

**SUBDIRECCIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA**

**UNIDAD DEL CENTRO SISMOLÓGICO NACIONAL**

**CATÁLOGO SÍSMICO DE HIPOCENTROS DE PERÚ**

**PERIODO: 1990 - 1995 y 2014 - 2015**

**Lima - Perú**

**Enero, 2021**

## **CATÁLOGO SÍSMICO DE HIPOCENTROS DE PERÚ**

### **PERSONAL RESPONSABLE:**

- Efraín Fernández Aguilar
- Edwin Choque Quispe
- Rolando Kcaña Machaca
- Geremias Moncca Anculle
- Juan Carlos Pacco Condori
- Ernesto Febres Bedia
- Gianfranco Taco Juárez
- Cristian Mamani Gutiérrez
- Gloria Marín Ruiz
- Lucía Ponce Medina

### **APOYO LOGÍSTICO:**

- Marisol Enriquez Huaman

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	4
3. METODOLOGÍA.....	5
4. PROGRAMAS PARA EL ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS .....	5
5. RESULTADOS.....	6
5.1. ANÁLISIS DE SISMOGRAMAS .....	6
5.2. REPROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS.....	7
5.3. USO DEL DIAGRAMA WADATI .....	11
6. RELACION GUTENBERG - RICHTER.....	12
7. BIBLIOGRAFIA .....	14

## 1. INTRODUCCIÓN

Un Catálogo Sísmico es la principal fuente de información sobre la sismicidad de Perú, viene a constituir el resultado del análisis de las formas de ondas, su procesamiento y clasificación de los resultados, para utilizarlos en estudios e investigación en sismología, en beneficio a la sociedad. Un catálogo sísmico es una base de datos valiosa para ingenieros e investigadores en sismología, y uno de los aspectos relevantes para el usuario es que el catálogo se revisa y mejora con el tiempo, por lo que no es estable, requiere de manera permanente ser actualizado con el propósito de mejorar la calidad.

El catálogo pasa por varias fases de revisión, una primera localización de parámetros sísmicos a cargo del personal del Centro Sismológico Nacional (CENSIS) del Instituto Geofísico del Perú (IGP), posteriormente se realiza una revisión en detalle de todo un año, en bloque, incorporando datos de estaciones remotas y recalculando localizaciones y magnitudes, con el objeto de obtener un catálogo de alta calidad y preciso, que cumpla con los patrones de sismicidad establecidos en superficie, profundidad, magnitud, residuales y otros; por ello que un catálogo está sujeto a que se purguen eventos, o se incorporen nuevos, se ajusten las magnitudes y mejore las localizaciones espaciales.

La elaboración del catálogo sísmico de Perú, forma parte del Plan Operativo Institucional del IGP y se realiza de manera permanente, debido a que es necesario disponer de una base de datos sísmicos calificados, considerando a todos los eventos que ocurren en el territorio peruano. Actualmente, se dispone de mayores herramientas para la realización de esta actividad, software especializado que se desarrolla en el Centro Sismológico Nacional, mayor número de estaciones sísmicas, disponibilidad de formas de ondas en tiempo real, lo que facilita la elaboración del catálogo con resultados de alta calidad, y de esta manera ejecutar y desarrollar proyectos relacionados al campo de la sismología.

La tectónica regional en la que se encuentra inmerso el país es muy compleja, con la interacción de la Placa de Nazca y Sudamericana, provocan grandes sismos con magnitudes superiores a M7.5. Los daños ocasionados por estos sismos en algunos casos son con severas consecuencias, principalmente aquellos que ocurren dentro de la corteza continental y si se localizan próximo a las ciudades muy pobladas.

Históricamente el Perú ha sufrido la ocurrencia de grandes terremotos que causaron daños materiales y pérdidas de vidas humanas. Si bien es cierto, que la ciencia actualmente no puede predecir un terremoto, tampoco la actividad sísmica se puede detener, entonces es de gran relevancia preparar a la población a fin de reducir el riesgo de pérdida de vidas humanas y daños en las estructuras ocasionadas por los terremotos de gran magnitud. Para ello es necesario contar con una base de datos sísmicos de buena calidad, que integre a los datos de todas las estaciones sísmicas de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geofísico del Perú.

## **2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

El objetivo específico es, mejorar la localización de los sismos que preliminarmente fueron procesados en el Centro Sismológico Nacional (CENCIS) del Instituto Geofísico del Perú (IGP), mediante evaluación de formas de ondas provenientes de la Red Sísmica Nacional del IGP, y reprocesamiento de datos. Objetivo que permite obtener un Catálogo Sísmico de Hipocentros e Intensidades Macrosísmicas de Perú, de calidad, para el periodo comprendido en los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015.

### 3. METODOLOGÍA

Para la elaboración del Catálogo Sísmico de Hipocentros de Perú, periodo 1990 a 1995 y 2014 - 2015, se ha establecido una serie de secuencias para realizar durante el año 2019, las más resaltantes se mencionan:

- a. Preparación de los archivos con fechas y horas para la adquisición de sismogramas del Banco de Datos, años 1990 a 1995 y 2014 - 2015.
- b. Distribución de los sismogramas adquiridos y además los datos sísmicos procesados inicialmente en el CENSIS, años 1990 a 1995 y 2014 - 2015.
- c. Análisis de Sismogramas con programas desarrollados en el CENSIS Analisis, Igp\_Picker, sin filtros, para la obtención de los tiempos de fases P y S, duración del registro del evento y polaridad de la onda P.
- d. Reprocesamiento de los datos sísmicos obtenidos del análisis de sismogramas y generación de la base de datos de hipocentros. No se utilizaron pesos en las lecturas, muy por el contrario se optó por retirar.
- e. Elaboración de las curvas Wadati, con el objeto de descartar la consistencia de los tiempos del arribo de las ondas P y S.
- f. Incorporación de los datos reprocesados de los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015 al Catálogo Sísmico de Hipocentros de Perú.

### 4. PROGRAMAS PARA EL ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los programas desarrollados en el CENSIS, para el procesamiento de datos y su utilidad de cada uno de ellos son los siguientes:

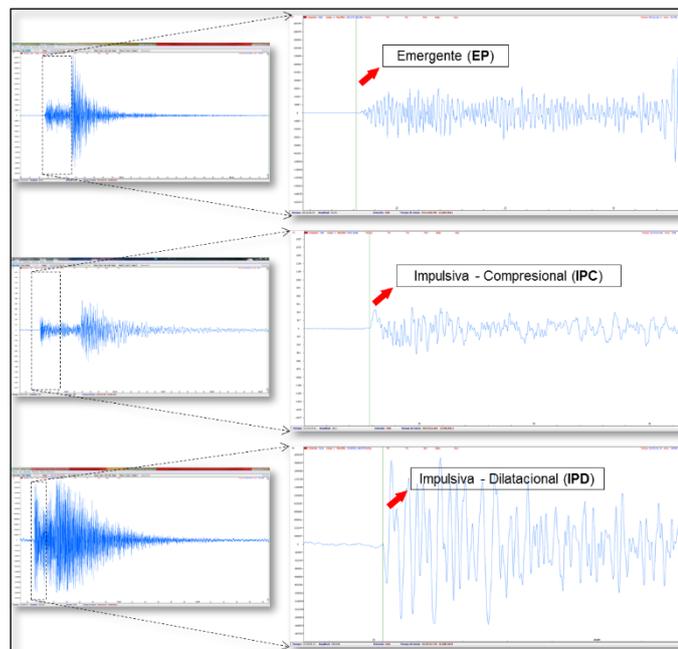
- IGP\_picker.exe : Analysis de formas de ondas.
- Analisis.exe : Analysis de formas de ondas.
- EpiWin.exe : Procesamiento de datos sísmicos.
- LOCREf.exe : Determinación de la distancia epicentral.
- Seldatw.exe : Selección de datos sísmicos por areas.
- ErrorCat.exe : Analysis de formas de ondas.
- Pcatw.exe : Obtención de los errores de localización.
- Rvelocidad.exe : Determinación de la razón de Velocidades.
- EditorT.exe : Editor de archivos de texto.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ANÁLISIS DE SISMOGRAMAS

El análisis de sismogramas nos permite conocer distintas características de los terremotos que se registran. Por ejemplo, la distancia al epicentro, para ello basta observar la diferencia de tiempo de la llegada de ondas P y S a la estación sísmica. Cuando se produce un terremoto las ondas sísmicas P (primarias) y S (secundarias) generadas, se propagan en todas las direcciones. Por sus características de propagación, estas ondas viajan a diferentes velocidades y dependiendo la distancia epicentral a la estación, requiere tener mucha precisión en la identificación de las ondas P y S.

