

Técnica Fingerprinting sedimentario. Análisis de laboratorio.



Proyecto “Fortalecimiento de capacidades I+P+P para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá” **Enero 2026**

Contenido

- CSSI
 - Preparación de las muestras
 - Determinaciones analíticas
 - Principales correcciones
- FRX
 - Determinaciones analíticas

Técnica CSSI

- Los IRMS son equipos caros y su disponibilidad a nivel regional están muy limitados (Brasil, México)
- El proceso de preparación de las muestras incluye:
 - Proceso de secado
 - Medición de carbono orgánico (%)
 - Remoción del carbono inorgánico
 - Secado
 - Derivatización/Metilación
 - Medición de los FAME
 - Correcciones

Técnica CSSI

- Se miden los ácidos grasos con longitudes de la cadena del carbono $\delta^{13}\text{C}$ en el rango (C14:0) - 24 (C24:0) y mayores.

Esta técnica mide las diferencias entre el ^{13}C (pesado) y el ^{12}C (ligero), esta relación $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ se asocia al fraccionamiento isotópico (‰)

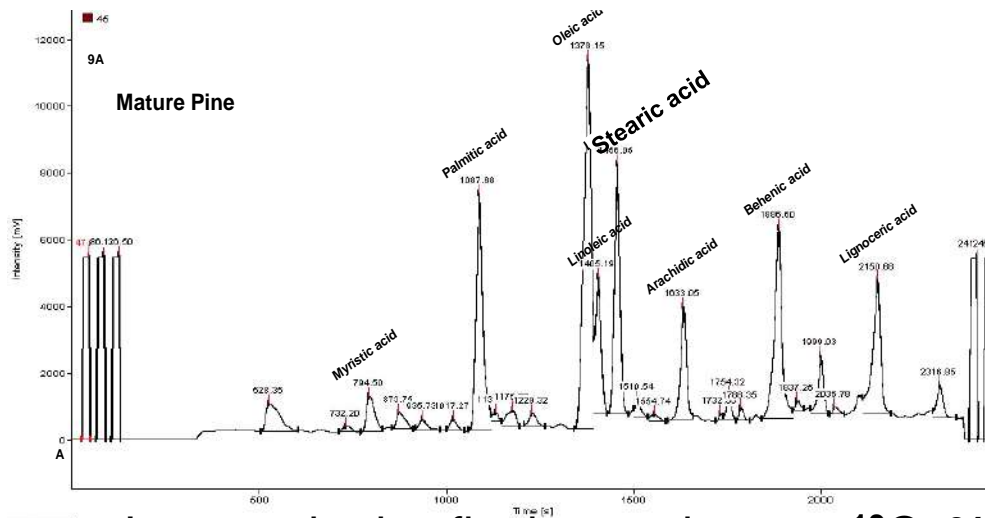
La notación delta (δ) se inventó para evaluar el cambio en la concentración en lugar de la concentración real, a través de la ecuación:

$$\delta^{13}\text{C} = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000 \text{ ‰}$$

R es la relación del isótopo pesado a ligero: $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

Técnica CSSI

- Los Espectrómetros de masa de relación isotópica (IRMS) miden estas proporciones y producen los resultados en notación delta:



Los resultados finales se dan en $\delta^{13}\text{C}$, ‰, FAMES



CSSI. Correcciones 1/2

- Al realizar el proceso de metilación se adiciona un grupo metilo (CH₃) de los FAMES

