Análisis espectral de microsismicidad y ruido ambiental para el canal de aceleración vertical (ENZ)

Autor: A. Isaac P.S.

Fecha: 2025-08-07

Este cuadernillo aplica **ObsPy** para importar y analizar sismicidad local grabada por la red de sismógrafos de SkyAlert en la Ciudad de México con el canal de aceleración vertical. Para ello, se calculan los **espectros de potencia** para **estimar la frecuencia de esquina** (*corner frequency*, f_c). Con f_c propondremos un **filtro** que maximice la resolución de la energía sísmica de los microsismos en nuestro flujo interno.

0. Objetivos

- Cargar una o varias trazas de velocidad en formato MiniSEED de algunos microsismos y señales de ruido de distinta naturaleza y duración.
- Pre-procesar los datos para eliminar la tendencia natural.
- Calcular espectros de amplitud/PSD usando la teoría de Fourier.
- A partir de un análisis cualitativo de los especogramas, **estimar la frecuencia de esquina** f_c.
- Proponer y probar un **filtro** (p.ej. banda/alto) en torno a f_c.
- Validar los resultados del filtro aplicando STA/LTA con los parámetros actuales del sistema de microsismos para los cuatro canales y contabilizar el número de falsas activaciones antes y despúes del filtro propuesto.
- Guardar figuras y resultados clave para su integración al sistema.

1. Instalación y librerías

In [4]:

```python
# === Imports ===
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from obspy import read, UTCDateTime
from scipy.signal import welch
from obspy.signal.trigger import classic_sta_lta, trigger_onset
import pandas as pd
```

2. Carga de datos

Se trabaja con los siguientes eventos:

- Traza 1: M2.7 del 27 de septiembre de 2024 (R9837).
- Traza 2: M2.9 del 27 de septiembre de 2024 (RB52D).
- Traza 3: M2.0 del 7 de octubre de 2024 (R5FE1).
- Traza 4: M1.9 del 18 de noviembre de 2024 (RB604).
- Trazas 5 y 6: M1.9 del 18 de junio de 2025 (R03B7 y R9837).
- Trazas 7 y 8: M2.3 del 24 de junio de 2025 (R9837 y R03B7).
- Trazas 9 y 10: Trueno del 10 de agosto de 2025 (R88E8 y R8712).
- Trazas 11 y 12: Ruido del 25 de agosto de 2025 (RB604 y R03B7).

In [6]:

```python
# Rutas de archivos MiniSEED
rutas = [
    "Corner Frequency/M27-27-sep-2024-R9837.mseed",
    "Corner Frequency/M29-27-sep-2024-RB52D.mseed",
    "Corner Frequency/M20-7-oct-2024-R5FE1.mseed",
    "Corner Frequency/M19-18-nov-2024-RB604.mseed",
    "Corner Frequency/M19-18-jun-2025-R03B7.mseed",
    "Corner Frequency/M19-18-jun-2025-R9837.mseed",
    "Corner Frequency/M23-24-jun-2025-R9837.mseed",
    "Corner Frequency/M23-24-jun-2025-R03B7.mseed",
    "Corner Frequency/Trueno-10-ago-2025-R88E8.mseed",
    "Corner Frequency/Trueno-10-ago-2025-R8712.mseed",
    "Corner Frequency/Ruido-25-ago-2025-RB604.mseed",
    "Corner Frequency/Ruido-25-ago-2025-R03B7.mseed"
]

# Leer y seleccionar canal ENZ
trazas = []
for ruta in rutas:
    st = read(ruta)
    st = st.select(channel="ENZ")  # seleccionar solo canal ENZ
    if len(st) > 0:
        tr = st[0]
        tr.detrend(type="simple")  # quitar tendencia
        trazas.append(tr)
```

In [7]:

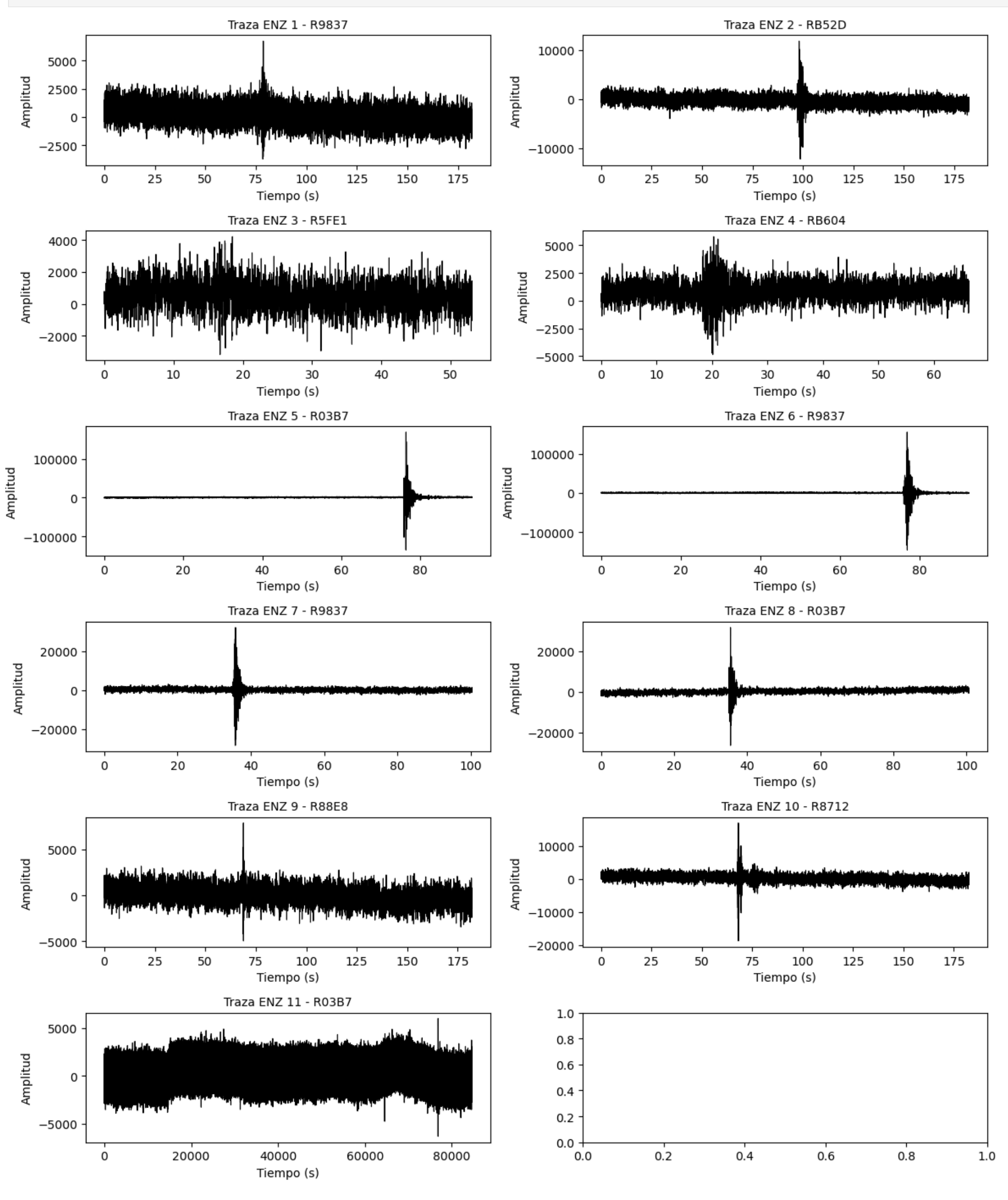
```python
trazas
```

Out[7]:

```
[AM.R9837.00.ENZ | 2024-09-27T23:50:28.703000Z - 2024-09-27T23:53:30.613000Z | 100.0 Hz, 18192 samples,
 AM.RB52D.00.ENZ | 2024-09-27T09:55:58.978000Z - 2024-09-27T09:59:01.228000Z | 100.0 Hz, 18226 samples,
 AM.R5FE1.00.ENZ | 2024-10-07T21:40:58.587000Z - 2024-10-07T21:41:51.637000Z | 100.0 Hz, 5306 samples,
 AM.RB604.00.ENZ | 2024-09-18T08:01:08.691000Z - 2024-09-18T08:02:14.991000Z | 100.0 Hz, 6631 samples,
 AM.R03B7.00.ENZ | 2025-06-18T15:28:58.777000Z - 2025-06-18T15:30:31.867000Z | 100.0 Hz, 9310 samples,
 AM.R9837.00.ENZ | 2025-06-18T15:28:58.790000Z - 2025-06-18T15:30:31.270000Z | 100.0 Hz, 9249 samples,
 AM.R9837.00.ENZ | 2025-06-24T05:57:59.930000Z - 2025-06-24T05:59:40.210000Z | 100.0 Hz, 10029 samples,
 AM.R03B7.00.ENZ | 2025-06-24T05:57:59.797000Z - 2025-06-24T05:59:40.447000Z | 100.0 Hz, 10066 samples,
