

Trabajo Práctico N°1

Cuadrante astronómico

Observatorio “Héctor Ottonello”
Colegio Nacional de Buenos Aires

2024

Resumen

El presente trabajo práctico pretende que, a partir de la construcción y empleo de un instrumento astronómico sencillo, los estudiantes sean capaces de determinar la latitud del lugar de observación y relacionar los conceptos de altura, declinación, latitud y meridiano del lugar.

1. Cuadrante

1.1. Materiales necesarios

- Plantilla impresa del apéndice A.
- Cartón, cartulina dura o similar: lo suficientemente rígido como para garantizar que el cuadrante resulte plano.
- 50 cm. de hilo negro delgado (preferentemente de fibra sintética en lugar de algodón).
- Un pequeño peso (tuerca o similar).
- Un sorbete.
- Cinta adhesiva y pegamento.

1.2. Construcción

1. Pegar la plantilla sobre el cartón o cartulina, y recortarla por el contorno.
2. Agujerear el pequeño círculo cercano al ángulo del cuadrante, pasar por él el hilo, y hacer un nudo en el extremo que queda del lado no impreso del cuadrante, de manera que el hilo no pueda volver a pasar por el agujero realizado, pero sea libre de girar a través de él.

3. Atar un pequeño peso del otro extremo del hilo, de forma que el radio del mismo no resulte mucho mayor al radio del cuadrante.
4. Pegar con cinta adhesiva el sorbete al borde superior del cuadrante.

El resultado debe parecerse al que se aprecia en la figura. 1.

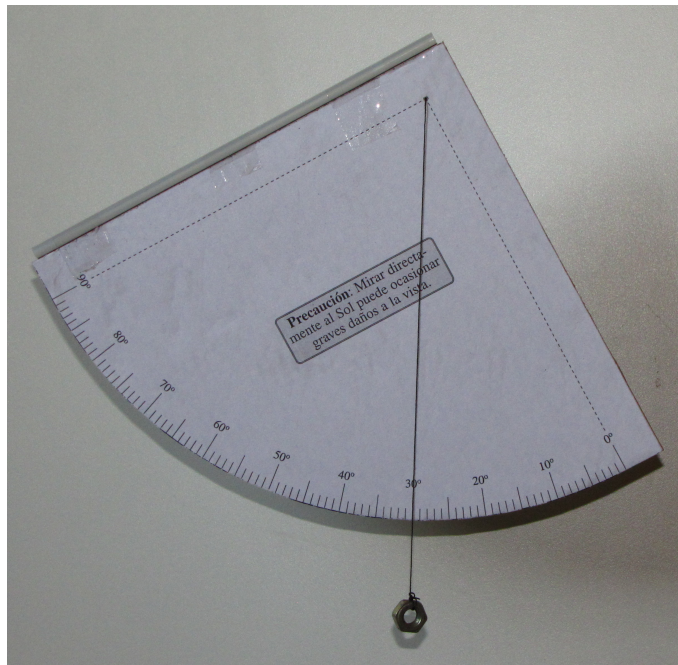


Figura 1: Cuadrante

1.3. Conocimiento del instrumental

El cuadrante se emplea principalmente en la medición de alturas. Para esto debe colocarse con su plano en la dirección vertical, lo cual puede verificarse con el hilo, que debe rozar el cuadrante, pero sin torcerse en su borde circular.

El observador debe mirar el punto de interés a través del sorbete, pudiendo entonces leerse el valor de su altura directamente en la escala del cuadrante, siendo indicado por el hilo.

Recomendamos que las mediciones sean realizadas por dos observadores: uno que apunta el cuadrante al objeto de interés, y otro que realiza la lectura angular sobre la escala. Por supuesto, deberán turnarse en su labor.

Previamente al empleo específicamente astronómico del cuadrante, es conveniente acostumbrarse a su uso durante el día, determinando alturas de puntos fácilmente observables,

como puntas de antenas, etc.

Mirar directamente al Sol puede ocasionar graves daños irreversibles a la vista, por lo que se deberá tener especial cuidado en no dirigir jamás la mirada en una dirección cercana a su posición en el cielo.