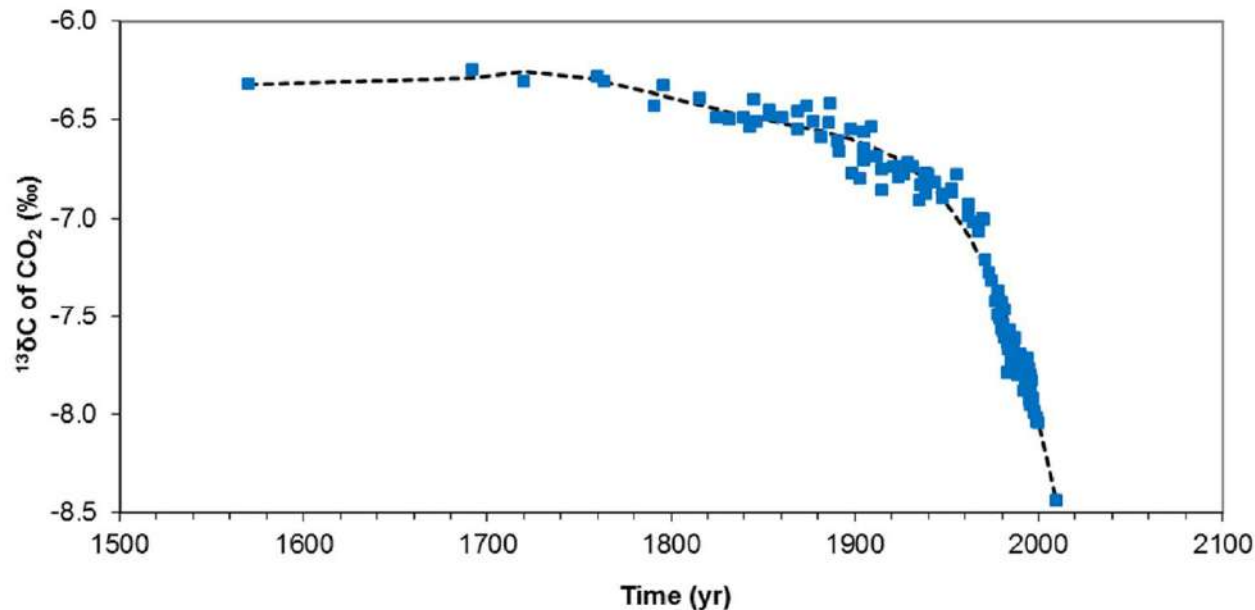
$$\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}} = \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{FAME}} - (1 - X)\delta^{13}\text{C}_{\text{Methanol}}}{X}$$

- Esta corrección actualmente la realizan los laboratorios de mediciones.
- Los modelos de desmezclas estiman relaciones isotópicas hay que corregirlas a proporciones de suelos

$$\%source_n = \frac{I_n / \%C_n}{\sum_n^1 (I_n / \%C_n)} \times 100$$

CSSI. Correcciones 1/2

- Si evaluáramos con CSSI periodos largos de tiempo de sedimentación (núcleos de sedimentos) se debe incluir el efecto Suess. El empobrecimiento isotópico del CO₂ debido a la quema de combustibles fósiles.



$$\text{Correction value} = 8.55 + 7.7738118 \times 10^{-16} \times Y^6 - 1.2222044 \times 10^{-11} \times Y^5 + 7.1612441 \times 10^{-8} \times Y^4 - 2.1017147 \times Y^3 + 3.3316112 \times 10^{-1} \times Y^2 - 273.715025 \times Y + 91703.261$$

FRX. Determinaciones analíticas

- Equipos de espectrometría de fluorescencia de rayos x (FRX)
- Mayor disponibilidad regional de equipamiento, menores costos
- Los análisis son de tipo no destructivos, mide concentraciones (% , mg/g)
- Uso: metales pesados, geoquímica, tierras raras, etc.