Las formas de ondas fueron analizadas con los programas (IGP\_picker.exe y/o Análisis.exe) desarrollados por personal del Centro Sismológico Nacional, del Instituto Geofísico del Perú, facilitan tomar los tiempos de arribo de las ondas (P, S) y la duración del evento en el sismograma. Es necesario destacar que, para el análisis de sismogramas no se han utilizado filtros, Figura 1.



**Figura 1. Identificación de fases: Polaridad de la fase P: Emergente (EP), Impulsiva (IPC) y Dilatacional (IPD).**

## 5.2. REPROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS

Para determinar las ubicaciones exactas de los hipocentros de sismos, se requiere información de por lo menos tres estaciones sísmicas que hayan registrado el sismo. La localización de un sismo se define por su hipocentro (x, y, z) y su tiempo de origen. Al tener las fases P y S de al menos tres estaciones, se procede a localizar el evento utilizando los programas establecidos. La primera localización podría llamarse parcial, ya que luego se van incorporando más datos de fases de estaciones sísmicas analizadas; a medida que se añaden mayores datos se va ajustando los valores de la rmc y errores de localización, tratando de que los tiempos residuales sean mínimos.

Los resultados son la localización física, generalmente indicada por la longitud (x), la latitud (y) y profundidad debajo de la superficie (z) en km, Figura 3. El epicentro es la proyección de la localización del sismo en superficie (x, y). En caso de sismos grandes, la dimensión de la ruptura puede ser de varios cientos de km y el hipocentro se ubica en el lugar donde se inicia la ruptura.

```

Sismo Nº 9756 Fecha: 25 Ago 2014 Hora Origen (UTC): 14h 31m 36.59s
  Latitud: -16.4181 ± 3.3 km.
  Longitud: -73.4239 ± 2.4 km.
  Profundidad: 48.1 km. ± 3.9 km.
  Magnitud: 5.6 ML
  Intensidad: IU Ocoña, Atico, Camana; III-IU Caraveli; III Arequipa, Pampacolca; II A
             cari, Yauca, Moquegua, Pausa
