

Ficha Técnica / Reporte Analítico
Zeolita Clinoptilolita – Muestra Z95

Producto: Zeolita Clinoptilolita

Código/Muestra: Z95

Fecha de análisis: 07/11/2025

Responsable técnico: Dr. Martín Samuel Hernández Zazueta

Propiedades Físicas

Características físicas	Resultado	Técnica / norma de evaluación
Componente mineral	Clinoptilolita ≥ 90 –100 % (XRD)	Difracción de Rayos X (XRD) con refinamiento Rietveld; ASTM C1365-18 / ISO 17892-13
Relación Si/Al (molar)	5.07 ± 0.09	SEM-EDS (20 kV, Atomic % promedio 3 campos); ISO 22309:2011
CIC total (CEC)	255 meq/100 g	Extracción con acetato de amonio 1N pH 8; Referencia UNAM (2012, Ponce de León et al.); NOM-021-RECNAT-2000
Adsorción/retención de agua (máx.)	4.23 % p/p (105 °C) 10 % p/p (75 % HR, 25 °C)	Gravimetría (105 °C / 24 h); ASTM D2216-19
Área superficial BET	20–30 m ² /g	Fisisorción N ₂ (BET); ISO 9277:2010 / ASTM D3663-20
Densidad aparente	1.06 g/cm ³	Método de Le Chatelier (Volumétrico); ASTM C188-17 / NMX-C-021-ONNCCE-2014
Densidad relativa	1.78 g/mL	Picnómetro (agua destilada 25 °C); ASTM C604-02 / NMX-C-021-ONNCCE-2014
Dureza (Mohs)	3.5-4	Comparativo estándar de Mohs; DIN EN 101-2005
pH (10 % en agua, 25 °C)	8.26 ± 0.07	Medidor multiparamétrico Hanna HI7698195; NOM-021-RECNAT-2000
Conductividad (10 %)	213.7 ± 16.2 μ S/cm	Conductímetro multiparamétrico Hanna HI7698195; NOM-021-RECNAT-2000
Humedad	4.2 %	Gravimetría en estufa (105 °C / 24 h); ASTM D2216-19
Pérdida por ignición (LOI @ 750 °C)	5.97 %	Calcinación controlada a 750 °C durante 2 h (ASTM C25 / ISO 1171)
Granulometría estándar	D50 $\approx$ 22 μ m (< 75 μ m polvo / 0.5–1.5 mm granular)	Difracción láser; ISO 13320:2020 / ASTM B822-17
Color	Crema claro	Observación visual bajo luz natural (ISO 7724-2:1984)

Los análisis de pH, conductividad, humedad y parámetros físico-químicos fueron determinados con medidor multiparamétrico Hanna Instruments HI7698195, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000.

Las propiedades estructurales (granulometría, densidad y área superficial) se evaluaron mediante difracción láser (ISO 13320:2020), método de Le Chatelier (ASTM C188-17 / NMX-C-021-ONNCCE-2014), picnómetro volumétrico (ASTM C604-02) y fisisorción N_2 (BET, ISO 9277:2010). La humedad se cuantificó por gravimetría a 105 °C durante 24 h (ASTM D2216-19). Las determinaciones de fase mineral se realizaron por difracción de rayos X con refinamiento (ASTM C1365-18). El valor de LOI representa la pérdida total de masa asociada a compuestos volátiles y agua estructural tras calcinación controlada a 750 °C durante 2 horas, conforme a ASTM C25 e ISO 1171.

Cationes Intercambiables

Catión	Concentración (mg/kg)	Capacidad (meq/100 g)	Técnica / Norma
Calcio (Ca^{2+})	4 357	21.7	Extracción con acetato de amonio 1N (pH 8); Referencia Vanegas Pérez & Cram Heydrich, UNAM (2012: 61–63)
Potasio (K^+)	55 310	141.5	Extracción con acetato de amonio 1N (pH 8) y lectura por MP-AES (Agilent 4210); Referencia UNAM, LCA-MP-2025-R2
Magnesio (Mg^{2+})	0.11	0.0	Extracción con acetato de amonio 1N (pH 8) y determinación MP-AES; Referencia UNAM, LCA-MP-2025-R2
Sodio (Na^+)	21 114	91.8	Extracción con acetato de amonio 1N (pH 8) y determinación MP-AES; Referencia UNAM, LCA-MP-2025-R2

Los cationes intercambiables (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+) fueron determinados mediante extracción con acetato de amonio 1 N (pH 8), siguiendo la metodología de Vanegas Pérez y Silke Cram Heydrich (2012) en Conceptos y procedimientos para el análisis de muestras ambientales, UNAM, Facultad de Ciencias, pp. 61–63. Las concentraciones elementales fueron cuantificadas en un espectrómetro de emisión atómica de plasma de microondas (MP-AES Agilent 4210) conforme al procedimiento validado en el Informe LCA-MP-2025-R2. Los resultados se expresan en mg/kg y meq/100 g, reportando promedios de tres replicados.

