



UJAT

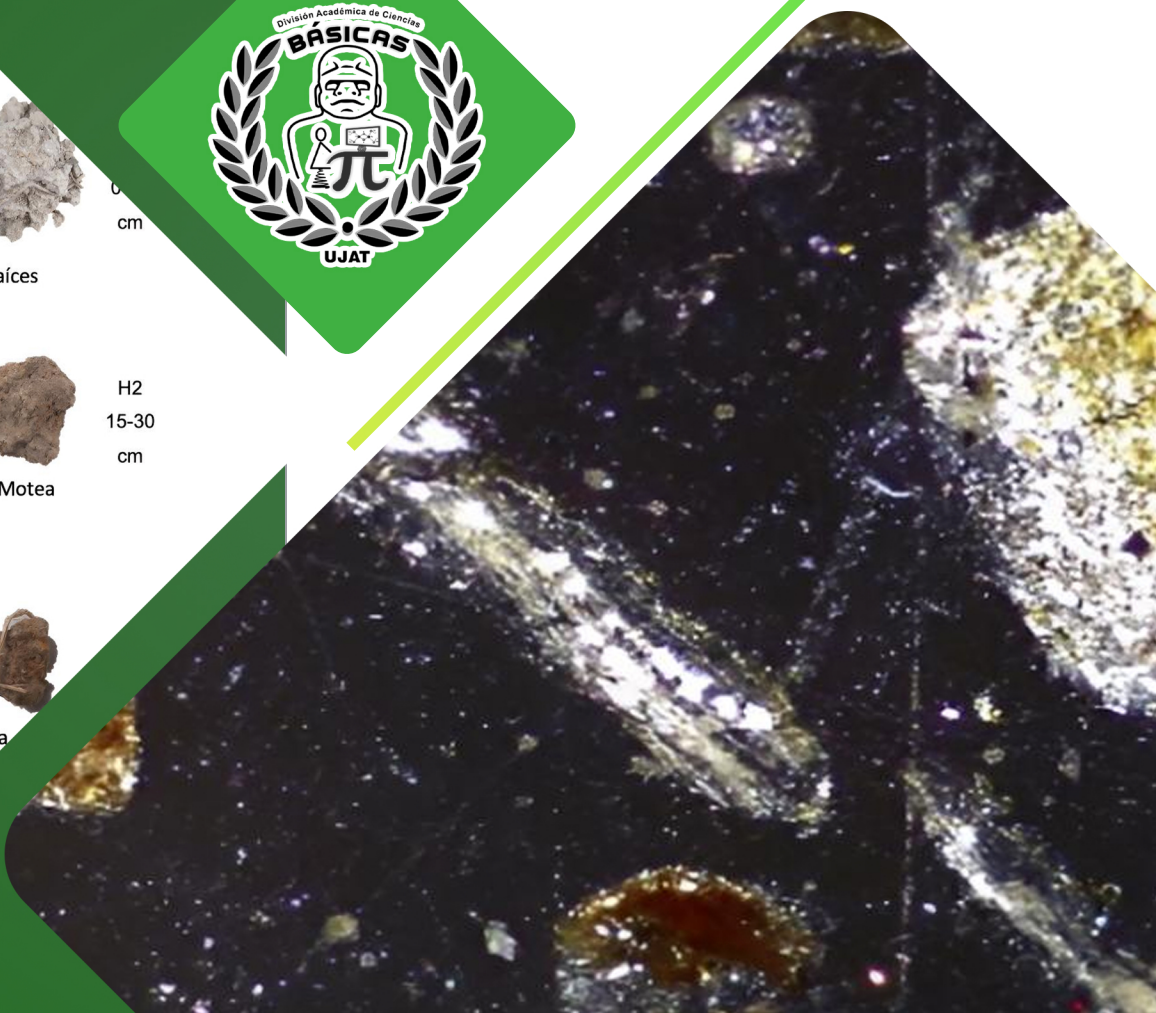
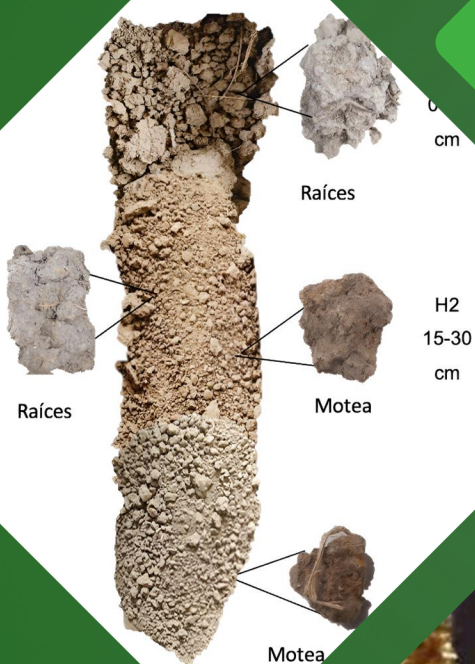
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

JOBS

Journal of Basic Sciences

DACB • UJAT



Nos complace presentar el número 31 del Journal of Basic Sciences, con un conjunto de investigaciones sobre diversas problemáticas ambientales, geocientíficas y tecnológicas, presentes tanto en el estado de Tabasco como en otras regiones del país. A lo largo de las temáticas abordadas en este número, se reflejan los desafíos que generan las actividades humanas sobre el medio ambiente, así como la necesidad de generar soluciones sustentables a partir del conocimiento que se genera en las ciencias básicas y que es aplicado en el desarrollo de tecnologías. El enfoque multi e interdisciplinario característico de esta revista, se refleja al integrar elementos de la química, la física aplicada y las matemáticas, hacia áreas tan diversas como la geografía, la geología, las ciencias ambientales o la biotecnología; ofreciendo un panorama del estado actual de problemáticas específicas y proponiendo al mismo tiempo rutas de acción viables desde una perspectiva técnica, económica y ambiental.