Esta Distan Azm Ain TPCal FP P-Seg P-Res P FS S-Seg S-Res P mb ML ML1 mb1 ML2 mb2
ALTO 419.0 108 113 57.54 IPC 95.24 1.11 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ANC 656.1 323 113 87.17 EP 123.27 -0.49 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
AYA 375.6 348 113 52.13 IPD 87.82 -0.90 0 ES126.90 0.13 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
AYRA 418.8 67 113 56.52 EP 93.27 0.16 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
CUS 366.1 25 113 58.94 EP 86.30 -1.23 0 ES124.54 -0.17 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
HSAL 243.2 87 114 35.64 EP 71.37 -0.86 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
HYO 538.4 338 113 71.45 EP 108.06 0.02 0 ES160.98 0.78 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
ISAB 249.0 346 114 36.36 IPD 73.41 0.45 0 IS100.82 1.32 0.00 0.00 5.6 0.00 0.00 0.00
LAGH 382.7 74 114 43.04 EP 79.37 -0.26 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
QLK 111.6 106 120 19.61 EP 55.30 -0.91 0 ES 70.38 -0.14 0.00 0.00 5.5 0.00 0.00 0.00
SAB 183.5 67 115 28.26 EP 63.76 -1.09 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
STPO 590.6 348 113 78.98 EP 114.07 -1.50 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
TOQ 312.4 109 113 44.25 EP 81.30 0.46 0 ES113.69 0.54 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
UBI 269.1 87 114 38.86 EP 75.63 0.18 0 ES104.29 0.47 0.00 0.00 5.6 0.00 0.00 0.00
UNAP 371.7 79 113 51.64 IPC 89.69 1.45 0 0.00 0.00 0.00 0.00 5.6 0.00 0.00 0.00
YANA 708.0 336 113 93.66 EP 130.42 0.16 0 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
YCA 145.9 308 116 23.68 IPC 59.96 -0.31 0 ES 78.21 0.65 0.00 0.00 5.6 0.00 0.00 0.00
rmc = 0.84

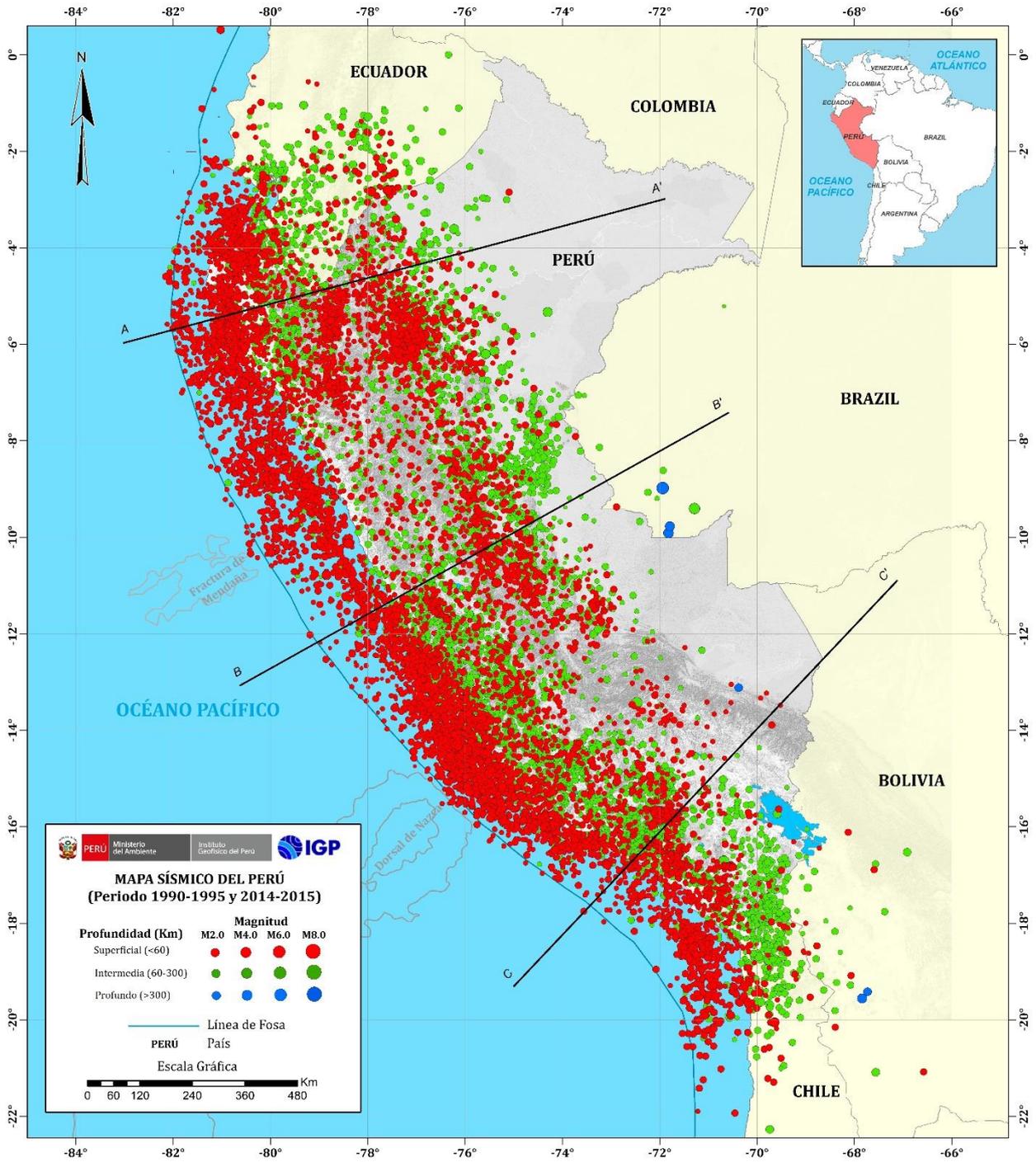
```

**Figura 3. Resultado del cálculo de parámetros sísmicos realizado con el programa EPIWIN, la salida incluye a todos los tiempos de arribo a cada una de las estaciones sísmicas utilizadas.**