 AM.R88E8.00.ENZ | 2025-08-10T00:16:58.035000Z - 2025-08-10T00:20:00.045000Z | 100.0 Hz, 18202 samples,
 AM.R8712.00.ENZ | 2025-08-10T00:16:58.693000Z - 2025-08-10T00:20:01.213000Z | 100.0 Hz, 18253 samples,
 AM.R03B7.00.ENZ | 2025-08-24T20:03:40.552000Z - 2025-08-25T19:34:12.062000Z | 100.0 Hz, 8463152 samples]
```

In [8]:

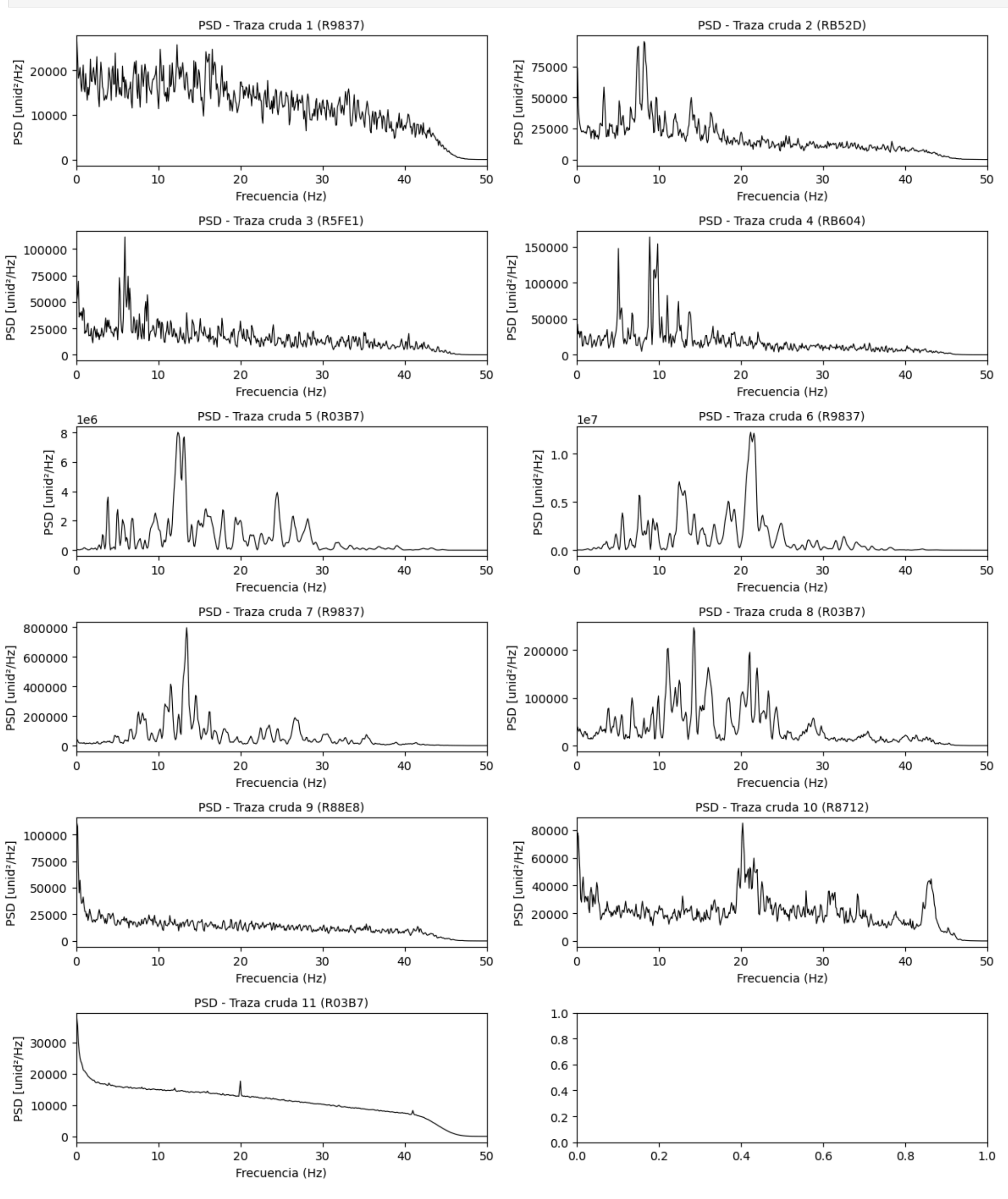
```python
# Graficar todas las trazas
fig, axes = plt.subplots(6, 2, figsize=(12, 14))
axes = axes.flatten()

for i, tr in enumerate(trazas):
    t = np.linspace(0, tr.stats.npts / tr.stats.sampling_rate, tr.stats.npts)
    axes[i].plot(t, tr.data, color="black", linewidth=0.8)
    axes[i].set_title(f"Traza ENZ {i+1} - {tr.stats.station}", fontsize=10)
    axes[i].set_xlabel("Tiempo (s)")
    axes[i].set_ylabel("Amplitud")

plt.tight_layout()
plt.show()
```