En primer término, se presenta un estudio enfocado a las islas de calor urbano en Villahermosa, Tabasco, en donde a partir de un crecimiento urbano desordenado y la reducción de la cobertura vegetal se han intensificado significativamente las temperaturas locales. Esta situación pone de manifiesto la importancia de incorporar criterios de planificación ecológica en el desarrollo urbano. Por otro lado, se incluye también una evaluación geoquímica de sedimentos lacustres en regiones de San Luis Potosí y Zacatecas, con el objetivo de identificar la concentración y el comportamiento de elementos de tierras raras, con este estudio se aportan datos importantes que permiten entender la evolución geológica de los depósitos sedimentarios analizados, lo que lleva a valorar el potencial económico que representan.

De la misma forma, se presentan dos estudios vinculados a la problemática ambiental generada por la industria petrolera en el estado de Tabasco. Por un lado, se realizó una revisión sistemática de técnicas de remediación contaminados con hidrocarburos, con la finalidad de evaluar su aplicabilidad en función de factores tales como el tipo de suelo, el equipo requerido y la viabilidad. Por otro lado, se exponen los resultados de un estudio realizado en Nacajuca, Tabasco, cuya finalidad fue establecer las alteraciones en el suelo a causa de la contaminación por hidrocarburos, identificando efectos negativos en composición química, estructura y fertilidad.

Así mismo, se incluye una propuesta para aprovechar subproductos agroindustriales generados en Tabasco, implementándolos en procesos de biorremediación, con la finalidad de transformar residuos en insumos útiles para el desarrollo de prácticas sostenibles, con un enfoque de economía circular. Finalmente, se presenta una contribución encaminada a analizar un sistema de celda conectada a un convertidor, desde la perspectiva de la estabilidad energética. Mediante técnicas de control basadas en pasividad, se logra mejorar el rendimiento y comportamiento dinámico del sistema, encaminado a mejorar el desarrollo de tecnologías más limpias y eficientes.

En conjunto, las contribuciones incluidas en este número son una muestra de los distintos esfuerzos encaminados a enfrentar los retos ambientales y tecnológicos actuales, mediante el uso del conocimiento científico y la innovación aplicada, ampliando el entendimiento de fenómenos complejos e impulsando la búsqueda de soluciones prácticas y sostenibles

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Lic. Guillermo Narváez Osorio.
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea.
Secretario de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez.
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión,
Divulgación Científica y Tecnológica

Directorio Divisional División Académica de Ciencias Básicas

Dra. Hermicenda Pérez Vidal.
Directora

Dr. Luis Manuel Martínez González.
Coordinador de Investigación

M.C. Abel Cortazar May.
Coordinador de Docencia

L.Q. Esmeralda León Ramos.
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

CONSEJO EDITORIAL

- **Dr. Carlos Ernesto Lobato García.** Editor en Jefe. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0003-3734-7780>
- **Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.** Gestor Editorial. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-5344-1430>

COMITÉ EDITORIAL

- **Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz.** Editora Asociada. Actuaría. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0002-1791-5621>
- **Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú.** Editora Asociada. Ciencias de la Computación. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0007-7839-9014>
- **Dr. José Arnold González Garrido.** Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-1135-4050>
- **Dr. José Luis Benítez Benítez.** Editor Asociado. Física. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0009-0000-0561-5029>
- **Mtro. Guillermo Chávez Hernández.** Editor Asociado. Geofísica. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-3555-9678>
- **Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé.** Editora Asociada. Matemáticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-7342-0888>
- **Dra. Nancy Romero Ceronio.** Editora Asociada. Química. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-8169-3811>

JOURNAL OF BASIC SCIENCES, Vol. 11, Núm. 31, agosto de 2025, es una publicación continua cuatrimestral, editada por la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040. <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs>. Editor Responsable de la Revista: Carlos Ernesto Lobato García. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-052110084000-203, ISSN: 2448-4997, ambos otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de enero de 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación y de esta Casa Editora.

Las publicaciones respaldadas con el sello editorial de la UJAT no podrán utilizarse para entrenar modelos de IA generativa, a menos de que haya una declaración expresa, tanto de la Universidad como de los autores y/o herederos.

CONTENIDO

	Pág.
Islas de Calor Superficial Urbano en México: Caso de estudio, Villahermosa, Tabasco	1-8
Evaluación de Tierras Raras en sedimentos lacustres, Mesa Central Norte entre San Luis Potosí y Zacatecas, México	9-17
Factibilidad de los diversos tratamientos para derrames de hidrocarburos en suelos en el Estado de Tabasco	18-35
Análisis geoquímico de acumulación de hidrocarburos en suelos de Tucta, Nacajuca	36-51
Valor agregado a residuos agroindustriales como alternativa en la biorremediación de suelos	52-61
Efecto de un control basado en pasividad en un sistema celda-convertidor	62-75

Evaluación de Tierras Raras en sedimentos lacustres, Mesa Central Norte entre San Luis Potosí y Zacatecas, México

**Ruiz-Mendoza, V.^{1,*} , Torres-Sánchez, S. A.¹ , Torres-Hernández, J. R.² , Ortiz-Ochoa G. D.²,
Morales-Bautista, C.M.³ **

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 78290, San Luis Potosí, S.L.P, México

²Instituto de Geología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 78290, San Luis Potosí, S.L.P, México

³División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, CP, 86690 Cunduacán, Tabasco, México

*vivian.ruiz@uaslp.mx

Resumen

Los elementos de Tierras Raras corresponden desde el Lantano al Luterio son elementos químicos menos solubles y relativamente inmóviles durante procesos geológicos tales como el metamorfismo de bajo grado, la erosión y la alteración hidrotermal. En los estados de San Luis Potosí y Zacatecas existen salares de tipo continental que concentran sedimentos lacustres. Estos sedimentos se clasifican como arenosos y arcillo-limosos. En este estudio se evaluaron las Tierras Raras en estos sedimentos para identificar procedencia, ambiente de depositación e intemperismo. Los sedimentos lacustres que contienen más arcillas son ligeramente enriquecidos en Σ REE. Los valores normalizados a condrita muestran un patrón enriquecido en LREE sobre HREE y en sedimentos (NASC). Las anomalías de Eu Y Ce son negativas lo que indica una fuente continental y un ambiente no oxidativo, respectivamente. Mientras que las relaciones de Y/Ho positivos indican el proceso de intemperismo a partir de una fuente de tipo continental.

Palabras claves: *sedimentos lacustres, salares continentales, Elementos de Tierras Raras*

Abstract

The Rare Earth Elements consist of Lanthanum to Lutetium and are chemical elements which are less soluble and relatively immobile during geological processes such as low-grade metamorphism, erosion, and hydrothermal alteration. In the San Luis Potosí and Zacatecas states, there are continental type salars which concentrate lacustrine sediments. These sediments are classified as sandy and clay-silt. In this study, the Rare Earth Elements in these sediments were evaluated to identify provenance, depositional environment, and weathering. The lacustrine sediments contain more clay component are slightly enriched in Σ REE. The values normalized to chondrite show an enriched pattern in LREE against HREE and in sediments (NASC). The Negative Eu and Ce anomalies indicate a continental source and a non-oxidative environment, respectively. Meanwhile, the positive Y/Ho ratios indicate the weathering process also suggest a continental affinity

Keywords: *lacustrine sediments, continental salars, Rare Earth Elements-REE*

Recibido: 27 de noviembre de 2024, Aceptado: 04 de junio de 2025, Publicado: 22 de agosto de 2025

1. Introducción

Los elementos de Tierras Raras (Rare-Earth Elements, REE término en inglés) van del Lantano al Lutecio (números atómicos 57-71). Estos elementos se dividen en dos subgrupos: los de bajo número atómico y masa, denominados tierras raras ligeras (LREE-light rare earth elements) que van de La a Sm; y las que tienen alto número atómico y masa, nombrados tierras raras pesadas (HREE-high rare earth elements) que van de Gd a Lu. Y, por último, se tienen las tierras raras medias (MREE-middle rare earth elements) que aplica a los elementos Pm a Ho [1]. Las características de las REE es que son menos solubles y relativamente inmóviles durante el metamorfismo de bajo grado, la erosión y la alteración hidrotermal; por lo tanto, indicadores efectivos de la fuente de sedimentos cuando se comparan con la corteza continental superior, la corteza oceánica y material del manto [2]. La erosión física y química forma parte del ciclo sedimentario y al igual que el intemperismo afecta a los minerales primarios en las rocas y a varias clases de sedimentos, por ejemplo; carbonatos, evaporitas, areniscas y lutitas. Por lo tanto, la redistribución de REE ha sido objeto de estudio durante las últimas décadas ya que estas se pueden concentrar específicamente en ciertos horizontes de suelos y en áreas dominadas por carbonatos [3]. Además del intemperismo y la erosión otros factores como la transportación, depositación, litificación que incluye la diagénesis y un posible metamorfismo se ven envueltos en el ciclo sedimentario [4].

Este trabajo tiene como objetivo presentar los patrones de distribución de las REE e inferir su procedencia, intemperismo y ambiente de depositación en los sedimentos lacustres que se concentran en siete salares continentales dentro de la Mesa Central Norte entre San Luis Potosí y Zacatecas. Los cuales se han clasificado como arenosos y arcillo-limosos. La mayoría de estos sedimentos provienen de afloramientos circundantes a estos, representados principalmente por secuencias de rocas carbonatadas, rocas volcánicas de composición variada desde basaltos, andesitas a riolitas, así como granitos y rocas metamórficas. Además, las condiciones climáticas de la región de árido a semiárido permiten la evaporación de agua de estos salares continentales favoreciendo la fraccionación por medio del intemperismo y reciclaje de REE concentradas en los sedimentos lacustres.

2. Metodología Experimental

2.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la Mesa Central Norte [5] entre San Luis Potosí y Zacatecas (102°05'00"-101°32'00" y 22°40'00"-23°0'00") cubre un área de 3,200 Km², donde se encuentran los salares El Salitral (ELS), San José Saladillo (SJS), El Tule (ETU), Salinas Hidalgo (SAH), La Mesilla (LAM), Cornejo (COR) y El Tapado (ETA) (Fig. 1a-b). La elevación promedio en el área va de 1940 a 2600 m.s.n.m. El clima en la región es árido a semiárido con lluvias en verano lo que permite crear reservorios de agua concentrando sedimentos en zonas lacustres dentro de cuencas endorreicas. La geología del área está representada por rocas metamórficas del Jurásico Superior al Cretácico Inferior. Secuencias volcanosedimentarias (andesitas y areniscas); calizas, lutitas y areniscas del Cretácico Inferior y un plutón granodiorítico del Cretácico Superior. Seguido por riolitas, tobas y brechas riolíticas; y conglomerados continentales del Oligoceno. Las litologías más jóvenes están representadas por basaltos del Pleistoceno, sinters, sedimentos lacustres, evaporitas y aluvión [6].

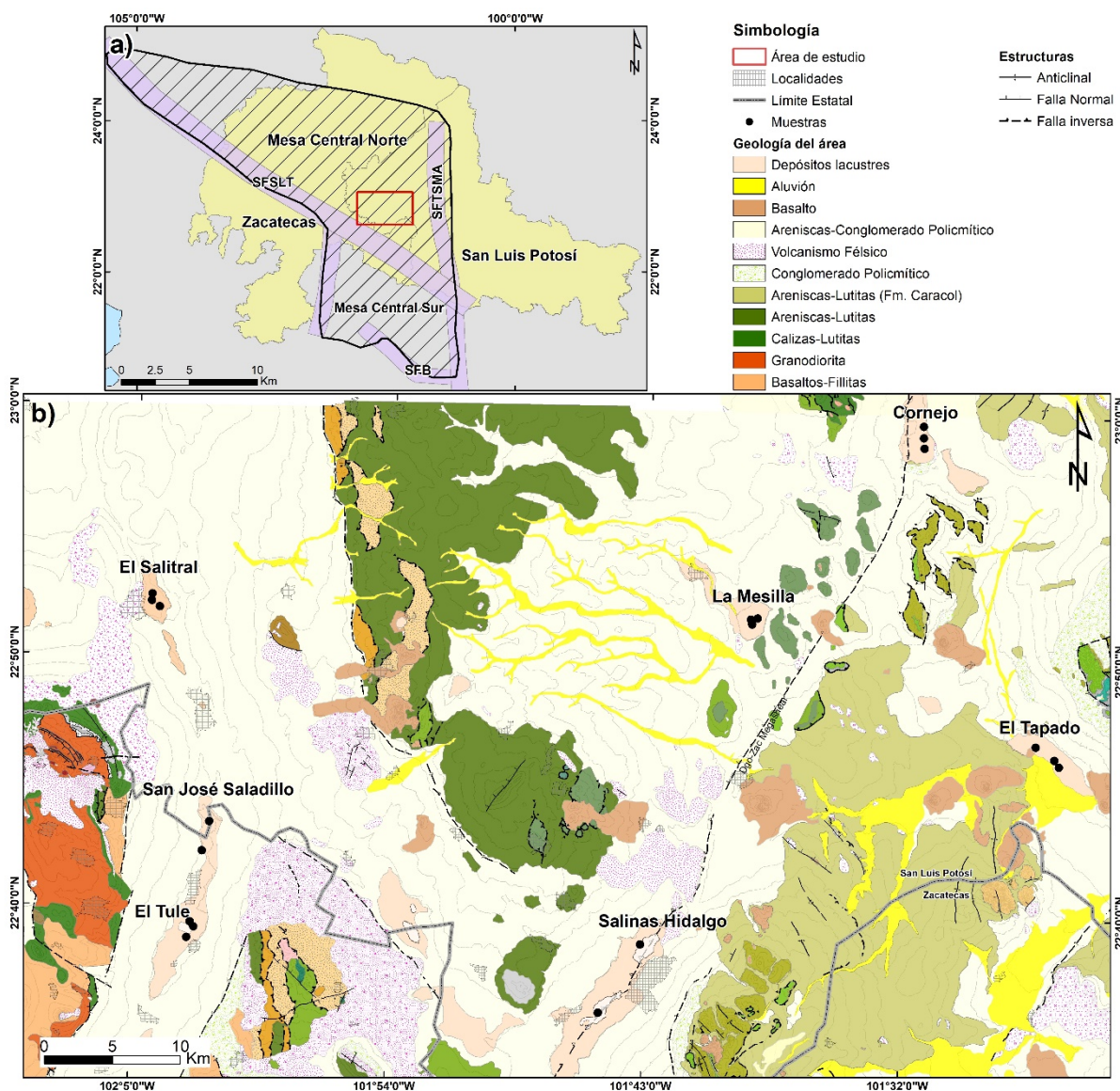


Figura 1. Localización del área de estudio. a) En línea achurada se marca la Mesa Central, la Mesa Central Norte se divide de la del Sur por el Sistema de Fallas San Luis Tepehuanes (SFSLT) (Modificado de [cf.5]). b) Mapa geológico del área de estudio, localización de los salares continentales y en círculos negros las 19 muestras analizadas para este estudio.

2.2 Recolección de muestras y análisis

El trabajo de campo consistió en la recolección de 64 muestras de sedimentos distribuidas en una malla de 500 x 500 m. en cada uno de los siete salares antes mencionados. En la toma de muestras se realizó una trinchera de 1m. de largo x 50 cm. de profundidad, donde se obtuvo una muestra de aproximadamente 600 gr. que se colectaron en bolsas de tela para su posterior secado al aire libre [7]. Cada muestra se etiquetó con las primeras tres letras de cada salar y numeradas consecutivamente. Posterior, las muestras fueron ligeramente desmoronadas con la mano para deshacer aglomerados de los sedimentos y se tamizaron con la malla #80 (180µm) para remover fracciones gruesas. Se seleccionaron 19 muestras que se enviaron al laboratorio Actlabs en Canadá para análisis de Tierras Raras usando ICPOES+ICPMS con Fusión de Peróxido de Sodio.

3. Resultados

3.1 Trabajo de campo

En los siete salares seleccionados los sedimentos presentan una textura al tacto arenosa y arcillo-limosa. La estructura es granular en los sedimentos que son arenosos y ligeramente en bloque los que son más arcillo-limosos. La capa superior de los sedimentos cuando pierden humedad es laminar y varía de espesor de 1 a 3 cm. La tonalidad de la mayoría de los sedimentos consiste en variaciones que van desde gris, verde y café. En el salar San José Saladillo y de Cornejo los sedimentos más arenosos varían en tamaño de gravas en la parte superficial y de muy gruesa a gruesa, hacia la profundidad (50 cm). La composición de estos sedimentos observada en muestra de mano y que se presenta del tamaño de las gravas consiste en fragmentos minerales de cuarzo, fragmentos líticos de volcánicos de los cuales se identifican basaltos y riolitas. En los salares del Salitral, San José Saladillo, El Tule y Cornejo se observa una ligera capa de cristalización por sales.

3.2 Tratamiento de datos

En la Tabla 1 se muestran las concentraciones de REE (ppm) obtenidas del laboratorio. De estos datos se calcularon once variables que incluyen la suma total de las (Σ REE), las REE ligeras (LREE), las REE medias (MREE), las REE pesadas (HREE); las anomalías de Ce y Eu, tanto para condrita como para sedimentos. Σ REE comprende la suma de trece REE; LREE incluye La, Ce, Pr, Nd, Sm; MREE incluye Eu, Gd, Tb, Dy; HREE incluye Ho, Er, Tm Yb, [cf. 3]. Posterior, estas concentraciones de REE (ppm) fueron normalizados con los factores de condrita (C) y de sedimentos (*NASC—North American Shales Composite*) [cf. 1]. Las anomalías de Ce y Eu normalizados se calcularon con respecto a los elementos contiguos a estos elementos, utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Eu/Eu}^* = \text{Eu}_C / \sqrt{(\text{Sm}_C \times \text{Gd}_C)} \quad (1)$$

$$\text{Ce/Ce}^* = 5\text{Ce}_C / [4\text{La}_C + \text{Sm}_C] \quad (2)$$

Donde Eu_C , Sm_C , Gd_C , Ce_C , y La_C representan las concentraciones de REE en condrita y de igual manera se utilizaron estas fórmulas para las anomalías de Ce y Eu de sedimentos, utilizando el acrónimo (*NASC*). También se calcularon los ratios de La/Yb tanto para condrita y sedimentos (*NASC*); y los ratios de Y/Ho (mol mol⁻¹) sin normalización de condrita ni de sedimentos.

Tabla 1. Concentraciones de Tierras Raras (ppm) de los sedimentos en los salares continentales

Muestra	SAH-003	SAH-009	ELS-016	ELS-019	ELS-023	SJS-026	SJS-031	ETU-035	ETU-037	ETU-039
La	24.2	25.4	23.8	22.3	16.4	22.4	22.6	32.6	23.3	12.7
Ce	44.4	51.2	81.5	24.3	26.8	43.3	39.3	60.5	40.5	27.4
Pr	6	6.6	4.9	6.4	4.3	5.5	5.6	8	5.6	3.3
Nd	23.3	27.2	18.4	24.4	17.3	21.8	21.3	31.6	22.5	12.1
Sm	4.8	5.5	3.4	5	3.3	4.1	4.1	6.5	4.2	2.6
Eu	0.9	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	0.9	0.6
Gd	4.5	5.7	3.1	5.4	4.3	4.2	3.6	6.3	4.1	2.9
Tb	0.6	0.9	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6	1.1	0.6	0.4
Dy	3.5	4.8	2.7	3.9	3.2	3.3	2.9	5.7	3.7	2
Ho	0.8	0.9	0.4	0.8	0.7	0.7	0.5	1.2	0.8	0.4
Er	2.4	3.1	1.5	2.7	2.3	2.3	1.8	4.1	2.2	1.3
Tm	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.4	0.2
Yb	2.4	2.7	1.4	2.1	2.3	1.9	1.8	3.5	2.2	1.5
Y	21.3	30	14.9	25.6	21.5	19.9	16.1	33.6	23.5	12.9

ΣREE	118.1	135	142.7	99.2	82.6	111.2	105.2	162.7	111	67.4
LREE	102.7	115.9	132	82.4	68.1	97.1	92.9	139.2	96.1	58.1
MREE	9.5	12	7.1	10.8	8.9	8.9	7.9	14.1	9.3	5.9
HREE	5.9	7.1	3.6	6	5.6	5.2	4.4	9.4	5.6	3.4
Ce/Ce_C*	0.788	0.860	1.505	0.463	0.701	0.836	0.752	0.797	0.752	0.925
Eu/Eu_C*	0.597	0.330	0.760	0.474	0.655	0.594	0.642	0.482	0.668	0.673
Ce/Ce_{NASC}*	0.475	0.498	1.041	0.264	0.420	0.522	0.472	0.479	0.473	0.550
Eu/Eu_{NASC}*	0.850	0.470	1.081	0.675	0.932	0.846	0.914	0.686	0.952	0.959
La/Yb_C	6.524	6.087	11	6.871	4.613	7.628	8.124	6.026	6.852	5.478
La/Yb_{NASC}	0.976	0.911	1.646	1.028	0.690	1.142	1.216	0.902	1.025	0.820
Y/Ho	56.969	71.323	79.703	68.469	65.718	60.828	68.897	59.911	62.853	69.004

Muestra	LAM-041	LAM-042	LAM-045	ETA-048	ETA-049	ETA-055	COR-057	COR-64	COR-061	$\bar{x}$ Suelos mundiales [6]
La	31.7	30.1	28.7	8.9	12.3	16.3	7	14.3	24.2	27
Ce	60.7	56.3	54.7	17.7	27.6	33.5	13.9	23.3	49.4	56.7
Pr	7.8	7.6	7.5	2.2	3.3	4.1	1.8	3.7	6.2	7.0
Nd	32.2	27.8	28.7	9.1	11.8	16	6.9	12.8	24.1	26
Sm	6	5.4	6.4	1.4	2.6	3.2	1.6	2.7	4.3	4.6
Eu	0.9	0.9	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.7	0.8	1.4
Gd	6.5	5	5.9	1.7	2.6	3.4	1.7	2.6	4.9	3.9
Tb	1	0.8	1	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.7	0.63
Dy	5.9	4.5	5.3	1.2	2	2.5	1.1	1.8	3.9	3.6
Ho	1.2	1.1	1.2	0.3	0.4	0.6	0.2	0.4	0.8	0.72
Er	3.9	3.3	3.5	0.8	1.4	1.9	0.9	1.4	2.9	2.2
Tm	0.5	0.5	0.5	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.4	0.37
Yb	3.5	2.8	3.2	0.8	1.5	1.9	0.8	1.3	2.9	2.6
Y	32.9	30.1	31.9	8.9	14	17.9	7.3	12.9	24.8	33
ΣREE	161.8	146.1	147.4	44.9	66.3	84.7	36.5	65.5	125.5	136.72
LREE	138.4	127.2	126	39.3	57.6	73.1	31.2	56.8	108.2	121.3
MREE	14.3	11.2	13	3.6	5.2	6.9	3.3	5.4	10.3	9.53
HREE	9.1	7.7	8.4	2	3.5	4.7	2	3.3	7	5.89
Ce/Ce_C*	0.826	0.810	0.811	0.869	0.959	0.884	0.843	0.703	0.884	
Eu/Eu_C*	0.444	0.534	0.401	0.799	0.355	0.467	0.374	0.814	0.537	
Ce/Ce_{NASC}*	0.508	0.510	0.463	0.578	0.562	0.535	0.476	0.433	0.559	
Eu/Eu_{NASC}*	0.632	0.760	0.571	1.138	0.506	0.665	0.532	1.159	0.765	
La/Yb_C	5.860	6.955	5.803	7.198	5.305	5.551	5.661	7.117	5.399	
La/Yb_{NASC}	0.877	1.041	0.868	1.077	0.794	0.831	0.847	1.065	0.808	
Y/Ho	58.662	58.549	56.879	63.477	74.889	63.833	78.098	69.004	66.330	

Nota: Ce/Ce_C* y Eu/Eu_C son los valores normalizados a condrita [cf. 1]; Ce/Ce_{NASC}* y Eu/Eu_{NASC}* son los valores normalizados NASC [cf. 1];

$\bar{x}$ —valores promedio de suelos mundiales [8]; los radios de Y/Ho se encuentran en mol mol⁻¹.

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio ($\bar{x}$) ΣREE de los sedimentos por cada salar y los calculados de la normalización de las concentraciones de REE para las anomalías de Ce_C y Eu_C en condrita; y Ce_{NASC} y Eu_{NASC} en sedimentos. Así también los radios de La/Yb_C y La/Yb_{NASC}.

Tabla 2. Valores promedio ($\bar{x}$) ΣREE de cada salar, los normalizados de las anomalías de Ce y Eu, y los radios de La/Yb tanto para condrita (C) como para sedimentos (NASC).

Salares	($\bar{x}$) ΣREE	($\bar{x}$) Ce/Ce _C *	($\bar{x}$) Eu/Eu _C *	($\bar{x}$) Ce/Ce _{NASC} *	($\bar{x}$) Eu/Eu _{NASC} *	($\bar{x}$) La/Yb _C	($\bar{x}$) La/Yb _{NASC}
SAH	126.550	0.824	0.463	0.487	0.660	6.305	0.944
ELS	108.166	0.890	0.630	0.575	0.896	7.494	1.122
SJS	108.200	0.794	0.618	0.497	0.880	7.876	1.179
ETU	113.700	0.825	0.608	0.501	0.865	6.119	0.916
LAM	151.766	0.815	0.460	0.494	0.654	6.206	0.929
ETA	65.300	0.904	0.541	0.558	0.770	6.018	0.901
COR	75.833	0.810	0.575	0.489	0.819	6.059	0.907

3.3 Concentración de REE en los sedimentos

Utilizando los valores de Σ REE (ppm) de los sedimentos sin normalizar que se muestran en la Tabla 1, las muestras ELS-016, ETU-035, LAM-041, LAM-042 y LAM-045, sin ligeramente altas con un rango que va de (142.7-162.7) y los valores bajos tienen un rango de (36.5-135) en el resto de los sedimentos en comparación con el promedio de Σ REE de los suelos mundiales de (136.72). Las LREE son ligeramente altas en las muestras ELS-016, ETU-035, LAM-041, LAM-042 y LAM-045 con un rango de (132-139.2) y los valores bajos en las demás muestras entre un rango de (31.2-115.9) en comparación con el promedio de LREE (121.3). Para las MREE se tiene que para las muestras SAH-009, ELS-019, ETU-035, LAM-041, LAM-042, LAM-045 y COR-065 son ligeramente altas con un rango que va de (10.3-14.3) y el resto de las muestras tiene un valor bajo con un rango de (3.3-9.5) en comparación del promedio de los suelos mundiales MREE (9.53). Y para las HREE las muestras que son ligeramente altas son SAH-009, ELS-019, ETU-035, LAM-041, LAM-042, LAM-045, COR-061 con rangos que van de (6-9.4) y el resto de las muestras con valores bajos que van en un rango de (2-5.9) en comparación con el promedio de los suelos mundiales de (5.89).

Correlacionando estos valores con las observaciones de campo clasificando los sedimentos de arenosos y arcillo-limosos; las muestras el ETU-035 y LAM (041-042-045); son ligeramente más arcillosas que el resto de las muestras, debido al ligero enriquecimiento de Σ REE. Debido a que la concentración de REE por el tamaño de grano puede variar de acuerdo con [9] los minerales arcillosos tienen mucho más alta la concentración de REE que las fracciones limosas.

3.4 Normalización de condrita y sedimentos (NASC)

La Figura 2 muestra los patrones de REE normalizados de condrita y sedimentos (NASC) evaluados con los promedios de cada uno de los salares. En el patrón de REE para condrita (Fig. 2a) se observa un enriquecimiento en LREE con respecto a HREE [(La/Yb)_C = 6.01-7.87. Mostrando que los sedimentos provienen de una roca parental de la corteza continental superior.

El patrón normalizado de REE para sedimentos (NASC) (Fig. 2b) se observa un ligero enriquecimiento de HREE con respecto a LREE en los salares El Salitral (ELS) y San José Saladillo (SJS) con el rango La/Yb_{NASC} (1.12-1.17). Mientras que en los demás salares los valores tienen un rango de La/Yb_{NASC} (0.90-0.94). La normalización de los ratios de La/Yb_{NASC} son un indicador que demuestra el empobrecimiento de LREE sobre HREE.

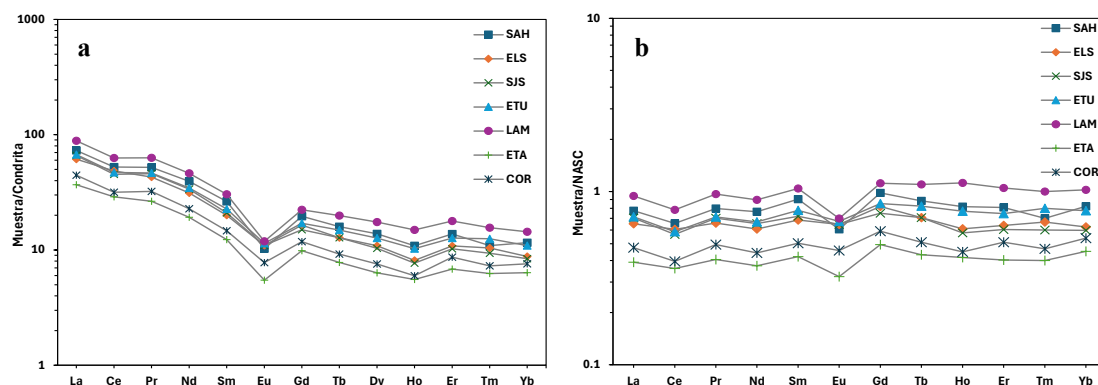


Figura 2. Diagramas de los valores promedio normalizados (ppm) de las concentraciones de REE en los sedimentos de los siete salares continentales. a) Diagrama para condrita normalizada-REE. B) Diagrama para normalización de sedimentos (NASC)-REE. Salinas Hidalgo (SAH), El Salitral (ELS), San José Saladillo (SJS), El Tule (ETU), La Mesilla (LAM), El Tapado (ETA) y Cornejo (COR).

El patrón que se observa de REE contra NASC tiene una tendencia plana entre LREE y HREE (Fig.2b) indicando una posible fuente de los sedimentos relacionada con la litología y sugieren cortas distancia de transporte en el área de estudio. Las REE son fácil de remover de los minerales arcillosos en condiciones neutrales o alcalinas y llegan a mezclarse durante la erosión, el transporte en ríos y en aguas superficiales, la movilización de REE ocurre durante el intemperismo siendo poco probable e insignificante durante la erosión y el transporte [cf.1]. Los salares continentales donde se concentran estos sedimentos están conformados principalmente por calcita, dolomita, cuarzo, ortoclasa, albita, illita-moscovita, etc., [cf. 6] lo que da alcalinidad al sistema ya que las aguas alcalinas de origen lacustre interactúan con rocas que donan más fácilmente Na^+ y K^+ que Ca^+ [10]. Otros factores que influyen en la alcalinidad es el clima árido y la poca precipitación en la región.

3.5 Anomalías de Ce y Eu

En los valores normalizados y promediados (ver Tabla 2) de las anomalías de Ce para condrita ($(\bar{x})\text{Ce}/\text{Cec}^*=0.79-0.90$) y para sedimentos (NASC) ($(\bar{x})\text{Ce}/\text{Ce}_{\text{NASC}}^*=0.48-0.57$) indican anomalías negativas. Cuando las anomalías de Ce son valores ligeramente altos (>1.0) denotan que las condiciones son oxidantes [cf. 2]. Estas anomalías negativas en los sedimentos sugieren que las condiciones ambientales en el momento de la depositación de estos no han sido oxidantes.

De igual manera las anomalías de Eu tanto para para condrita ($(\bar{x})\text{Eu}/\text{Eu}_c^*=0.46-0.63$) y sedimentos (NASC) ($(\bar{x})\text{Eu}/\text{Eu}_{\text{NASC}}^*=0.65-0.89$) son negativas, marcando una posible fuente proveniente de rocas félsicas y areniscas que se describe en la geología del área.

3.6 Radios Y/Ho

Los radios Y/Ho indican el proceso de intemperismo debido a que Y muestra una tendencia a ser absorbido por partículas sólidas en el proceso de interacción agua-roca y Ho se lixivía más fácil por lo que resulta en el aumento en las relaciones de Y/Ho en el intemperismo [cf.3]. Los radios molares de Y/Ho de las muestras tienen un rango de (56.88-79.70) y en promedio de 65.96 indicando la fraccionación de una fuente continental. En la Figura 3 se muestran los radios Y/Ho donde se observa una tendencia positiva con $\text{La}_{\text{NASC}}/\text{Yb}_{\text{NASC}}$ ya que el Y se desvía de Ho durante el proceso de intemperismo tal como sugieren [cf.3].

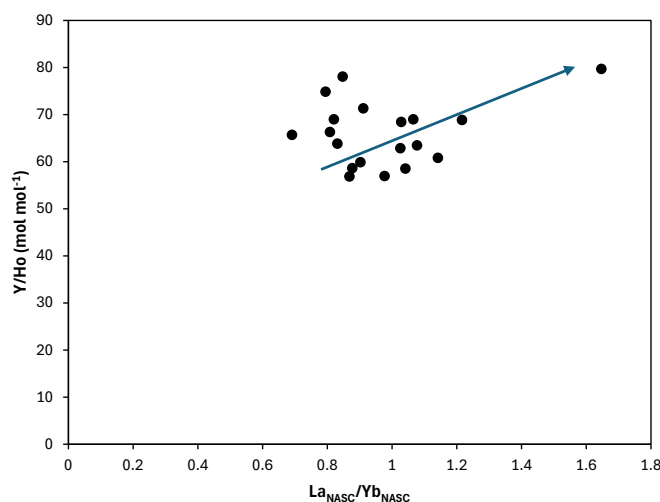


Figura 3. Diagrama $\text{La}_{\text{NASC}}/\text{Yb}_{\text{NASC}}$ contra Y/Ho, con tendencia positiva

4. Conclusiones

Los sedimentos lacustres que contienen más arcillas están ligeramente enriquecidos en Σ REE. En este estudio se evaluaron los valores normalizados de condrita y de sedimentos (NASC) para identificar mejor la fuente de origen de los sedimentos. Los valores normalizados a condrita muestran un patrón enriquecido en LREE sobre HREE. En la normalización de sedimentos (NASC) se observa un patrón plano entre LREE y HREE indicando que la posible fuente de los sedimentos se relaciona con la litología y que el transporte de estos no es tan alto en el área de estudio. Se observa una anomalía negativa de Eu tanto para condrita como para sedimentos (NASC). Mientras que el valor promedio de la anomalía Eu tiene un rango para condrita de $(\bar{x})\text{Eu}/\text{Eu}_C^*=0.46\text{-}0.63$ y sedimentos $(\bar{x})\text{Eu}/\text{Eu}_{\text{NASC}}^*=0.65\text{-}0.89$ indicando que los sedimentos provienen de fuentes félsicas y sedimentarias (areniscas) de la corteza continental superior. Las anomalías de Ce son negativas, con valor promedio para condrita $(\text{Ce}/\text{Ce}_C^*=0.79\text{-}0.90)$ y sedimentos $(\text{Ce}/\text{Ce}_{\text{NASC}}^*=0.48\text{-}0.57)$ indicando un ambiente no oxidativo. Los salares continentales donde se concentran los sedimentos lacustres son alcalinos, permitiendo la movilización de las REE en las arcillas, pero sin transportarse y los ratios de Y/Ho positivos, indican el proceso de intemperismo de una fuente continental que se deposita y recicla en los salares continentales.

5. Agradecimientos

La autora agradece al CONAHCYT el apoyo otorgado para la realización del proyecto #2321409 con Beca de estancia Posdoctoral por México [CVU 270565]. Bajo la supervisión de la Dra. Sonia Alejandra Torres Sánchez. Asimismo, le agradece a la Dra. Sonia Torres Rivera, y al Geólogo Stephen P. de Wit por su valioso apoyo en la toma de muestras.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaramos que no existen conflictos de intereses que puedan influir en los resultados, el análisis o la interpretación de los datos presentados en este manuscrito. Así mismo, hacemos constar que no se ha utilizado inteligencia artificial en la redacción, análisis, ni en el desarrollo del presente trabajo

7. Referencias

- [1] P. Henderson, *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1984.
- [2] O. C. Adeigbe and A. Y. Jimoh, "Rare Earth Elements Fingerprints: Implications for Provenance, Tectonic and Depositional Settings of Clastic Sediments of Lower Benue Trough, Southeastern Nigeria," *New York Science Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 11–26, 2014. [Online]. Available: https://www.sciencepub.net/newyork/ny0702/003_22741ny070214_11_26.pdf
- [3] G. Han, Q. Yang, Q. Wu, F. Li, M. Liu, and L. Wang, "Geochemistry of rare earth elements in soils under different land uses in a typical karst area, Guizhou Province, Southwest China," *Can. J. Soil Sci.*, vol. 97, no. 4, pp. 606–612, 2017, doi: 10.1139/cjss-2017-0043.
- [4] S. R. Taylor and S. M. McLennan, *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications, 1985.
- [5] A. F. Nieto-Samaniego, S. A. Alaniz-Álvarez, J. L. García-Díaz, J. A. Ramírez-Fernández, B. A. Ortega-Flores, and I. Israde-Alcántara, "Una revisión de la geología y evolución tectónica cenozoicas de la Mesa

Central de México,” *Rev. Mex. Cienc. Geol.*, vol. 40, no. 2, pp. 187–213, 2023, doi: 10.22201/cgeo.20072902e.2023.2.1736.

[6] V. Ruiz-Mendoza, R. Villafuerte-Rivera, M. T. García-González, and M. López-Hernández, “An approach to Li-clays in continental salars in the Mesa Central, between San Luis Potosí and Zacatecas, Mexico,” in *Proc. 60th Annu. Meet. Clay Mineral Soc.*, 2023, p. 81.

[7] A. Horta, B. P. Malone, U. Stockmann, B. Minasny, T. F. A. Bishop, A. B. McBratney, R. Pallasser, and L. Pozza, “Potential of integrated field spectroscopy and spatial analysis for enhanced assessment of soil contamination: A prospective review,” *Geoderma*, vol. 241–242, pp. 180–209, 2015, doi: 10.1016/j.geoderma.2014.11.024.

[8] M. Sager and O. Wiche, “Rare earth elements (REE): Origins, dispersion, and environmental implications—A comprehensive review,” *Environments*, vol. 11, no. 2, pp. 1–50, 2024, doi: 10.3390/environments11020024.

[9] K. R. Randive, S. Ganguly, and S. D. Sharma, “Understanding the behavior of rare earth elements in minerals and rocks,” *Gondwana Geol. Mag.*, vol. 29, pp. 29–37, 2014.

[10] B. M. Tutolo and N. J. Tosca, “Dry, salty, and habitable: The science of alkaline lakes,” *Elements*, vol. 19, no. 1, pp. 10–14, 2023, doi: 10.2138/gselements.19.1.10.