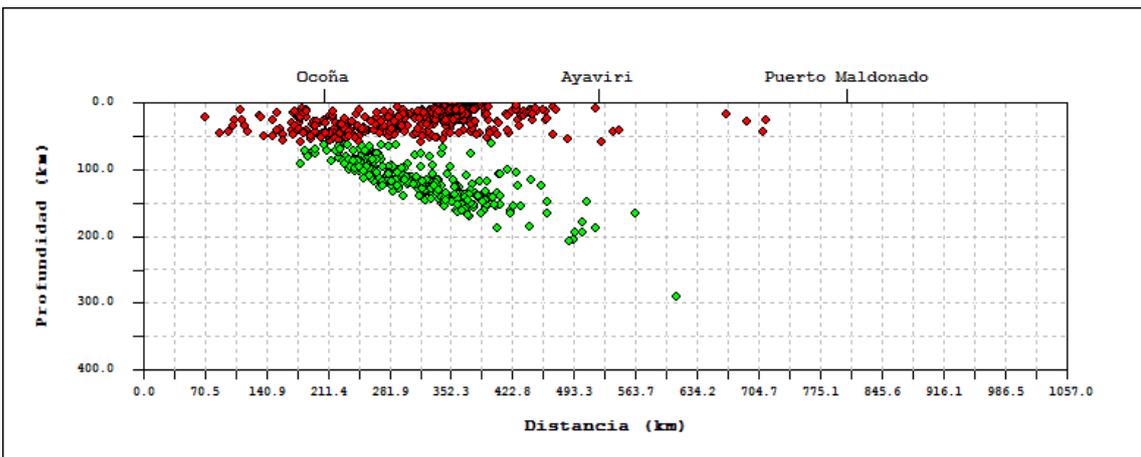
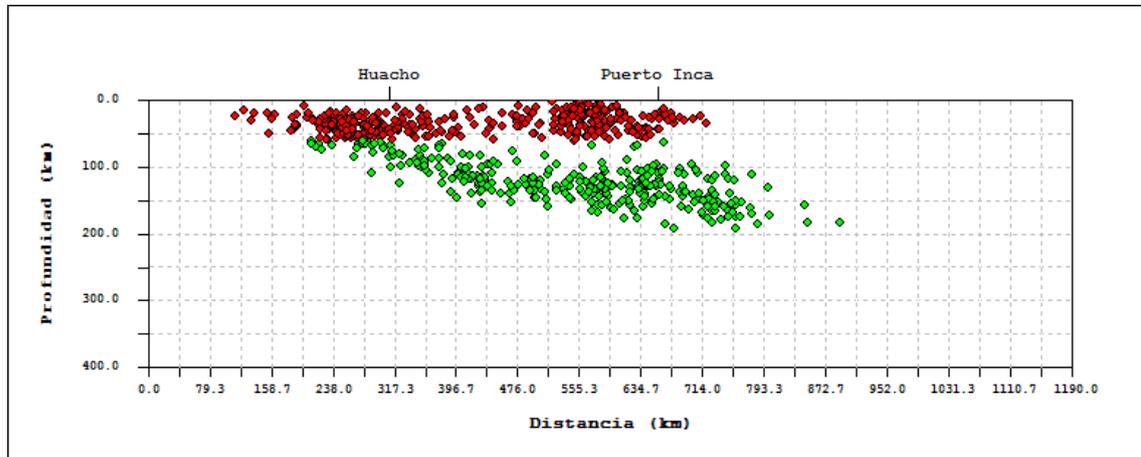
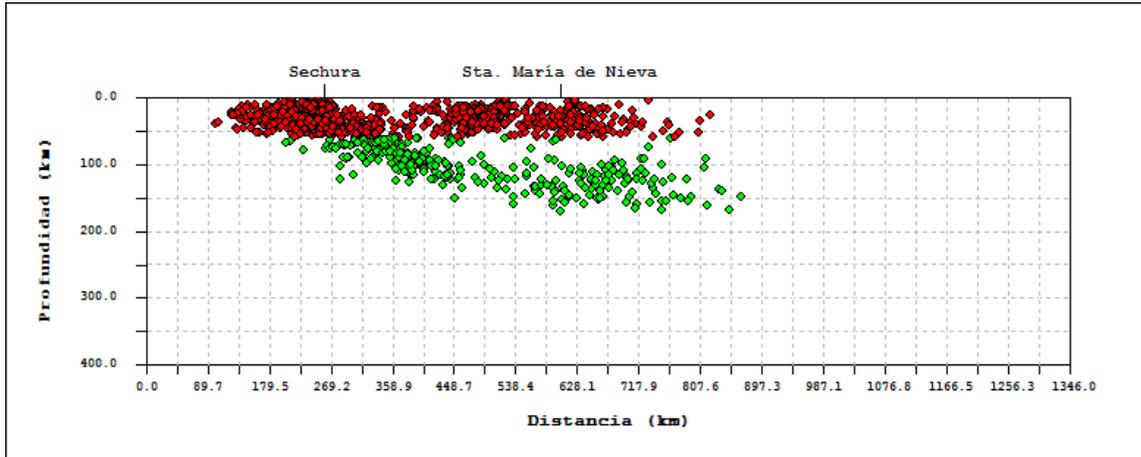
Con los datos reprocesados de los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015, se elaboró el mapa de epicentros; los sismos se clasificaron de acuerdo a la profundidad focal, en superficiales, intermedios y profundos, Figura 4. Se puede apreciar en el mapa de la Figura 4 que, por la relocalización realizada, coherencia en la distribución espacial de la ubicación de epicentros.

Dentro de las similitudes, en estos mapas se observa que, los agrupamientos de sismicidad superficial se distribuyen a lo largo de toda la costa peruana y dentro del continente. Con el propósito de analizar la distribución de hipocentros en profundidad, se realizaron con los datos reprocesados tres secciones transversales, para las zonas Norte, Centro y Sur de Perú, Figura 5. En las secciones se transversales, se puede apreciar que los datos reprocesados se mantienen dentro de la tendencia del desplazamiento de placas para las zonas mencionadas.

Los eventos reprocesados de los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015 son en total 15897. La meta propuesta para el año 2020 fue reprocesar los datos de los años 1990 a 1991 y 2014 a 2014, se ha concluido en su totalidad; adicionalmente se ha realizado reprocesamiento de los datos de los años 1992 a 1995. Las lecturas de los datos reprocesados se almacenan en archivos anuales en formato txt, ejemplo DAT2014.txt.



**Figura 4. Mapas de distribución espacial de epicentros relocados para el periodo 1990 - 1995 y 2014 - 2015.**



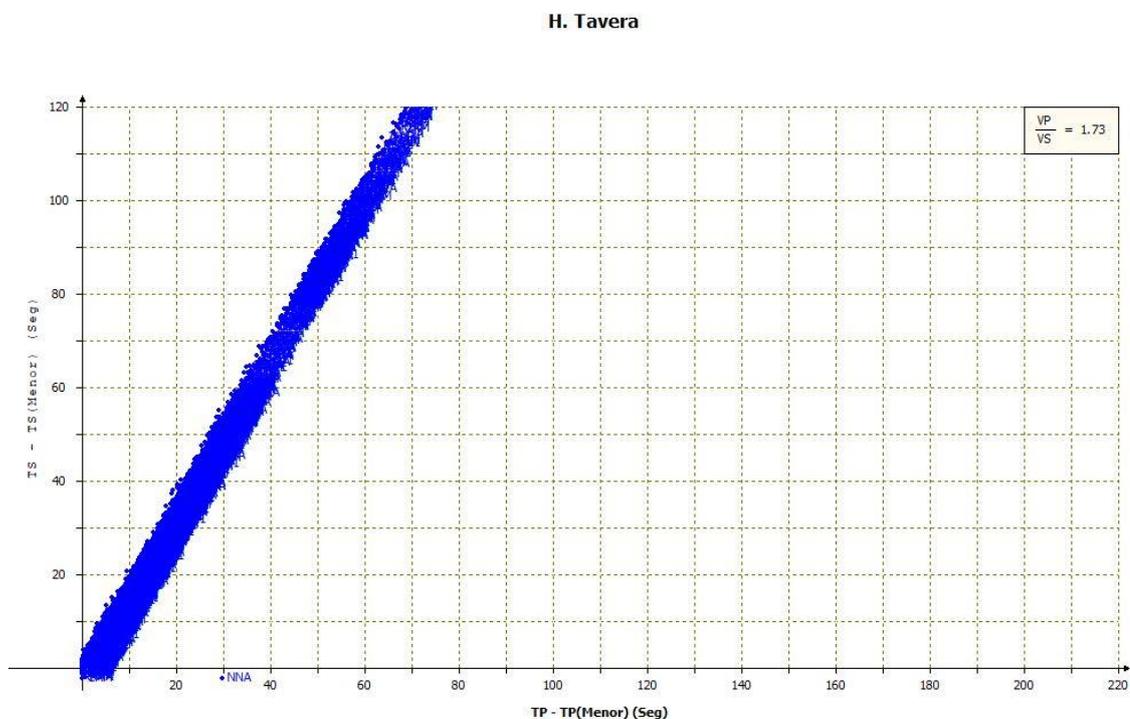
*Figura 5. Secciones transversales en profundidad de la zona norte, centro y sur del país, periodo 1990 - 1995 y 2014 - 2015, muestra la distribución de la sismicidad en profundidad.*