Composición química

Técnica: SEM-EDS (20 kV); promedio de 3 muestras. Los valores corresponden a equivalentes de óxidos calculados por estequiometría.

Componente	Fórmula	Resultado (% m/m)	Método
Sílice	SiO_2	76.39	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)
Alúmina	Al_2O_3	12.78	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)
Óxido de sodio	Na_2O	3.93	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)
Óxido de potasio	K_2O	4.55	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)
Cal	CaO	1.02	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)

Magnesia	MgO	0.36	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)
Óxido de hierro (FeO eq.)	FeO	1.02	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)
Dióxido de titanio	TiO ₂	0.28	SEM-EDS (compd% promedio, 3 campos)

Indicadores estructurales y mineralogía

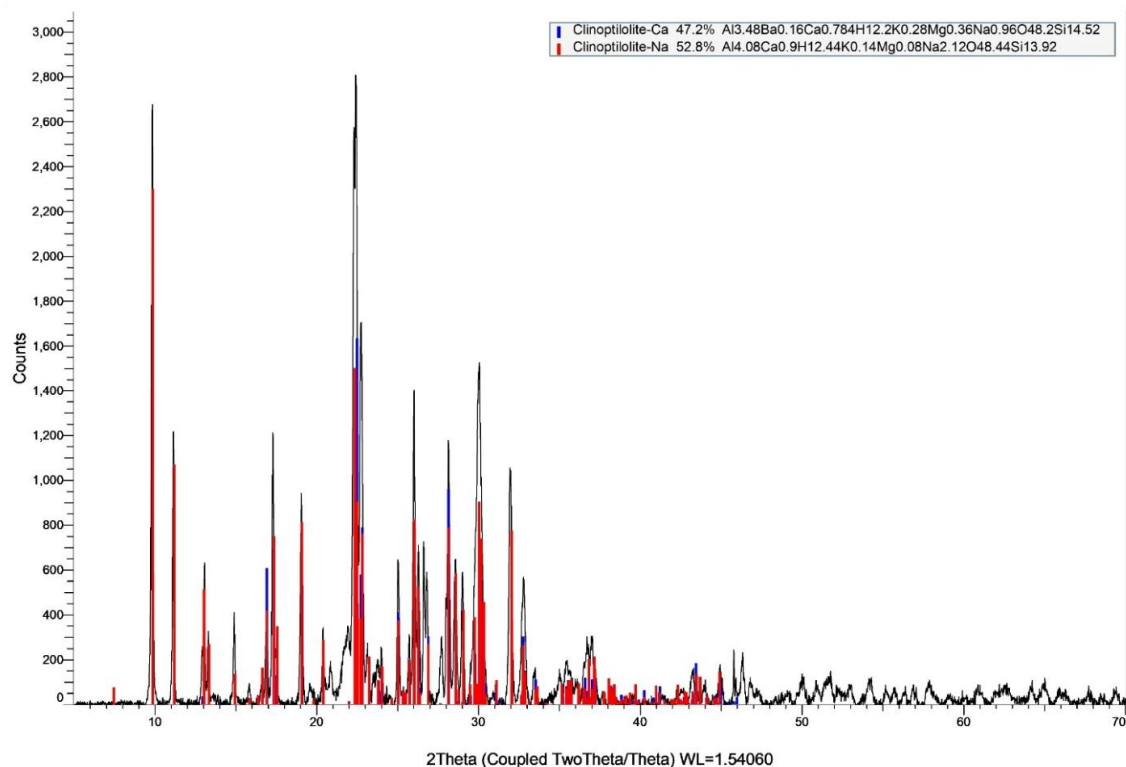
- **Relación Si/Al (molar):** 5.07 ± 0.09 — Técnica: SEM-EDS (Atomic %, promedio 3 campos).
- **Fase mineral (XRD-Rietveld):** Clinoptilolita ≥ 95 –100 %; sin fases accesorias por encima del LOD (instrumento de polvo Cu K α).

Propiedades físicas (realizadas / preliminares)

- **Humedad:** 4.2 % - Técnica: Gravimétrico 105 °C, 24 h.
- **Granulometría (láser):** D50 ≈ 22 μm — Técnica: Difracción láser (ISO 13320).

Este documento consolida los resultados analíticos derivados del reporte técnico de la muestra Z95 y presenta las técnicas empleadas para cada parámetro.

Difractograma XRD: contiene los datos difractométricos en formato original, y gráfico con el difractograma marcado de clinoptilolita.



SEM-EDS: (Micrografías de la muestra Z95 a diferentes aumentos, mostrando la morfología cristalina tipo hojuelas/placas típicas de clinoptilolita)