3. Espectros de potencia

In [10]:

```python
# Parámetros generales
# ----------------------------
fs = 100.0
fmax = fs/2  # 50 Hz
nperseg = 1024  # Welch

# Graficar espectros de potencia
fig, axes = plt.subplots(6, 2, figsize=(12, 14))
axes = axes.flatten()

for i, tr in enumerate(trazas):
    # Calcular espectro de potencia con Welch
    f, Pxx = welch(tr.data, fs=fs, nperseg=1024)
    # Graficar hasta Nyquist
    axes[i].plot(f, Pxx, color="black", linewidth=0.8)
    axes[i].set_xlim(0, fmax)
    axes[i].set_title(f"PSD - Traza cruda {i+1} ({tr.stats.station})", fontsize=10)
    axes[i].set_xlabel("Frecuencia (Hz)")
    axes[i].set_ylabel("PSD [unid²/Hz]")

plt.tight_layout()
plt.show()
```



4. Análisis cualitativo de los espectros de potencia (señales crudas)

Microsismos (Trazas 1 a 8)

El contenido espectral de los microsismos analizados se distribuye principalmente entre **0.5 y 41 Hz**, presentando **picos de mayor potencia entre 7 y 14 Hz**.

Trueno (Trazas 9 y 10)

El contenido espectral de estos eventos resulta más **variable** y depende principalmente de la **cercanía de la fuente** respecto a la estación sísmica.

- **Traza 9**: corresponde a la estación más distante. Su señal es demasiado débil en aceleración y no se distingue del ruido normal de fondo.
- **Traza 10**: tiene un contenido espectral de banda ancha donde su mayor concentración de energía se da al rededor de los 20 Hz.

Ruido ambiental de 24 horas (Trazas 11)

Las trazas de ruido normal muestran un comportamiento **altamente variable**, tanto en amplitud como en la forma y rango del espectro. Se observa un **pico de energía predominante cercano a 1 Hz**, atribuido a la **respuesta instrumental**, **respuesta del suelo local** y/o al **tipo de construcción** sobre la cual se instaló el instrumento. También se observaron **eventos aleatorios e impredecibles** que generan vibraciones transitorias de baja energía. Por ejemplo, pequeños picos en los 20 y 42 Hz.

Conclusiones preliminares

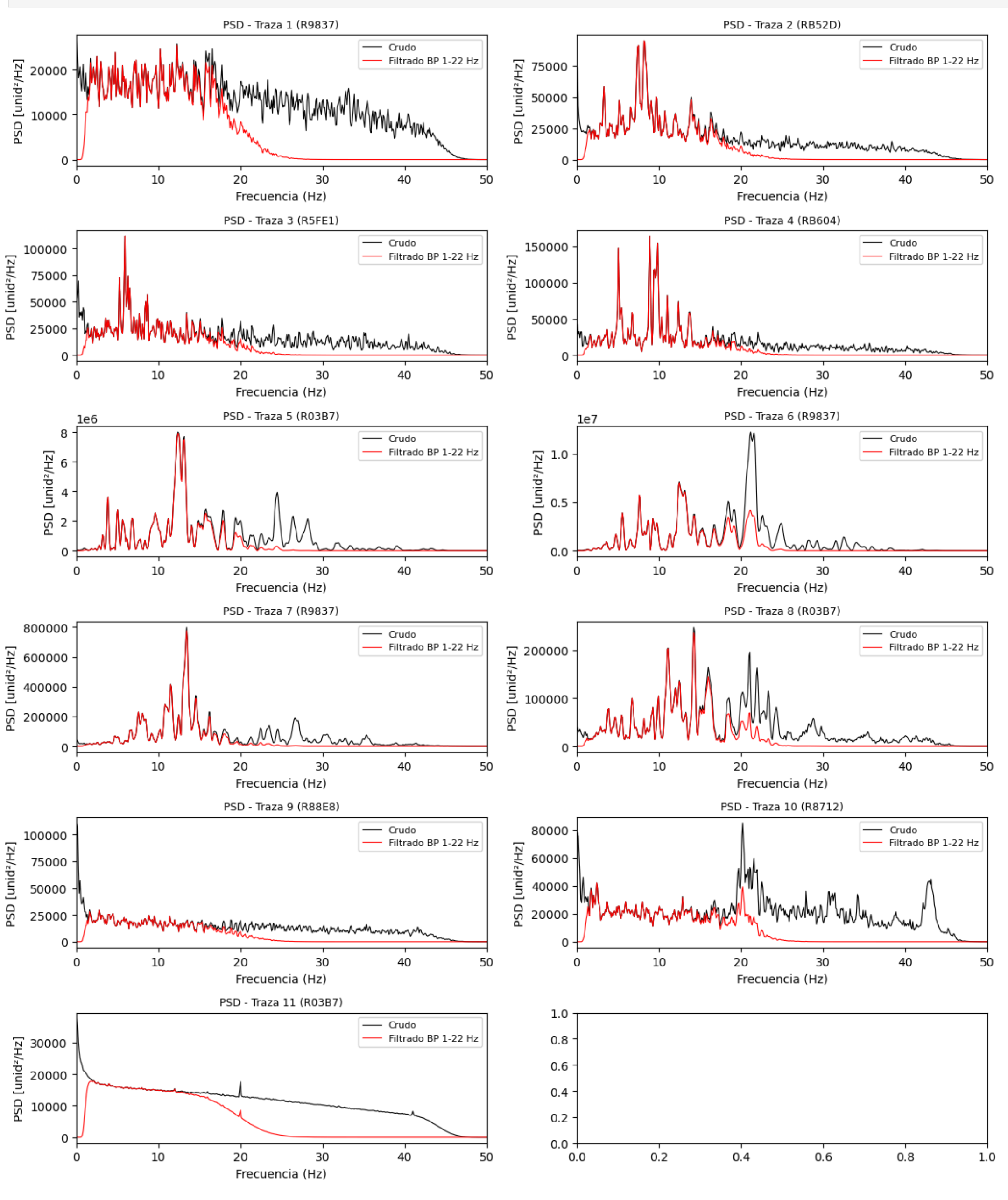
Como primera aproximación, se propone la aplicación de un **filtro pasa bandas de tercer orden con frecuencia de corte mínima y máxima de 1 y 22 Hz, respectivamente**, con el objetivo de atenuar el ruido asociado a:

- Ruido de fondo.
- Actividad antropogénica (paso vehicular y peatonal),
- Fuentes atmosféricas (truenos),
- Otras vibraciones impulsivas de corta duración.

4. Aplicación del filtro

In [13]:

```python
def bandpass_obspy(tr, fmin=1.0, fmax=22.0, order=3):
    tr_f = tr.copy()
    tr_f.filter('bandpass', freqmin=fmin, freqmax=fmax, corners=order, zerophase=True)
    return tr_f

def psd_welch(x, fs, nperseg=1024):
    f, Pxx = welch(x, fs=fs, nperseg=nperseg, scaling="density")
    return f, Pxx

fig2, axes2 = plt.subplots(6, 2, figsize=(12, 14))
axes2 = axes2.flatten()

for i, tr in enumerate(trazas):
    f_raw, Pxx_raw = psd_welch(tr.data.astype(float), fs, nperseg=nperseg)
    trf = bandpass_obspy(tr, fmin=1.0, fmax=22.0, order=3)
    f_filt, Pxx_filt = psd_welch(trf.data.astype(float), fs, nperseg=nperseg)

    # Graficar ambas curvas
    axes2[i].plot(f_raw, Pxx_raw, color="black", linewidth=0.8, label="Crudo")
    axes2[i].plot(f_filt, Pxx_filt, color="red", linewidth=0.8, label="Filtrado BP 1-22 Hz")

    # Configuración de ejes
    axes2[i].set_xlim(0, fmax)
    axes2[i].set_title(f"PSD - Traza {i+1} ({getattr(tr.stats,'station','')})", fontsize=9)
    axes2[i].set_xlabel("Frecuencia (Hz)")
    axes2[i].set_ylabel("PSD [unid²/Hz]")
    axes2[i].legend(fontsize=8)

fig2.tight_layout()
plt.show()
```



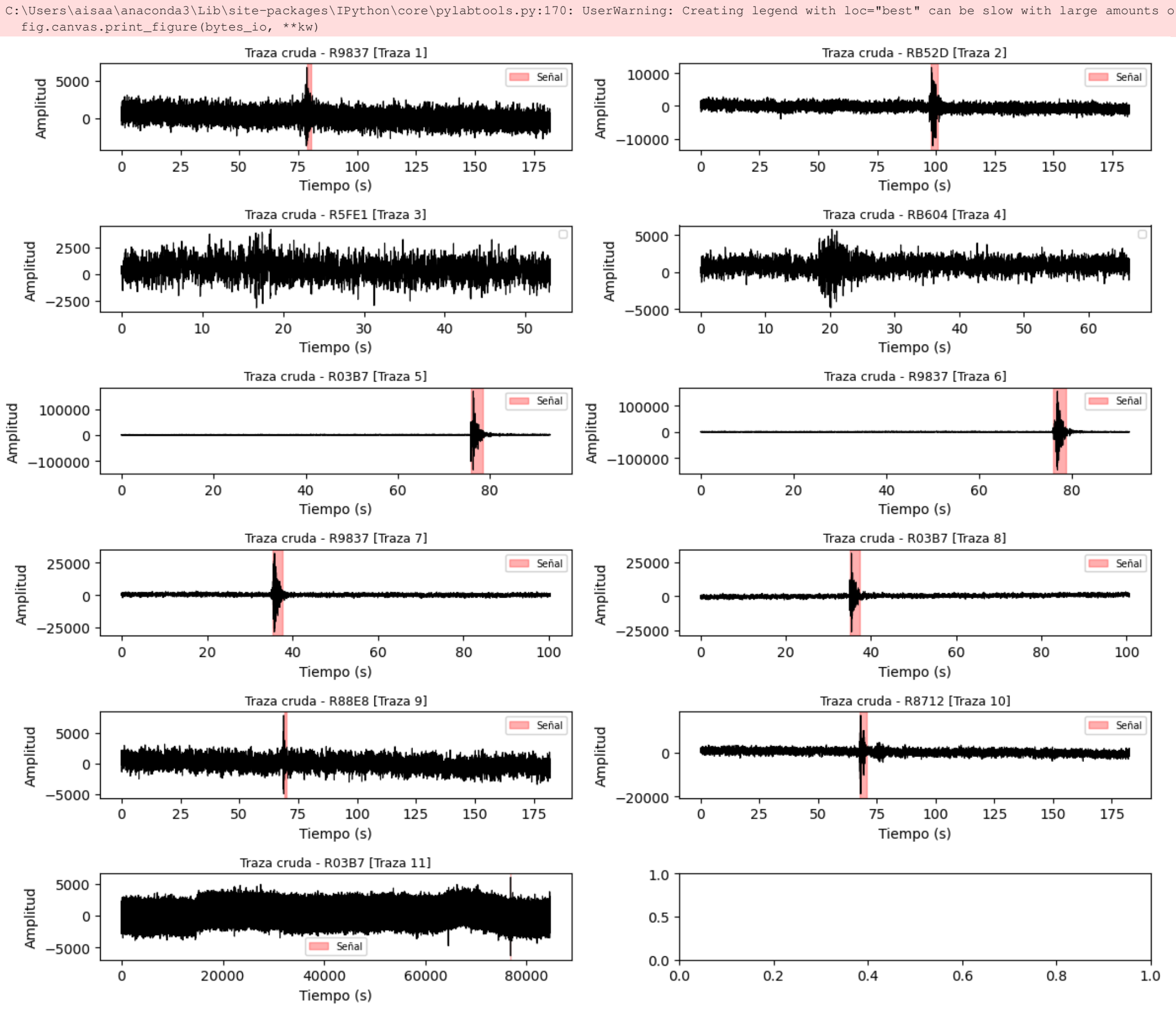
5. Comparación de resultados

- Ahora aplicamos STA/LTA con los parámetros actuales del sistema de microsismos tanto para las señales crudas como filtradas y contabilizamos en ambos casos el número de falsas activaciones.

In [15]:

```python
# Parámetros STA/LTA
nsta = int(1.0 * fs)    # ventana STA de 1 s
nlta = int(10.0 * fs)   # ventana LTA de 10 s
th_on = 3.4            # umbral de disparo
th_off = 0.8            # umbral de apagado

fig, axes = plt.subplots(6, 2, figsize=(12, 10))
axes = axes.flatten()

for i in range(11):
    tr = trazas[i]
    data = tr.data.astype(float)

    # STA/LTA
    cft = classic_sta_lta(data, nsta, nlta)
    on_off = trigger_onset(cft, th_on, th_off)

    t = np.arange(0, len(data)) / fs
    axes[i].plot(t, data, color="black", linewidth=0.8)

    if len(on_off) > 0:
        on, off = on_off[0]
        axes[i].axvspan(on/fs, off/fs, color="red", alpha=0.3, label="Señal")

    axes[i].set_title(f"Traza cruda - {getattr(tr.stats,'station','')} [Traza {i+1}]",
                      fontsize=9)
    axes[i].set_xlabel("Tiempo (s)")
    axes[i].set_ylabel("Amplitud")
    axes[i].legend(fontsize=7)

fig.tight_layout()
plt.show()
```

```
C:\Users\aisaa\AppData\Local\Temp\ipykernel_12420\3793023106.py:29: UserWarning: No artists with labels found to put in legend.  Note that artists whose label start with an underscore are ignored when legend() is called with no argumen
t.
  axes[i].legend(fontsize=7)
C:\Users\aisaa\anaconda3\Lib\site-packages\IPython\core\pylabtools.py:170: UserWarning: Creating legend with loc="best" can be slow with large amounts of data.
  fig.canvas.print_figure(bytes_io, **kw)
```



Tasa de error:

- 3 de 11 trazas = 27 %

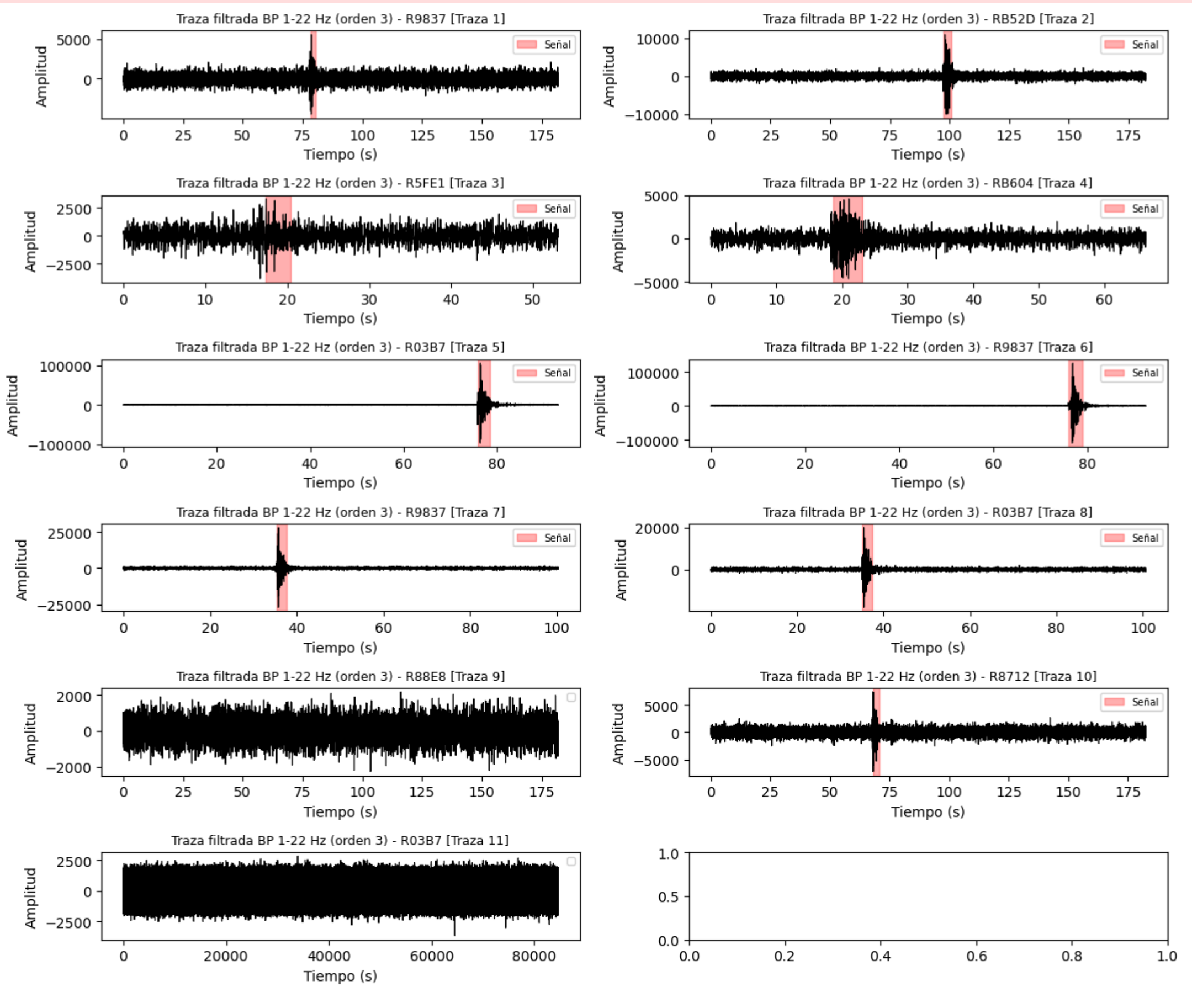
Tasa de éxito:

- 6 de 8 trazas = 75 %

In [17]:

```python
# Parámetros STA/LTA
nsta = int(1.0 * fs)
nlta = int(10.0 * fs)
th_on = 3.4
th_off = 0.8

fig, axes = plt.subplots(6, 2, figsize=(12, 10))
axes = axes.flatten()

for i in range(11):
    tr = trazas[i]
    # Filtrado pasa-bandas
    trf = bandpass_obspy(tr, fmin=1.0, fmax=22.0, order=3)
    data = trf.data.astype(float)

    # STA/LTA
    cft = classic_sta_lta(data, nsta, nlta)
    on_off = trigger_onset(cft, th_on, th_off)

    t = np.arange(0, len(data)) / fs
    axes[i].plot(t, data, color="black", linewidth=0.8)

    if len(on_off) > 0:
        on, off = on_off[0]
        axes[i].axvspan(on/fs, off/fs, color="red", alpha=0.3, label="Señal")

    axes[i].set_title(f"Traza filtrada BP 1-22 Hz (orden 3) - {getattr(tr.stats,'station','')} [Traza {i+1}]",
                      fontsize=9)
    axes[i].set_xlabel("Tiempo (s)")
    axes[i].set_ylabel("Amplitud")
    axes[i].legend(fontsize=7)

fig.tight_layout()
plt.show()
```

```
C:\Users\aisaa\AppData\Local\Temp\ipykernel_12420\4128368938.py:31: UserWarning: No artists with labels found to put in legend.  Note that artists whose label start with an underscore are ignored when legend() is called with no argumen
t.
  axes[i].legend(fontsize=7)
```



Tasa de error:

- 1 de 11 trazas = 9 %

Tasa de éxito:

- 8 de 8 trazas = 100 %

10. Notas y recomendaciones

- Se recomienda aplicar este filtro como parte de la rutina de preprocesamiento previo a la transformada STA/LTA en el geófono vertical, ya que se observa un aumento considerable en la tasa de éxito para cazar microsismos (ejemplo trazas 3 y 4) las cuales antes del filtrado no eran reconocibles por el algoritmo de detección. Así mismo se llegó a una reducción de las falsas activaciones con una tasa de error del 9 %.

Referencias breves

- Aki & Richards (2002). *Quantitative Seismology*.

- Sitio de **ObsPy**: documentación oficial y tutoriales.