### 5.3. USO DEL DIAGRAMA WADATI

El diagrama Wadati se utiliza para ver la consistencia de los tiempos de arribo de las ondas P y S del evento observado en cada estación. Para tal efecto se ha utilizado el algoritmo que grafica los tiempos de arribo de la fase P, versus su correspondiente S-P de la estación que registró el evento.

De la distribución de puntos que se ve en el diagrama se obtiene una recta por mínimos cuadrados y la pendiente de esta recta representa la razón de velocidades entre las fases P y S, de tal manera que la utilizamos para las correcciones de tiempo de arribo de las fases P y S.

Si la distribución de puntos se encuentra alineados entorno a la recta resultante Figura 2, significa que los tiempos obtenidos son consistentes al análisis de formas de ondas, cuyo valor debe ser similar con la razón de velocidades (1.73 valor teórico) del cálculo de la localización hipocentral.



**Figura 2. Curva de consistência de tiempos de fases P y S, años 1990 a 1995 y 2014 - 2015**

## 6. RELACION GUTENBERG - RICHTER

La distribución relativa de los tamaños de los sismos es comúnmente expuesta por la relación de Gutenberg-Richter (1944), la cual postula que los eventos pequeños son siempre más frecuentes que los grandes. Para el análisis, se aplicó a los eventos sísmicos reprocesados de los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015, la relación frecuencia-magnitud (Gutenberg y Richter), que describe la distribución de la frecuencia y magnitud de sismos:

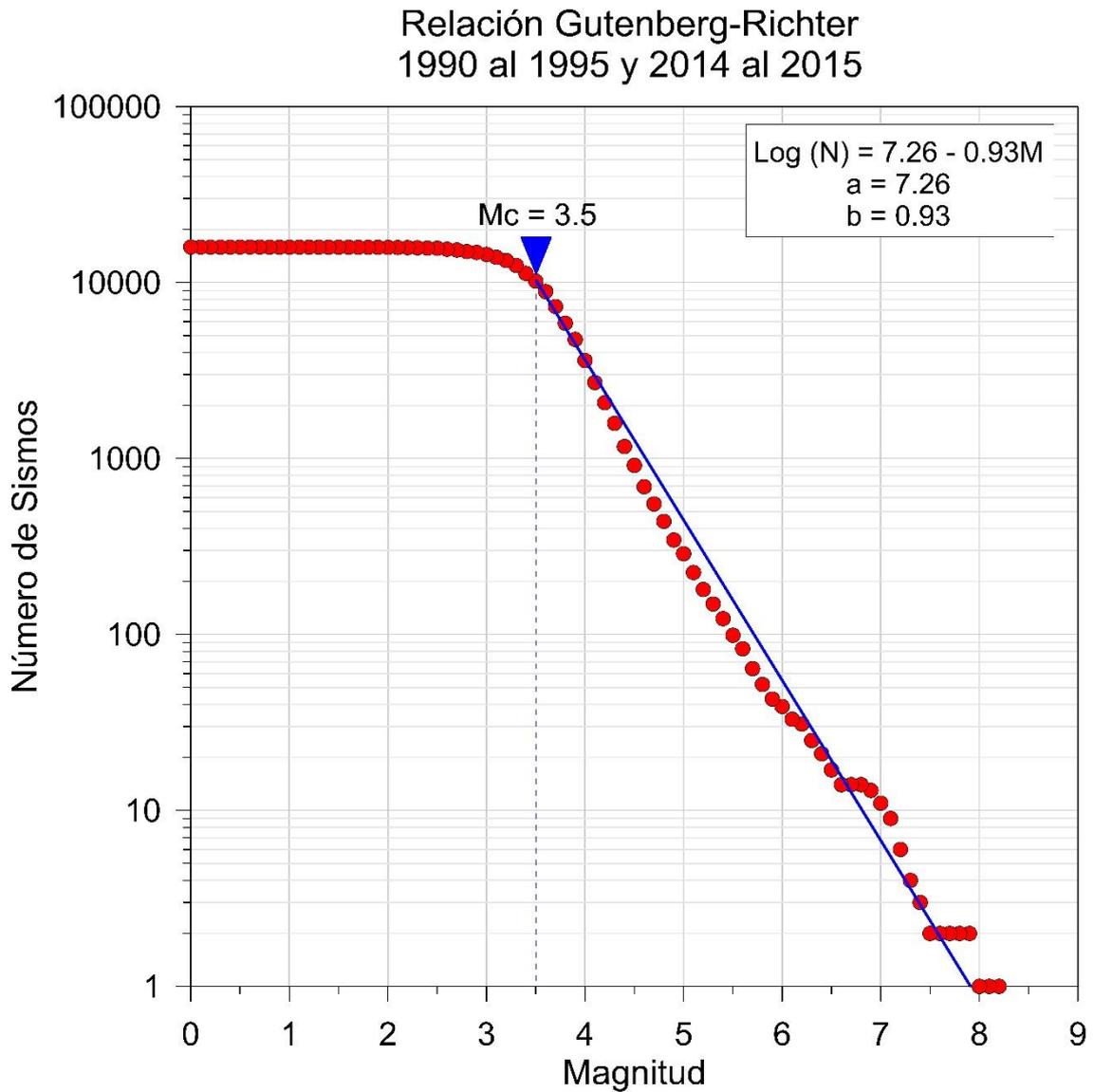
$$\log(N) = a - b \cdot M$$

N = número de eventos.

a, b = constantes que caracterizan la actividad sísmica de una región, con la ordenada en el origen y la pendiente, respectivamente.

M = la magnitud de los eventos utilizados.

El parámetro crítico de esta relación es el valor de b, que define la pendiente de la recta de la distribución frecuencia-magnitud, y físicamente se relaciona con los niveles de esfuerzos acumulados y liberados en una zona. La determinación de la relación de Gutenberg-Richter para los sismos localizados durante los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015, es básico para analizar la sismicidad de una región. Con el objetivo de ver la uniformidad de los datos de los sismos reprocesados durante los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015, se elabora la curva de frecuencia sísmica a fin de identificar el nivel de detección. En la Figura .....4, se observa que los sismos con magnitud ( $M \geq 3.5$ ) se ajustan a una recta, lo cual indica que a partir de esta magnitud los sismos presentan errores mínimos en sus parámetros sísmicos.



**Figura 7. Curva de frecuencia sísmica para el periodo de los años 1990 a 1995 y 2014 - 2015.**

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Alsaker, A., Kvamm, L.B., Hansen, R.A., Dahle, A., Bungum, H., 1991. The ML Scale in Norway. *Bulletin of the Seismological Society of America* 81, 379-398
- Barazangi, M. and Isacks, B. (1979). Subduction of the Nazca plate beneath Peru: evidence from spatial distribution of earthquakes. *Geophys. Jour. R. A. Soc.*
- Condori, C., Tavera, H., Marotta, G., Rocha, M. and França, G., Calibration of the local magnitude scale (ml) for peru. *Journal of Seismology*, 21, 02 2017. doi: 10.1007/s10950-017-9647-3.
- Cuenca J. (1993). Modelación de ondas P y SH en el suroeste del Perú y Determinación de TIPS en el Perú. Tesis de Maestría, UNAM, 112 pp.
- December 26, 2004 Sumatra Earthquake. *Earth Planets Space*. 58. 121-126. 10.1186/BF03353368.
- Lejsek, K. (1971). Mecanismo focal de terremotos y el tectonismo sudamericano. Tesis UM San Andres, Fac. Cs. Geológicas, La Paz – Bolivia.
- Rodriguez, A. y Rodriguez, L. (1979). Sismicidad en la región de Arequipa. Contribución IGP-DCS.
- Tsuboi, S., Abe, K., Takano, K., and Yamanaka, Y. (1995). Rapid Determination of Mw from Broadband P Waveforms.
- Wadati, K. and Oki, S., On the travel time of earthquake waves. (part ii). *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 11(1):14–28, 1933. doi: 10.2151/jmsj1923.11.1\_14.
- Wood, H. and Neumann, F. Modified mercalli intensity scale of 1931. *Seismological Society of America Bulletin*, 21:4–277 283, 1931.
- Worden, C., Thompson, E., Hearne, M., y Wald, D. (2017). ShakeMap V4 Manual: User's guide, and software guide. U. S. Geological Survey.