




# Studio dell'adsorbimento nel carbone attivo ricavato dalla bagassa del Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] proveniente da Zapotitlán Salinas, Puebla

## Estudio de adsorción en Carbón Activado elaborado a partir de bagazo del Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] de Zapotitlán Salinas, Puebla

López-Vigil, Miriam Silvia \*<sup>a</sup>, Gómez-Flores, Nidia Esther<sup>b</sup>, Santos-Alvarado, Héctor<sup>c</sup> e Islas-Torres, Héctor<sup>d</sup>

<sup>a</sup>  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  AIE-6933-2022 •  0000-002-7424-0109 •  300532

<sup>b</sup>  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  NSU-9258-2025 •  0009-0004-6289-7180

<sup>c</sup>  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  LNR-3679-2024 •  0000-0001-6504-7190 •  621174

<sup>d</sup>  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  LNR-4392-2024 •  0000-0003-2884-868X •  625375

**Classificazione:**

**DOI:** <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.1.7>

Area: Ingegneria

Settore: Ingegneria industriale

Disciplina: Controllo qualità

Sottodisciplina: Caratterizzazione delle risorse naturali.

### Punti chiave del manuale

Il presente lavoro descrive uno studio sulle caratteristiche di adsorbimento di un carbone attivo prodotto dalla bagassa di Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] della regione di Zapotitlán Salinas, Puebla, Messico. La bagassa di maguey è un residuo agricolo prodotto nei processi di ottenimento della tequila e del mezcal, il cui utilizzo per la produzione di un prodotto di alto valore commerciale come il carbone attivo costituisce un'alternativa sostenibile e di economia circolare. L'*Agave marmorata* presenta una variabilità naturale propria delle condizioni geografiche del suo habitat, delle condizioni ambientali, dell'adattamento e della differenziazione genetica, tra gli altri fattori, pertanto, inizialmente è stata effettuata una caratterizzazione morfologica, fisica e chimica della specie in studio [López-Vigil, et al., 2024] per poi condurre studi sullo sfruttamento delle sue potenzialità, come l'ottenimento di carbone attivo. A livello di laboratorio è stato ottenuto carbone attivo utilizzando due metodi di attivazione, attivazione fisica e attivazione chimica, utilizzando come agente attivatore il carbonato di potassio anidro in due livelli di concentrazione, 40% e 60%, seguito dallo studio delle sue proprietà di adsorbimento, che vengono presentate in questo lavoro. La ricerca è stata sviluppata nel Laboratorio di Ingegneria Ambientale del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán e condotta dai membri del Corpo Accademico ITTEH-CA-2 Gestione e Competitività Aziendale nell'ambito dello sviluppo del progetto di ricerca "Applicazioni sostenibili e pertinenti del Maguey Pitzometl [*Agave Marmorata*], Risorsa Endemica e Importante della Regione di Zapotitlán Salinas Puebla", Codice 23734.25-P.

**Area:** Advocacy e attenzione ai problemi nazionali

**Citazione:** López-Vigil, Miriam Silvia, Gómez-Flores, Nidia Esther, Santos-Alvarado, Héctor e Islas-Torres, Héctor. 2025. Studio dell'adsorbimento nel carbone attivo ricavato dalla bagassa del Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] proveniente da Zapotitlán Salinas, Puebla. 1-7. PIREQA.

\* ✉ [\[miriamsilvia.lv@tehuacan.tecnm.mx\]](mailto:miriamsilvia.lv@tehuacan.tecnm.mx)

**URL dello scaffale del manuale:** <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



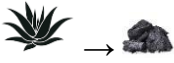
ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



## Sommario

La bagassa di maguey è il residuo fibroso ottenuto dopo l'estrazione dei succhi zuccherini dal cuore dell'agave [ananas] durante la produzione di mezcal e tequila. Si stima che per ogni litro di mezcal o tequila prodotto, vengano generati tra i 2 e i 5 kg di bagassa umida [Soto-Cruz et al., 2017]. Questi scarti sono composti principalmente da cellulosa, emicellulosa e lignina, oltre che da composti organici residui e ceneri. Il loro accumulo rappresenta un problema ambientale e di gestione dei rifiuti nelle regioni produttrici. Questo studio espone la valorizzazione come materia prima della bagassa di Maguey Pitzometl della regione di Zapotitlán Salinas Puebla, in Messico, per ottenere carbone attivo, un prodotto a valore aggiunto che rappresenta una strategia di economia circolare e sostenibilità ambientale.

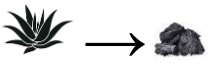
Studio dell'adsorbimento nel carbone attivo ricavato dalla bagassa del Maguey Pitzometl [ <i>Agave marmorata</i> ] proveniente da Zapotitlán Salinas, Puebla		
Obiettivo	Metodologia	Contributo
<p>Valutare le caratteristiche di adsorbimento del carbone attivo ottenuto dalla bagassa di Maguey Pitzometl.</p> 	<p>Definizione del disegno unifattoriale, preparazione della soluzione standard, preparazione delle prove sperimentali in triplicato per ciascun livello del fattore da valutare, sviluppo sperimentale, analisi dei risultati.</p>	<p>Le caratteristiche di adsorbimento del carbone attivo prodotto dalla bagassa di Maguey Pitzometl sono state valutate con un disegno unifattoriale con variabile di risposta % di adsorbimento del blu di metilene del fattore Carbone Attivo [CA] con 4 livelli: CA commerciale, CA prodotto per attivazione fisica, CA prodotto per attivazione chimica al 40% di attivatore e CA prodotto per attivazione chimica al 60% di attivazione. Il CA oggetto dello studio non presenta differenze statisticamente significative nelle caratteristiche di adsorbimento rispetto al CA commerciale.</p>

### Carbone attivo, Adsorbimento, Bagassa, *Agave marmorata*

#### Resumen

El bagazo de maguey es el residuo fibroso que se obtiene tras la extracción de los jugos azucarados del corazón del agave [piña] durante la producción de mezcal y tequila. Se estima que por cada litro de mezcal o tequila producido se generan entre 2 y 5 kg de bagazo húmedo [Soto-Cruz et al., 2017]. Este residuo está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, además de compuestos orgánicos residuales y cenizas. Su acumulación representa un problema ambiental y de manejo de residuos en las regiones productoras.

El presente estudio expone la valorización como materia prima del bagazo de Maguey Pitzometl de la Región de Zapotitlán Salinas Puebla, México, para obtener carbón activado, producto de valor agregado que representa una estrategia de economía circular y sostenibilidad ambiental.

Estudio de adsorción en Carbón Activado elaborado a partir de bagazo del Maguey Pitzometl [ <i>Agave marmorata</i> ] de Zapotitlán Salinas, Puebla		
Objetivo	Metodología	Contribución
<p>Evaluar las características de adsorción del carbón activado obtenido del bagazo de Maguey Pitzometl</p> 	<p>Definición del Diseño Unifactorial, preparación de solución estándar, elaboración de ensayos experimentales por triplicado por cada nivel del factor a evaluar, desarrollo experimental, análisis de resultados.</p>	<p>Se evaluaron las características de adsorción del carbón activado producido a partir del bagazo de Maguey Pitzometl bajo un diseño unifactorial con variable de respuesta % de Adsorción de azul de metileno del factor Carbón Activado [CA] con 4 niveles: CA comercial, CA producido por Activación Física, CA producido por Activación Química al 40% de activador y CA producido por activación Química al 60% de activación. El CA en estudio no tiene diferencia estadísticamente significativa en características de adsorción que el CA comercial.</p>

### Carbón Activado, Adsorción, Bagazo, *Agave marmorata*

## Introduzione

La bagassa di maguey rappresenta una fonte rinnovabile, abbondante e sostenibile di materia prima per la produzione di carbone attivo. Il suo utilizzo mitiga l'impatto ambientale associato all'industria del mezcal e della tequila, promuove l'economia circolare e l'uso efficiente dei rifiuti agroindustriali e consente di ottenere carboni attivi ad alto rendimento, con applicazioni nella rimozione di contaminanti dall'acqua e dall'aria, tra le altre importanti applicazioni, trasformando così un rifiuto problematico in una risorsa strategica nelle tecnologie ambientali sostenibili.

Il carbone attivo è un materiale carbonioso con una struttura molto porosa e una superficie specifica molto elevata, pari a centinaia o addirittura più di mille metri quadrati per grammo, che gli consente di assorbire contaminanti, tossine, composti organici e altri composti [Charcoal House, s/f].

Tra le principali applicazioni del carbone attivo vi è il suo ampio utilizzo nel trattamento dell'acqua e delle acque reflue, poiché è in grado di rimuovere cloro, composti organici, pesticidi, odori e altri composti. Viene inoltre utilizzato nei processi di filtrazione dell'aria, recupero di solventi, industria chimica e trattamento dei gas [NOSB, 2002].

La capacità adsorbente di un carbone attivo dipende dalla sua porosità, che può essere a livello di micropori, mesopori e macropori, nonché dall'area superficiale e dalla chimica superficiale del materiale. Il materiale precursore influenza la struttura del carbone attivo, ovvero il tipo di porosità presente, la sua durezza e il contenuto di ceneri [Fadhilah, R., 2020].

Tradizionalmente, il carbone attivo è stato prodotto da materie prime di origine minerale o da legni duri; tuttavia, l'interesse per le fonti naturali rinnovabili è aumentato in modo significativo negli ultimi decenni, a causa della necessità di processi sostenibili, a basso costo e rispettosi dell'ambiente [Ioannidou & Zabaniotou, 2007]. Queste fonti includono biomasse lignocellulosiche, residui agricoli, agroindustriali e marini, che hanno un alto contenuto di carbonio fisso, cellulosa, emicellulosa e lignina, componenti essenziali per generare una struttura porosa dopo la loro attivazione termica o chimica [Mohammed et al., 2015].

Tra le fonti naturali più utilizzate vi sono il legno e i residui forestali, che forniscono carboni attivi con elevata microporosità e bassa quantità di ceneri. La buccia di cocco, ad esempio, è riconosciuta come una delle materie prime più efficaci, poiché produce carboni con superfici che possono superare i 1500 m<sup>2</sup>/g e un'eccellente resistenza meccanica [Ioannidou & Zabaniotou, 2007].

D'altra parte, i residui agricoli - come le bucce di riso, di noci, di mais, la bagassa di canna da zucchero e la bagassa di agave - si sono affermati come precursori interessanti grazie alla loro abbondanza, al basso costo e all'elevato rendimento in carbonio fisso. Questi materiali vengono trasformati in carbone attivo attraverso un processo di carbonizzazione [tra 400 e 700 °C] seguito da attivazione fisica o chimica, con agenti quali vapore acqueo, CO<sub>2</sub>, acido fosforico [H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>], idrossido di potassio [KOH] o cloruro di zinco [ZnCl<sub>2</sub>] [Mohammed et al., 2015; Deng et al., 2009].

Allo stesso modo, i rifiuti agroindustriali rappresentano un'alternativa ad alto potenziale per la loro disponibilità e l'impatto ambientale che generano se non vengono sfruttati. In questo senso, sottoprodotti come la bagassa di agave proveniente dalla produzione di mezcal e tequila si sono dimostrati eccellenti precursori per carboni attivi di alta qualità, con aree specifiche comprese tra 600 e 1500 m<sup>2</sup>/g e una notevole capacità di adsorbimento dei contaminanti organici [González-Serrano et al., 2021]. L'utilizzo di questi materiali contribuisce a una gestione più sostenibile dei rifiuti e promuove l'economia circolare nelle regioni produttrici [Rosas et al., 2020].

Esistono anche fonti meno convenzionali, come i rifiuti animali e marini [ad esempio ossa, gusci o squame di pesce], che possono essere trasformati in carboni attivi con proprietà miste di micro e mesoporosità, adatti alla purificazione dei gas o ai catalizzatori [Mekonnen & Hoekstra, 2016]. Allo stesso modo, biomasse erbacee come bambù, paglia e foglie secche sono state utilizzate con risultati promettenti, anche se la loro stabilità termica è solitamente inferiore a quella del legno [Liu et al., 2010]. La scelta di una materia prima naturale per l'ottenimento del carbone attivo dipende da diversi fattori: il contenuto di carbonio fisso [preferibilmente superiore al 50%], la bassa quantità di ceneri, la struttura lignocellulosica stabile, la sua disponibilità locale e l'impatto ambientale associato al suo utilizzo [Deng et al., 2009].

L'uso di fonti naturali e rinnovabili per la produzione di carbone attivo rappresenta una strategia ambientale ed economicamente sostenibile, poiché consente di ridurre il volume dei rifiuti organici, di sfruttare materiali di scarso valore commerciale e di generare prodotti ad alta domanda tecnologica. Questo approccio promuove la transizione verso processi a basso impatto ambientale, integrando i principi di sostenibilità, innovazione ed economia circolare [Ioannidou & Zabaniotou, 2007; Martínez-López et al., 2019].

## Metodologia

Definizione del disegno unifattoriale. Lo studio dell'adsorbimento del carbone attivo in esame è stato condotto con un disegno unifattoriale bilanciato a effetti fissi, in cui la variabile di risposta da valutare è la % di assorbanza [% Abs], mentre il fattore da studiare è il carbone attivo [CA] in quattro livelli:

- CA commerciale: valutato come riferimento di un carbone attivo di buccia di cocco disponibile in commercio per processi di adsorbimento.
- CA att. fisica
- CA att. chim. 40%
- CA att. chim. 60%

Tutti i livelli saranno valutati in triplicato per un totale di 12 repliche, nelle stesse condizioni di quantità di adsorbente, adsorbato, concentrazione, tempo e velocità di agitazione, con un livello di significatività  $\alpha=0,05$ , dove:

Ipotesi nulla: tutte le medie della % di adsorbimento dei CA sono uguali.

Ipotesi alternativa: non tutte le medie della % di adsorbimento dei CA sono uguali.

Preparazione delle soluzioni. Preparazione della soluzione madre di blu di metilene e diluizioni per realizzare la curva di calibrazione dello spettrofotometro UV-Vis, marca Velab, modello VE-51600V.

Preparazione della soluzione di lavoro. Sono stati preparati 100 mL di una soluzione madre di blu di metilene a una concentrazione di 0,4 g/L.

Dalla soluzione madre di blu di metilene è stata preparata una diluizione 0,05, da questa diluizione sono stati preparati 5 matracci da 50 millilitri.

Con lo spettrofotometro Velab modello VE-51600V sono state effettuate le letture dell'assorbanza di queste diluizioni tenendo conto del valore dell'assorbanza iniziale.

Repliche sperimentali. Successivamente sono stati pesati sulla bilancia analitica 0,1 grammi di ciascun CA da valutare [Fattore]: carbone attivo commerciale, carbone attivo fisicamente, carbone attivo chimicamente al 40%, carbone attivo chimicamente al 60%. Per ciascuno dei livelli del Fattore sono state pesate tre volte,

I campioni sono stati posti in becher da 50 millilitri, successivamente con una provetta graduata sono stati misurati 20 millilitri della diluizione 0,05 di blu di metilene e aggiunti a ciascuno dei becher con i campioni di carbone attivo,

Ciascuno dei campioni è stato sottoposto ad agitazione per 20 minuti a 410 giri al minuto, quindi i campioni sono stati filtrati con un filtro a membrana microporosa in plastica di tipo HA con pori di dimensioni pari a 0,45  $\mu\text{M}$ , facendo passare la soluzione. Misurazione dell'assorbanza. Le letture dell'assorbanza sono state effettuate con lo spettrofotometro su ciascuna delle soluzioni trattate con i diversi campioni di carbone. Analisi dei risultati. Analisi e interpretazione del disegno unifattoriale.

## Risultati

Non esistono differenze statisticamente significative tra le medie della % di adsorbimento dei carboni attivi valutati con un livello di significatività di  $\alpha=0,05$ , dell'analisi unifattoriale rispetto a  $F_{0,5,3,8} = 8,85$ , come mostrato nell'analisi della varianza dei dati della Tabella 1, pertanto si accetta l'ipotesi nulla.

## Scatola 1

Tabella 1

Analisi della varianza

Fonte	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	ValoreF	Valorep	F <sub>0.05, 3,8</sub>
Carbone attivo	3	0.2535	0.08449	1.41	0.308	8.85
Errore	8	0.4782	0.05977			
Totale	11	0.7316				

La Figura 1 mostra che il maggiore assorbimento di blu di metilene è stato osservato nel carbone attivo prodotto con attivazione chimica utilizzando come agente attivante il carbonato di potassio anidro ad una concentrazione del 40%, seguito dal carbone attivo fisicamente. Sia il carbone attivo commerciale che il carbone prodotto con attivazione chimica utilizzando come agente attivante il carbonato di potassio anidro ad una concentrazione del 60% hanno presentato una maggiore variabilità nei risultati di assorbanza.

## Scatola 2

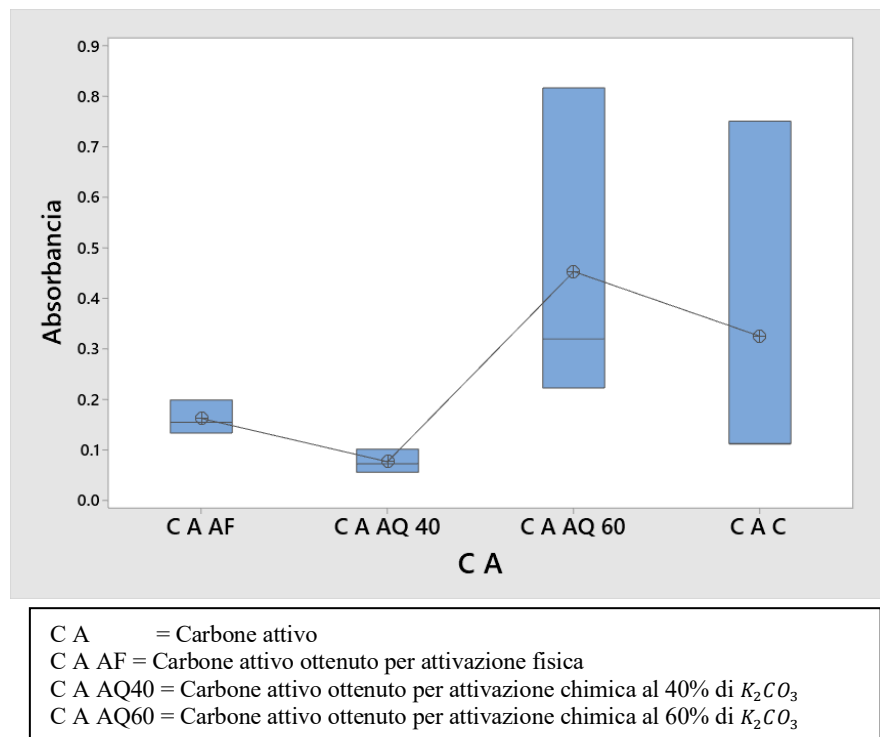


Figura 1

Grafico relativo ai carboni attivi valutati

È da escludere che questi risultati rendano competitivo il carbone attivo ottenuto dalla bagassa di maguey per la sua capacità di adsorbimento rispetto al carbone attivo commerciale ricavato dalla guscia di cocco che, secondo Ioannidou & Zabaniotou [2007], la guscia di cocco è riconosciuta come una delle materie prime più efficaci per la produzione di carbone attivo, poiché produce carboni con superfici che possono superare i 1500 m<sup>2</sup>/g e con un'eccellente resistenza meccanica.

Il carbone attivo ha ampie applicazioni nel controllo delle emissioni in ambito ambientale, come dimostrano le seguenti ricerche:

- Lo studio presentato da Garrido-Arias [2025] sulle caratteristiche di adsorbimento del carbone attivo analizza come questo assorba il diisocianato 2,4-toluene (TDI), un composto tossico utilizzato nella produzione di poliuretani. A tal fine, viene determinata la curva di rottura, che indica il momento in cui il carbone attivo si satura e inizia a lasciar passare il TDI. I risultati ottenuti consentono di stabilire i tempi di saturazione, i fattori che influenzano l'efficacia del carbone (come la portata, l'umidità e la temperatura) e le raccomandazioni per rinnovare i filtri e migliorare la protezione sul lavoro. Il lavoro fornisce dati utili per ridurre l'esposizione dei lavoratori al TDI in ambienti industriali.

- Lo studio di Marcos Alejandro Robles Lora, et al. [2025] analizza l'efficacia dell'uso del carbone attivo ricavato dalla buccia di banana come adsorbente per eliminare i metalli pesanti dall'acqua del fiume Moche (Perù), riscontrando che questo adsorbente a basso costo e di origine agro-industriale è efficiente nel ridurre il carico di metalli pesanti (in particolare l'arsenico) nell'acqua contaminata, con potenziali applicazioni nel trattamento ambientale.

## Conclusioni

L'agave è una risorsa naturale con un importante valore culturale, economico ed ecologico in Messico, dove molte delle specie presenti sono endemiche, come nel caso dell'*Agave marmorata*, ma il suo sfruttamento richiede una gestione sostenibile per conservare la biodiversità, mantenere le comunità e garantirne l'uso a lungo termine.