2. Observaciones

1. Determinar aproximadamente la dirección cardinal Norte–Sur en el lugar de observación. Puede utilizarse para esto una brújula, GPS, el mapa de nuestra ciudad, etc.
2. Elegir una o más estrellas cuyas declinaciones se conozcan, y que pasen cerca de la dirección Norte–Sur en el horario elegido por los observadores para realizar las mediciones.
3. Medir sus alturas cuando se encuentren en dicha dirección. Deberán obtenerse, al menos, 40 mediciones de altura, ya sean de la misma o de distintas estrellas¹.

¡Alumnos del 2014 usaron una aguja imantada sobre un corcho flotando en agua!

Todas las observaciones deberán realizarse en el Observatorio del Colegio. Cada grupo debe traer su propio cuadrante.

Al momento de realizar las observaciones se debe entregar por grupo 1 (una) hoja con el nombre de las personas que componen el grupo con el dibujo realizado a mano de 6 esferas celestes o planos sobre el meridiano del lugar describiendo las 6 posibilidades para el cálculo de la latitud (3 por cada hemisferio celeste en donde se encuentre la estrella). Es decir, se deben dibujar los ángulos de h_* (altura), δ_* (declinación) y φ (latitud) para cada una de las figuras esquemáticas, véanse las Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7. Debajo de cada esfera/plano del meridiano del lugar se debe deducir la ecuación correspondiente para el cálculo de la latitud.

¹Por ejemplo, podrán realizarse 40 mediciones de una misma estrella, o 14, 16 y 10 mediciones de tres estrellas distintas, etc.

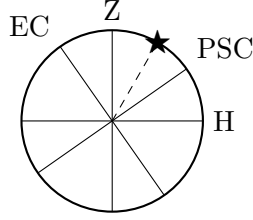


Figura 2: Hemisferio Sur: astro en dirección sur de $\delta < 0^\circ$.

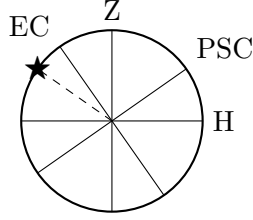


Figura 3: Hemisferio Sur: astro en dirección norte de $\delta > 0^\circ$.

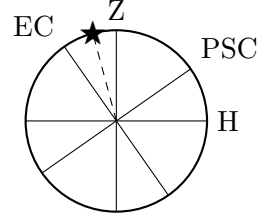


Figura 4: Hemisferio Sur: astro en dirección norte de $\delta < 0^\circ$.

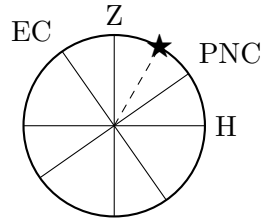


Figura 5: Hemisferio Norte: astro en dirección norte de $\delta > 0^\circ$.

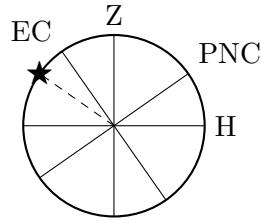


Figura 6: Hemisferio Norte: astro en dirección sur de $\delta < 0^\circ$.

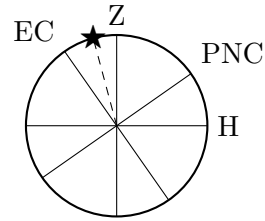


Figura 7: Hemisferio Norte: astro en dirección sur de $\delta > 0^\circ$.

3. Entrega parcial

Se realizará una entrega parcial a través del *Campus* del Colegio. La misma permite a los docentes un seguimiento eficaz de la correcta realización del trabajo por parte de los alumnos.

La fecha límite es el **1 de junio** y deberá contener:

- Las 40 mediciones descriptas en la sección 2.
- El valor promedio de la latitud y su incerteza absoluta.

En el *Campus* se encuentra una hoja de cálculo de *Excel*, que deberá ser completada con los datos requeridos y renombrada con los nombres de los miembros del grupo (por ejemplo, *TP-1-Jean_Paul_Louys_Sansó_y_Gonzalo_Daniel_Ciaffone.xls*).