| Código de la muestra | Nombre del ensayo Na Unidad de medida % | | | Nombre del ensayo Ai Unidad de medida % | | |
|----------------------|--|---------------|------------|--|---------------|------------|
| | Valor | Incertidumbre | Fecha | Valor | Incertidumbre | Fecha |
| FRN-45.1 | 0.280 | ± 0.066 | 14/11/2018 | 5.71 | ± 0.80 | 14/11/2018 |
| CSSI-16.1 | 0.280 | ± 0.066 | 14/11/2018 | 4.81 | ± 0.67 | 14/11/2018 |
| FRN-99 | 0.52 | ± 0.12 | 14/11/2018 | 8.1 | ± 1.1 | 14/11/2018 |
| FRN-5.1 | 0.47 | ± 0.11 | 14/11/2018 | 7.7 | ± 1.1 | 14/11/2018 |
| CSSI-20 | 0.76 | ± 0.18 | 14/11/2018 | 4.91 | ± 0.69 | 14/11/2018 |
| FRN-57.1 | 0.360 | ± 0.085 | 14/11/2018 | 7.3 | ± 1.0 | 14/11/2018 |
| FRN-69.1 | 0.350 | ± 0.082 | 14/11/2018 | 8.5 | ± 1.2 | 14/11/2018 |
| FRN-65.1 | 0.59 | ± 0.14 | 14/11/2018 | 7.3 | ± 1.0 | 14/11/2018 |
| FRN-63.1 | 0.46 | ± 0.11 | 14/11/2018 | 5.40 | ± 0.76 | 14/11/2018 |
| FRN-95 | 0.83 | ± 0.20 | 20/11/2018 | 9.7 | ± 1.3 | 20/11/2018 |
| FRN-60.1 | 0.68 | ± 0.16 | 20/11/2018 | 8.8 | ± 1.2 | 20/11/2018 |
| FRN-94 | 0.320 | ± 0.075 | 20/11/2018 | 6.08 | ± 0.85 | 20/11/2018 |
| FRN-103 | 0.56 | ± 0.13 | 20/11/2018 | 10.2 | ± 1.4 | 20/11/2018 |
| FRN-7.1 | 0.87 | ± 0.21 | 20/11/2018 | 8.8 | ± 1.2 | 20/11/2018 |
| FRN-72.1 | 0.45 | ± 0.12 | 20/11/2018 | 8.6 | ± 1.2 | 20/11/2018 |
| FRN-96 | 1.06 | ± 0.25 | 20/11/2018 | > 11.1 (11.55) | - | 20/11/2018 |
| FRN-68.1 | 0.410 | ± 0.097 | 20/11/2018 | 7.01 | ± 0.98 | 20/11/2018 |
| FRN-67.1 | 0.280 | ± 0.066 | 21/11/2018 | 6.52 | ± 0.91 | 21/11/2018 |
| FRN-10 | 0.420 | ± 0.099 | 21/11/2018 | 8.7 | ± 1.2 | 21/11/2018 |
| FRN-98 | 0.53 | ± 0.13 | 21/11/2018 | 7.7 | ± 1.1 | 21/11/2018 |
| FRN-101 | 0.360 | ± 0.085 | 21/11/2018 | 8.0 | ± 1.1 | 21/11/2018 |
| FRN-62.1 | 0.48 | ± 0.11 | 21/11/2018 | 8.2 | ± 1.2 | 21/11/2018 |
| FRN-LR 1 | 0.280 | ± 0.066 | 21/11/2018 | 5.97 | ± 0.74 | 21/11/2018 |

FRX. Determinaciones analíticas

- Equipos de espectrometría de fluorescencia de rayos x (FRX)
- Mayor disponibilidad regional de equipamiento, menores costos
- Los análisis son de tipo no destructivos, mide concentraciones (% , mg/g)
- Mayor simplicidad del pretratamiento (secado, preparación de pellets, polvos homogéneos)
- No hay necesidad de correcciones a los resultados.

Consideraciones en ambas técnicas

- Cumplimiento de procedimientos operacionales estandarizados acorde a sistemas de calidad
- Uso de muestras de referencia y de control durante los procedimientos analíticos
- Periodicamente evaluar la calidad de los laboratorios participando en intercomparaciones internacionales o ensayos de aptitud.

Gracias por su atención



Proyecto “Fortalecimiento de capacidades I+P+P para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá”