el final de la observación.

Entre las 19:30 y 20:00 h, la solución se mantiene prácticamente estable, con variaciones mínimas, lo que evidencia la consolidación de la convergencia. En consecuencia, se demuestra que el tiempo de observación es un factor determinante para alcanzar mayor exactitud en la estimación de coordenadas con PPP.

Figura 7

Diferencia de procesos de longitud PPP



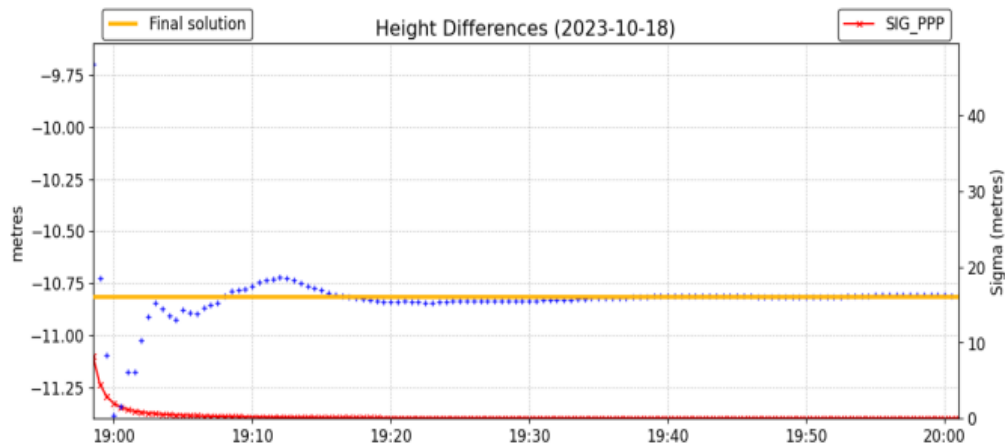
Nota: En la Figura representa la evolución de las diferencias en la longitud obtenidas mediante el método PPP durante un intervalo de observación.

Al inicio, alrededor de las 19:00 h, se aprecia una mayor dispersión de los valores, con diferencias cercanas a 2.5 metros, lo que corresponde a la fase de convergencia inicial en la que el modelo aún ajusta los parámetros satelitales y atmosféricos. Conforme transcurren los minutos, especialmente después de las 19:10 h, las diferencias disminuyen gradualmente y tienden a estabilizarse alrededor de los 2.0 metros, mostrando que el proceso de convergencia del PPP se ha consolidado.

La curva sigma en color rojo confirma esta tendencia al descender de manera abrupta en los primeros minutos y mantenerse en niveles bajos hacia el final de la sesión, lo que indica un incremento en la precisión de la solución. Entre las 19:30 y 20:00 h, las variaciones son mínimas, reflejando que el método ha alcanzado una estabilidad confiable en la determinación de la longitud. En síntesis, el gráfico evidencia que el tiempo de observación es determinante para la reducción del error y la mejora de las coordenadas obtenidas por PPP.

Figura 8

Diferencia de procesos de altura PPP



Nota: en la Figura se muestra la evolución de las diferencias en la componente vertical (altura) obtenidas mediante el método PPP durante un intervalo de una hora.

En los primeros minutos, alrededor de las 19:00 h, se aprecia una mayor dispersión de los valores, con diferencias que oscilan en torno a -11.2 metros, lo cual refleja la fase de convergencia inicial del modelo. Posteriormente, entre las 19:10 y 19:20 h, los valores comienzan a estabilizarse progresivamente, reduciendo su variabilidad y acercándose a un rango más constante.

A partir de las 19:25 h, la solución se mantiene prácticamente estable, con valores próximos a -11.0 metros, lo que evidencia que el PPP alcanza su fase de convergencia en la estimación de la altura. La curva sigma en color rojo refuerza esta interpretación, pues muestra una caída abrupta en los primeros minutos y luego permanece en niveles bajos, lo que indica una reducción significativa de la incertidumbre. En conclusión, el gráfico evidencia que la componente vertical requiere un tiempo de observación mayor para estabilizarse, pero al lograrlo, proporciona resultados consistentes y confiables, confirmando la importancia del tiempo de observación para la precisión en PPP.



V. CONCLUSIONES

- Se determinó que el método de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP) presenta una correlación positiva muy fuerte con las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial en la ciudad de Juliaca, demostrando alta concordancia y fiabilidad técnica (coeficiente de Spearman mayor a 0.987 con p valor menor a 0.001). Los resultados evidencian que el mayor tiempo de observación mejora la estabilidad y exactitud de las coordenadas, confirmando al PPP como una alternativa precisa y eficiente, ideal para aplicaciones topográficas y geodésicas sin depender de estaciones base. Su implementación representa una opción viable y operativamente rentable para la ingeniería en la región altiplánica.
- Comparar la diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en Juliaca. El análisis comparativo (correlación) evidenció que las coordenadas obtenidas mediante PPP presentan diferencias mínimas respecto al GPS diferencial refleja una alta concordancia entre ambos métodos (Spearman=0.87). Si bien el PPP requiere un breve periodo de convergencia, posteriormente alcanza niveles de precisión equivalentes o superiores al GPS diferencial, consolidándose como una opción confiable para aplicaciones geodésicas en Juliaca.
- Al analizar el comportamiento del PPP al variar el tiempo de observación. Se comprobó que muestra una fase inicial con ligeras fluctuaciones, seguida de una convergencia estable, a partir de las 2 horas de observación, lo que evidencia una mejora progresiva en la precisión de las coordenadas geodésicas conforme aumenta el tiempo de registro. Los tres puntos evaluados (PUN11155, PUN11156 y PUN11157) reflejan un patrón similar y constante, confirmando que esta tendencia



es propia del método y no de factores locales. Los errores finales se mantienen en valores mínimos, alcanzando exactitudes centimétricas, lo que valida que a mayor tiempo de observación reduce significativamente el error en las coordenadas. Se consolida el PPP como una técnica confiable y precisa para estudios geodésicos y topográficos en la ciudad de Juliaca.

- Evaluar la correlación entre el método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca. Los resultados estadísticos confirmaron una correlación positiva muy fuerte ($\rho > 0.87$, $p < 0.001$) entre el PPP y el GPS diferencial, lo que demuestra que el PPP reproduce las coordenadas geodésicas con alta precisión y consistencia. Esto valida al PPP como un método preciso, seguro y científicamente confiable para la determinación geodésica en la ciudad de Juliaca.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda fomentar el uso del método PPP en proyectos de levantamiento geodésico y topográfico en la ciudad de Juliaca, dado que sus resultados muestran una correlación positiva muy fuerte con las coordenadas GPS. El PPP constituye una alternativa confiable para profesionales e instituciones que requieren alta precisión. Su implementación puede optimizar costos al no depender de estaciones base locales. Asimismo, permitirá fortalecer la planificación territorial y el control geoespacial en la región.
- Dado que el análisis comparativo evidenció diferencias mínimas entre GPS diferencial y PPP, se sugiere considerar al PPP como complemento al GPS en levantamientos de precisión. En especial, su uso es recomendable cuando se requieren resultados más robustos a mediano y largo plazo. Las instituciones locales deberían capacitar a técnicos y estudiantes en la aplicación de este método. Así, se amplían las alternativas tecnológicas disponibles para proyectos catastrales y de infraestructura.
- Dado que el tiempo de observación incide directamente en la disminución del error en el método PPP, se recomienda adoptar sesiones de observación iguales o superiores a 2 horas en trabajos geodésicos que demanden alta confiabilidad. Este intervalo garantiza la convergencia del sistema y permite obtener coordenadas con precisión centimétrica. Asimismo, es esencial mantener condiciones atmosféricas estables y emplear modelos actualizados de órbitas y relojes satelitales para optimizar la exactitud del procesamiento. Bajo estas condiciones, el PPP se consolida como una técnica precisa, eficiente y confiable para estudios topográficos y geodésicos de alta precisión en la ciudad de Juliaca.