Los valores de altura, declinación y latitud deben estar indicados en grados (por ejemplo, $-34,55^\circ$). NO entregar en grados, minutos y segundos ($3430'20''$). Las fórmulas utilizadas tienen que estar programadas en la planilla que se entrega para poder verificar la correcta utilización de las fórmulas. Recordar que la latitud en el hemisferio sur es negativa.

4. Informe

Para la calificación de este trabajo práctico se deberá hacer entrega de un informe. El formato es libre pero el mismo debe contener tanto los procedimientos desarrollados como los conceptos básicos detrás de los mismos y sus fundamentos de forma ordenada, clara y concisa. **La máxima cantidad de hojas corresponde a 8 (ocho)** . Asimismo, debe mostrar un entendimiento de los temas aprendidos y aplicados como también una discusión y crítica en las conclusiones.

El informe deberá contener:

- a) Resumen en español resumiendo en un párrafo todo lo realizado.
- b) Abstract, es decir, resumen escrito en inglés. Algunos términos que pueden ser de utilidad: Latitude/Latitud; Zenith/Cenit; Right Ascension/Ascension recta; Declination/Declinación; Height/Altura; Celestial Pole/Polo Celeste; South Pole/Polo Sur; Hour Angle/Angulo horario; Nadir/Nadir; Quadrant/Cuadrante; Horizon/Horizonte; Observer's latitude/Latitud del observador; Local Meridian/Meridiano del lugar.
- c) Método y criterio de obtención de la dirección cardinal aproximada Norte-Sur.
- d) Método y criterio de elección de la o las estrellas observadas.
- e) La deducción de las fórmulas que relacionan la latitud del lugar con la declinación de una estrella y su altura en la culminación superior, *para todos los casos posibles* (distinto hemisferio terrestre, distintos valores de la declinación, etc.).
- f) El valor promedio obtenido para la latitud, y su incerteza absoluta.
- g) Un histograma con la distribución estadística de los valores de la latitud obtenidos por todos los grupos del curso. Para ello:
 - a) Los grupos deberán compartir entre sí sus valores promedios de la latitud.
 - b) Cada grupo dispondrá esa información en un gráfico que muestre la cantidad de valores obtenidos para la latitud por intervalo de $0,25^\circ$. con un análisis del mismo.

En el análisis sugerimos tener en cuenta las siguientes preguntas: ¿Es razonable la distribución obtenida? ¿Qué pueden decir de los valores extremos? ¿Y del valor central? ¿Dirían que todos los grupos trabajaron de la misma manera?

- h) Si la relación que vincula la altura de una estrella, su declinación y la latitud del lugar —deducida en el punto (c) y empleada en el trabajo práctico— es válida sólo en la culminación superior, que se da estrictamente en el meridiano del lugar, ¿por qué usar una dirección Norte–Sur aproximada no influye decisivamente en la estimación de la latitud? En otras palabras, ¿por qué la incerteza cometida en la determinación aproximada de la dirección del meridiano del lugar no se manifiesta o “propaga” con la misma magnitud en la determinación de la latitud?

Para responder a esta pregunta, sugerimos tener en cuenta las siguientes cuestiones: ¿De qué manera varía la altura de un astro a lo largo de su movimiento diurno? ¿Existe algún momento en el cual la variación de su altura sea máxima, y otro en el que sea mínima? En caso afirmativo, ¿en qué posiciones de su movimiento aparente diurno ocurren?

El informe deberá ser entregado en papel en el Observatorio y cargado en el campus con fecha límite el día **14 de junio**.

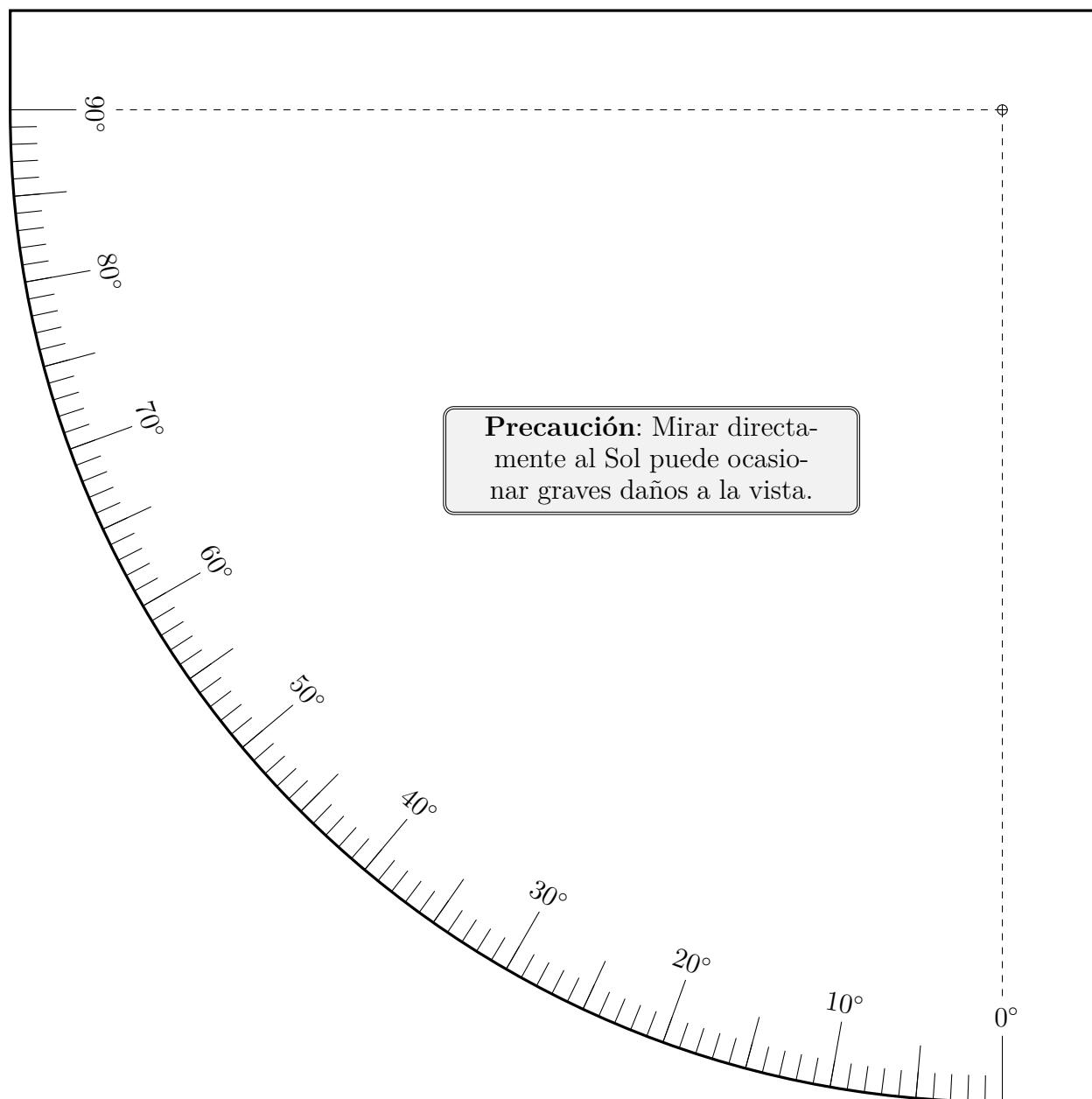
Y claro, con puntos extra si se entrega en L^AT_EX.

5. Defensa oral

El informe debe ser defendido por quienes integren el grupo, en un tiempo de máximo de 30 segundos por integrante (1 minuto en total), en donde se sugiere hacer énfasis:

- a) ¿Qué fue lo más complejo del trabajo?
- b) ¿Qué herramientas les permitieron obtener el valor de la latitud?
- c) ¿Qué le mejorarían al trabajo práctico?

A. Plantilla del cuadrante



Preguntas

- 11 Señale los puntos cardinales (puede usar el celular, una brújula o las estrellas —cuenta con un minuto).
- 12 Señale el meridiano del lugar.
- 13 Indique el sentido de la rotación del cielo.
- 14 Apunte el polo celeste elevado e indique cuál es.
- 15 ¿De qué extremo del sorbete se mira?
- 16 Indique la altura de la estrella elegida por el docente, y estime su valor.
- 22 Señale el plano donde las estrellas alcanzan su culminación superior.
- 23 ¿Cuál es la declinación del ecuador celeste?
- 24 ¿Qué punto de la esfera celeste tiene $h=90^\circ$?
- 25 ¿Cuántas mediciones como mínimo hay que tomar?
- 26 ¿Todas las mediciones deben ser de la misma estrella?
- 33 Marque el plano del horizonte.
- 34 ¿Cerca de qué plano deben estar las estrellas al momento de ser medidas?
- 35 ¿Cuál es la incerteza experimental del cuadrante del TP?
- 36 ¿Cómo se llaman los sistemas de coordenadas implicados en el TP?
- 44 ¿La altura de una estrella permanece constante a lo largo de la noche?
- 45 ¿La declinación de una estrella permanece constante a lo largo de la noche?
- 46 Señale el nadir.
- 55 Apunte al polo celeste no elevado. Indique cuál es.
- 56 ¿Cómo puede obtener la declinación de una estrella para la realización del TP?
- 66 En Buenos Aires el plano del ecuador celeste se encuentra, respecto al horizonte, (a) paralelo, (b) perpendicular, o (c) oblicuo?

¡Bonus Track!

Esta pregunta es opcional, a elección del alumno. Si se contesta correctamente, explicando el razonamiento, agrega 0,5 a la nota final del informe.

- 7 Señale la posición del punto vernal.

B. Incertezas y propagación de errores

La definición de la incerteza experimental de las mediciones del trabajo práctico es personal de cada grupo debido a los diversos factores que pueden afectar.

B.1. Incerteza de la altura

El instrumento utilizado (cuadrante astronómico) no puede distinguir ángulos mayores que 1° . Por lo tanto, se puede decir que la mínima unidad del instrumento es 1° y que por lo tanto, la incerteza de la altura es de $\pm 1^\circ$.

Sin embargo, el viento, el frío y las manos que tiemblan, la poca iluminación, el pendular del hilo pueden hacer que no sea factible asegurar que la medida se haya tomado dentro de $\pm 1^\circ$ y sea necesario tomar valores superiores.

Por el contrario, buenas condiciones climáticas, un equipo entrenado en usar el cuadrante y buena vista, pueden ayudar a que disminuya la incerteza, por ejemplo a $\pm 0,5^\circ$ ya que es posible apreciar cuando el hilo queda entre 2 graduaciones de la escala.

B.2. Incerteza de la latitud

La latitud se obtiene calculando su valor con una fórmula con una estructura como la siguiente:

$$\varphi = 90^\circ - h - \delta$$

Propagación de errores clásica

Por lo tanto, propagando errores para una función con sumas y restas:

$$|\epsilon\varphi| = |\epsilon 90^\circ| + |\epsilon h| + |\epsilon\delta|$$

Sin embargo, el error de 90° al ser una constante, es nulo. Además, el error de la declinación lo tomamos como nulo ya que consideramos el valor de catálogo sin error. En consiguiente:

$$|\epsilon\varphi| = |\epsilon h| \tag{1}$$

Sin embargo, dado que se toman 40 mediciones, es posible utilizar otras 2 posibilidades para definir la incerteza de la latitud a partir de herramientas estadísticas:

Máxima desviación

En este caso, se considera la incerteza de la latitud a la máxima diferencia respecto del valor promedio:

$$|\epsilon\varphi| = |\text{máx}(\bar{\varphi} - \varphi_i)| \tag{2}$$

En donde, $\bar{\varphi}$ corresponde al promedio de la latitud calculado y φ_i corresponde a los distintos valores de la latitud calculada para cada altura.

Desviación estándar (σ)

En esta última alternativa, se utiliza una herramienta estadística que es muy poderosa y es muy frecuente encontrarla en otros lugares pero que tiene una justificación teórica que no se va a explicar en esta guía. La desviación estándar se aplica a un conjunto de datos que tenga al menos 30 valores. Además, deben seguir una distribución normal (campana de Gauss), dicha distribución tiene la siguiente forma:

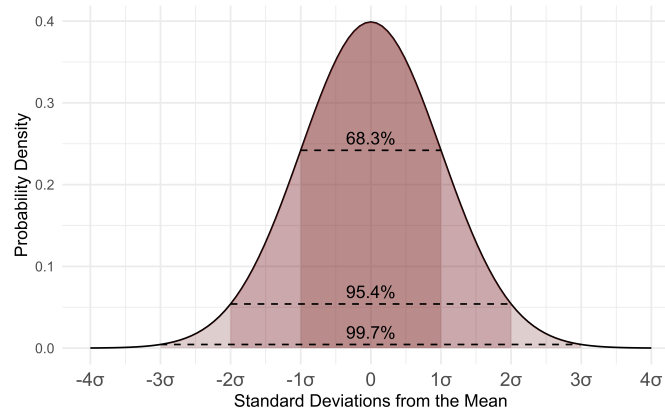


Figura 8: Distribución normal y desviación estándar tomado de <https://wikipedia.org>

La figura indica que hay valores que se agrupan con más probabilidad alrededor de un valor medio (punta de la campana) y que a medida que nos alejamos de ese valor medio decrece la probabilidad de encontrar valores.

El desvío estándar es una fórmula matemática para calcular que tan ancha es la campana. Considerando toda la muestra:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\varphi_i - \bar{\varphi})^2} \quad (3)$$

Un sugerencia para este trabajo práctico es considerar que la incerteza de la latitud corresponde a 2 veces el valor de σ . Esto se debe a que considerar 1 σ incluye el 68,3 % (lo mínimo aceptable) pero considerar 2 σ implica abarcar el 95,4 % de los valores (muy aceptable). Por último, puede ocurrir que decidan considerar 3 σ para incluir al 99,7 % de los valores (estricto).

Lo difícil de elegir...

En conclusiones, cada grupo debe definir y justificar que ecuación les parece más apropiada para la incerteza de la latitud promedio. Pueden utilizar la fórmula 1, la fórmula 2 o la fórmula 3.

Cifras significativas

Las cifras significativas hacen referencia a los números con los cuales expresamos nuestros resultados. Por ejemplo, consideremos que mediante las ecuaciones que dedujimos para este trabajo práctico obtenemos una incerteza de $\pm 3,23547^\circ$. Existe cierto consenso respecto de la cantidad de cifras a indicar para la incerteza, en general, se expresa solo con 1 (una) cifra. Esto se debe a que la incerteza es una *estimación*, es decir, no es un valor exacto sino que tenemos cierto grado de confianza en que los valores van a caer dentro del intervalo que definimos.

Por lo tanto, es posible ajustar ese valor de incerteza a un número más amable y manejable. La recomendación general es dejar una incerteza con solo una cifra y, además, en caso de redondear, hacerlo siempre hacia arriba, de tal manera que nos aseguramos de cubrir todos los valores posibles. En este caso, $\pm 4^\circ$.

Esta claro que estamos agrandando nuestro intervalo de error, pero es muchísimo más sencillo de manejar y manipular. Por otro lado, tener un rango de incerteza más grande indica que nuestras mediciones no fueron tan exactas y/o precisas, lo cual no es bueno. Por ese motivo, hay que preocuparse desde el principio en tratar de tener la menor incerteza posible, pero una vez que está definido el valor, la sugerencia general es que quede de una sola cifra.

Respecto al valor promedio de la latitud, supongamos que obtuvimos un valor de $-34,2458793^\circ$. Con nuestra incerteza de $\pm 4^\circ$, los decimales de la latitud quedan incluidos en nuestro intervalo de error. Por lo tanto, para dejar un valor acorde es aconsejable expresar la latitud como -34° , sin cifras decimales y redondeando según las reglas clásicas. En el caso particular de este trabajo práctico, y como la latitud del CNBA es $-34,6118^\circ$ (*Fuente: Google Maps*), es aceptable dejar el primer decimal. Esto se debe a que la latitud del CNBA está justo ‘en el medio’ para las posiciones decimales.

En conclusión, si tienen un error del orden de los ‘grados’ no es acorde dejar un valor promedio de latitud con muchas posiciones decimales. Las mismas salen de los cálculos pero no tienen valor físico, es decir, con el método utilizado pueden asegurar un significado hasta la primera posición decimal, más allá de eso, el método no es lo suficientemente exacto para proporcionarles más información.