- A partir de la evidencia estadística que confirmó la fuerte correlación entre PPP y GPS, se recomienda impulsar proyectos de investigación y validación continua en el altiplano peruano. Ello permitirá analizar factores como la influencia atmosférica y la disponibilidad satelital en de los resultados. De igual manera, se sugiere integrar nuevas tecnologías como el PPP en tiempo real y soluciones multi-GNSS. Estas iniciativas consolidarán el desarrollo de metodologías modernas en geodesia y topografía.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayso, E., & Kahveci, M. (2025). Impacts of relativistic effects on GNSS signal path and precise point positioning. *Measurement Science and Technology*, 36(6), 066318. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/adddd3>
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L., & Zhu, J. (2015). Precise point positioning with quad-constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo. *Advances in Space Research*, 56(1), 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.04.001>
- Elsheikh, M., Iqbal, U., Noureldin, A., & Korenberg, M. (2023). The Implementation of Precise Point Positioning (PPP): A Comprehensive Review. *Sensors*, 23(21), 8874. <https://doi.org/10.3390/s23218874>
- Erol, S. (2020). A Comparative Study for Performance Analysis of Kinematic Multi-Constellation GNSS PPP in Dynamic Environment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(7), 514. <https://doi.org/10.3390/jmse8070514>
- Grayson, B., Penna, N. T., Mills, J. P., & Grant, D. S. (2018). GPS precise point positioning for UAV photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 33(164), 427–447. <https://doi.org/10.1111/phor.12259>
- Guo, F., Li, X., Zhang, X., & Wang, J. (2017). Assessment of precise orbit and clock products for Galileo, BeiDou, and QZSS from IGS Multi-GNSS Experiment (MGEX). *GPS Solutions*, 21(1), 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0523-3>
- Haji-Aghajany, S., Rohm, W., Hadas, T., & Bosy, J. (2025). Machine learning-based tropospheric delay prediction for real-time precise point positioning under extreme weather conditions. *GPS Solutions*, 29(1), 36. <https://doi.org/10.1007/s10291-024-01782-9>
- Hou, Z., & Zhou, F. (2023). Assessing the Performance of Precise Point Positioning (PPP) with the Fully Serviceable Multi-GNSS Constellations: GPS, BDS-3, and Galileo. *Remote Sensing*, 15(3), 807. <https://doi.org/10.3390/rs15030807>
- Ji, R., Wang, M., Liu, C., Zhang, Z., Chen, L., Zhou, Y., & Sun, S. (2025). A



- combination method for correcting satellite-based precise point positioning services on the user side. *Measurement Science and Technology*, 36(7), 076308. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ade275>
- Kazmierski, K., Hadas, T., & Sośnica, K. (2018). Weighting of Multi-GNSS Observations in Real-Time Precise Point Positioning. *Remote Sensing*, 10(1), 84. <https://doi.org/10.3390/rs10010084>
- Li, H., & Li, X. (2025). Fast estimation and timely service of the GNSS satellite clock errors for support of 1 Hz real-time precise point positioning applications. *Journal of Geodesy*, 99(7), 58. <https://doi.org/10.1007/s00190-025-01985-z>
- Li, X., Huang, J., Li, X., Shen, Z., Han, J., Li, L., & Wang, B. (2022). Review of PPP-RTK: achievements, challenges, and opportunities. *Satellite Navigation*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s43020-022-00089-9>
- Li, X., & Pan, L. (2021). Precise Point Positioning with Almost Fully Deployed BDS-3, BDS-2, GPS, GLONASS, Galileo and QZSS Using Precise Products from Different Analysis Centers. *Remote Sensing*, 13(19), 3905. <https://doi.org/10.3390/rs13193905>
- Ma, X., Wang, X., Yao, Y., Zhu, H., Zhang, B., Chu, R., Zhang, Q., & Feng, Y. (2025). Enhanced multi-GNSS precise point positioning based on ERA5 precipitation water vapor information. *Journal of Geodesy*, 99(3), 24. <https://doi.org/10.1007/s00190-025-01948-4>
- Mahato, S., Subramanian, A. S., & Dutta, D. (2025). GPS Precise Point Positioning Technique's Usability for Improving Geodesy Applications. *National Academy Science Letters*. <https://doi.org/10.1007/s40009-025-01692-5>
- Montenbruck, O., Hauschild, A., Steigenberger, P., Hugentobler, U., Teunissen, P., & Nakamura, S. (2013). Initial assessment of the COMPASS/BeiDou-2 regional navigation satellite system. *GPS Solutions*, 17(2), 211–222. <https://doi.org/10.1007/s10291-012-0272-x>
- Pan, Z., Chai, H., & Kong, Y. (2017). Integrating multi-GNSS to improve the performance of precise point positioning. *Advances in Space Research*, 60(12),



- 2596–2606. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.01.014>
- Paziewski, J., & Wielgosz, P. (2014). Assessment of GPS + Galileo and multi-frequency Galileo single-epoch precise positioning with network corrections. *GPS Solutions*, 18(4), 571–579. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0355-3>
- Rabbou, M. A., & El-Rabbany, A. (2015). Performance Analysis of GPS / GALILEO PPP Model for Static and Kinematic Applications. *GEOMATICA*, 69(1), 75–81. <https://doi.org/10.5623/cig2015-105>
- Rost, C., & Wanninger, L. (2009). Carrier phase multipath mitigation based on GNSS signal quality measurements. *Journal of Applied Geodesy*, 3(2). <https://doi.org/10.1515/JAG.2009.009>
- Tiberius, C., Pany, T., Eissfeller, B., Joosten, P., & Verhagen, S. (2002). 0.99999999 confidence ambiguity resolution with GPS and Galileo. *GPS Solutions*, 6(1–2), 96–99. <https://doi.org/10.1007/s10291-002-0022-6>
- Tu, R., Ge, M., Zhang, H., & Huang, G. (2013). The realization and convergence analysis of combined PPP based on raw observation. *Advances in Space Research*, 52(1), 211–221. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.03.005>
- Wang, L., Li, Z., Ge, M., Neitzel, F., Wang, Z., & Yuan, H. (2018). Validation and Assessment of Multi-GNSS Real-Time Precise Point Positioning in Simulated Kinematic Mode Using IGS Real-Time Service. *Remote Sensing*, 10(2), 337. <https://doi.org/10.3390/rs10020337>
- Yakusak Julius, D., Ayuba, P., & Hayatu, B. (2025). Comparatives assessments of positional accuracy between differential global positioning system (DGPS) and total station survey instruments for cadastral surveying in urban and regional planning. *International Journal of Nature and Science Advance Research*. <https://doi.org/10.70382/mejnsar.v8i9.037>
- Zhang, K., Geng, J., Li, G., & Guo, J. (2025). An integer ambiguity clustering estimator for real-time precise point positioning. *Geo-Spatial Information Science*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/10095020.2025.2530061>
- Zhang, Q., Ye, S., Xia, J., Zhang, P., Chen, D., & Jiang, P. (2025). Investigation of the



- Application of Measured Meteorological Observations in Real-Time Precise Point Positioning. *Remote Sensing*, 17(10), 1773. <https://doi.org/10.3390/rs17101773>
- Zheng, K., Zhang, X., Li, P., Li, X., Ge, M., Guo, F., Sang, J., & Schuh, H. (2019). Multipath extraction and mitigation for high-rate multi-GNSS precise point positioning. *Journal of Geodesy*, 93(10), 2037–2051. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01300-7>
- Zhong, H., Wang, L., Li, Z., Wang, N., Liu, B., Kan, J., & Wang, S. (2025). Quality Analysis of GNSS Observations and Real-Time Precise Point Positioning for Wearable Smart Devices: A Case Study of Honor Watch GS3. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 74, 1–14. <https://doi.org/10.1109/TIM.2025.3585209>
- Zinas, N., Parkins, A., & Ziebart, M. (2013). Improved network-based single-epoch ambiguity resolution using centralized GNSS network processing. *GPS Solutions*, 17(1), 17–27. <https://doi.org/10.1007/s10291-012-0256-x>
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B3), 5005–5017. <https://doi.org/10.1029/96JB03860>



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Métodos y Técnicas
¿Cuál es la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca?	Determinar la correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca	Existe una correlación entre los métodos de Posicionamiento Puntual Preciso y coordenadas geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global en la ciudad de Juliaca	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Tipo de investigación:
¿Existe una diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca?	Comparar la diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca	Existe una diferencia entre las coordenadas geodésicas obtenidas mediante GPS diferencial y PPP en la ciudad de Juliaca	Básica Aplicada
¿Cómo se comporta las coordenadas geodésicas al variar el tiempo de observación con el método PPP?	Analizar el comportamiento de las coordenadas geodésicas al variar el tiempo de observación con el método PPP.	A mayor tiempo de observación con el método PPP menor es el error en la determinación de coordenadas geodésicas en la ciudad de Juliaca	Nivel de Investigación: Correlacional
¿Existe una correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca?	Evaluar la correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca	Existe una correlación entre la aplicación del método PPP y las coordenadas geodésicas en Juliaca	Muestra: Ciudad de Juliaca
			Método de investigación: No experimental
			Enfoque de Investigación: Cuantitativo



Anexo 2. Datos obtenidos mediante el método PPP y DGPS

https://drive.google.com/file/d/1Qx4DjyIprag0b0jRo4kwclHi_WSMD0Hh/view?usp=sharing

Anexo 3. Certificados de operatividad de receptor GNSS



CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD CERTIFICATE OF OPERATION

DATOS DEL EQUIPO

Equipo	: RECEPTOR GNSS
Fabricante	: SOUTH
Modelo	: GALAXY G1
N° Serie	: S82554117134095

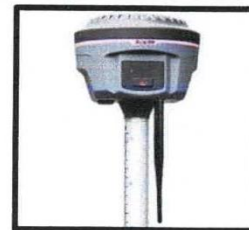
DATOS DEL CLIENTE

Persona Natural o Jurídica	:	JASMANI YOVANI FLORES TEVES
Dirección	:	Jr. Los Incas 455 - Puno
RUC / DNI	:	45746910

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Nro : 231-07/2023
Fecha : 1/07/2023

Imagen del Receptor



INGENIEROS COIPSA ICT E.I.R.L. :

Certifica que el equipo topografico arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estándares internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en Tiempo real los equipos, estos se encuentran dentro de las tolerancias del fabricante.



PRESIÓN LEVANTAMIENTO GPS Post Proceso (Estatic & Fast Estatic) Y Cinematico Tiempo Real (RTK)

HORIZONTAL	±5 mm + 0.5 ppm RMS
VERTICAL	±5 mm + 1 ppm RMS

HORIZONTAL	10 mm + 1 ppm RMS
VERTICAL	20 mm + 1 ppm RMS

FECHA DE MANTENIMIENTO

Fecha	Mantenimiento	Prueba de Operatividad	Fecha de Vencimiento	Observación
1/07/2023	x	x	1/01/2024	% 100 OPERATIVO

Responsable Técnico	GERENTE GENERAL
Julio Cesar Colque Sulca	INGENIEROS COIPSA ICT E.I.R.L.
	SIGNply Signed  Ing° Julio Cesar Colque Sulca Representante Legal CIP 192245

ORD. N° 231-07/23

JR. GAMALIEL CHURATA N° 351 - PUNO - PERU

RPC 942352221 - Jрмантеves@ingenieroscoipsa.pe



CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD
CERTIFICATE OF OPERATION

Mant. General Reparación **Operatividad** Garantía Nuevo

DATOS DEL EQUIPO

DATOS DEL CLIENTE

Equipo : RECEPTOR GNSS	Persona Natural o Jurídica : JASMANI YOVANI FLORES TEVES
Fabricante : CHCNAV	Dirección : Jr. Los Incas 455 - Puno
Modelo : I50	RUC / DNI : 45746910
N° Serie : 3382783	

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Nro : 234-07/2023 Imagen del Receptor
Fecha : 18/07/2023



INGENIEROS COIPSA ICT E.I.R.L. :

Certifica que el equipo topografico arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estandares internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en Tiempo real los equipos, estos se encuentran dentro de las tolerancias del fabricante.

PRECISION LEVANTAMIENTO GPS Post Proceso (Estatic & Fast Estatic) Y Cinematico Tiempo Real (RTK)

HORIZONTAL	±3 mm + 0.4 ppm RMS
VERTICAL	±5 mm + 0.5 ppm RMS

HORIZONTAL	8 mm + 1 ppm RMS
VERTICAL	15 mm + 1 ppm RMS

FECHA DE MANTENIMIENTO

Fecha	Mantenimiento	Prueba de Operatividad	Fecha de Vencimiento	Observación
18/07/2023	x	x	18/01/2024	% 100 OPERATIVO

Responsable Técnico Julio C. Colque Sulca 	GERENTE GENERAL INGENIEROS COIPSA ICT E.I.R.L. SIGNply Signed  Ing. Julio Cesar Colque Sulca CIP 195571 
--	--

ORD. N° 234-07/23



INGENIEROS COIPSA ICT E.I.R.L.

Topografía total

SERVICIOS-VENTA-CALIBRACION-REPARACION

- SERVICIOS TOPOGRAFICOS
- CARRETERAS - CANALES
- TUBERIAS - MONTAJE
- REPRESAS - PUENTES - LINEAS
- MINERIA SUPERFICIAL
- MINERIA SUBTERRANEA
- PUNTOS GEODESICOS (fast static)

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD
CERTIFICATE OF OPERATION

Mant. General

Reparación

Operatividad

Garantía

Nuevo

DATOS DEL EQUIPO

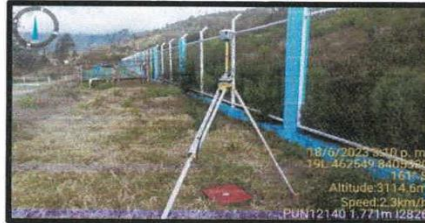
DATOS DEL CLIENTE

Equipo : RECEPTOR GNSS	Persona Natural o Jurídica : JASMANI YOVANI FLORES TEVES
Fabricante : CHCNAV	
Modelo : I50	Dirección : Jr. Los Incas 455 - Puno
N° Serie : 3382826	RUC / DNI : 45746910

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Nro : 225-06/2023
Fecha : 18/06/2023

Imagen del Receptor



INGENIEROS COIPSA ICT E.I.R.L. :

Certifica que el equipo topografico arriba descrito cumple con las especificaciones técnicas de la fábrica y los estándares internacionales establecidos.

En las pruebas efectuadas en Tiempo real los equipos, estos se encuentran dentro de las tolerancias del fabricante.

PRESICIÓN LEVANTAMIENTO GPS Post Proceso (Estatic & Fast Estatic) Y Cinematico Tiempo Real (RTK)

HORIZONTAL	±3 mm + 0.4 ppm RMS
VERTICAL	±5 mm + 0.5 ppm RMS

HORIZONTAL	8 mm + 1 ppm RMS
VERTICAL	15 mm + 1 ppm RMS

FECHA DE MANTENIMIENTO

Fecha	Mantenimiento	Prueba de Operatividad	Fecha de Vencimiento	Observación
18/06/2023	x	x	18/12/2023	% 100 OPERATIVO

Responsable Técnico J. YOVANI FLORES TEVES	GERENTE GENERAL INGENIEROS COIPSA ICT E.I.R.L.
	  Ing° Julio Cesar Colque Sullca Representante Legal CIP 192245

ORD. N° 225-06/23



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jhon Antony Lima Vilca
identificado con DNI 71790785 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Topográfica y Agrimensura

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Correlación Entre los Metodos de Posicionamiento Puntual
Preciso y Coordenadas Geodesicas del Sistema de Posicionamiento
Global en la Ciudad de Juliaca. "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de Noviembre del 20 25

FIRMA (obligatoria)



Huella



**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo Jhon Antony Lima Vilca
identificado con DNI 71790785 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Topográfica y Agrimensura

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Correlación entre los Metodos de Posicionamiento Puntual
Preciso y Coordenadas Geodesicas del Sistema de Posicionamiento
Global en la Ciudad de Juliaca ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de Noviembre del 20 25



FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Romny Oliver Manoni Huaman
identificado con DNI 72003826 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Topográfica y Agrominera.

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Correlación entre los métodos de posicionamiento puntual preciso y coordenadas
Geodesicas del Sistema de posicionamiento Global en la Ciudad de
Juliaca. "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de noviembre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Romny Oliver Morani Huaman,
identificado con DNI 72003826 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Topográfica y Agrimensura.

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Correlación entre los métodos de posicionamiento Puntual Preciso y
Coordenadas Geodésicas del Sistema de Posicionamiento Global
en la Ciudad de Juliaca”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de noviembre del 20 25

FIRMA (obligatoria)



Huella