Il genere *Agave* si distingue per le sue importanti applicazioni, ma allo stesso tempo presenta anche sfide significative, poiché il suo sfruttamento eccessivo può metterlo a rischio di estinzione.

La crescente domanda di produzione di Tequila e Mezcal, chiamate bevande agaveras, genera grandi volumi di sottoprodotti, come la bagassa ricca di cellulosa, emicellulosa e lignina, che possono avere un impatto ambientale se non gestiti correttamente.

La produzione di carbone attivo dalla bagassa di Maguey Pitzometl costituisce un'alternativa valida per lo sfruttamento di questo sottoprodotto. L'uguaglianza media tra la capacità di adsorbimento dei carboni prodotti dalla bagassa di Maguey Pitzometl della regione di Zapotitlán, Salinas, Puebla, Messico, e il carbone attivo commerciale, consente di raccomandare l'utilizzo del metodo meno costoso per il processo di attivazione, che in questo caso è l'attivazione fisica.

La presente ricerca è stata sviluppata in collaborazione con la Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl di Zapotitlán, Salinas, Puebla, S.C. de P. de R. L. de C.V. affinché le proposte generate siano utili agli abitanti di questa regione, dove la produzione vicino all'origine della biomassa e con processi efficienti migliora la sostenibilità dei progetti.

## Dichiarazioni

### Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari in competizione noti né relazioni personali che potrebbero aver influenzato l'articolo di cui si parla in questo articolo.

### Contributo degli autori

*López.Vigil, Miriam Silvia:* Contribuisce con l'idea del progetto, lo sviluppo e l'organizzazione della ricerca.

*Gomez-Flores, Nidia Esther:* Contribuisce con la collaborazione alle attività sperimentali.

*Santos-Alvarado, Héctor:* Contribuisce con l'analisi dei dati.

*Islas-Torres, Héctor:* Contribuisce con la revisione e l'editing.

### Disponibilità di dati e materiali

I dati analizzati durante lo studio attuale sono disponibili presso l'autore corrispondente previa ragionevole richiesta.

### Finanziamento

Finanziamento: Il presente lavoro è stato finanziato da TecNM [Codice: 23734.25-P].

## Ringraziamenti

Ringraziamo il Tecnológico Nacional de México per il sostegno ricevuto attraverso il bando Progetti di ricerca scientifica, sviluppo tecnologico e innovazione 2025 degli Istituti tecnologici federali e dei Centri, per il progetto: “Applicazioni sostenibili e pertinenti del Maguey Pitzometl [Agave Marmorata], risorsa endemica e importante della regione di Zapotitlán Salinas Puebla”, codice 23734.25-P. Ringraziamo il Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán per il sostegno fornito alla realizzazione del presente progetto di ricerca, con l'utilizzo delle risorse proprie dell'istituzione e l'autorizzazione all'uso del Laboratorio di Ingegneria Ambientale dell'Istituto. Ringraziamo la Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl di Zapotitlán, Salinas, Puebla, S.C. de P. de R. L. de C.V. per la collaborazione e l'interesse dimostrato nella realizzazione del presente progetto di ricerca.

## Abbreviazioni

CA                      Carbone attivo

## Riferimenti

- Charcoal House [s/f]. [Activated Charcoal - Science & History](#). PO BOX 261 Crawford, NE 69339 USA.
- Deng, H., Yang, L., Tao, G., & Dai, J. [2009]. *Preparation and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted activation*. *Chemical Engineering Journal*, 163[3], 373–381.
- González-Serrano, C., Rosas, J. M., & Rodríguez-Mirasol, J. [2021]. *Production of activated carbon from agave bagasse by chemical activation for environmental applications*. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126708.
- Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. [2007]. *Agricultural residues as precursors for activated carbon production – A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11[9], 1966–2005.
- Liu, Q., Zheng, T., Wang, P., & Guo, L. [2010]. *Preparation and characterization of activated carbon from bamboo by microwave-induced activation*. *Chemical Engineering Journal*, 156[2], 502–507.
- López-Vigil, M., Santos-Alvarado, H., Islas-Torres, H. [2024]. *Morphological, physical and chemical characterization of the maguey Pitzometl [Agave marmorata] from Zapotitlán Salinas, Puebla*. *Journal of Chemical and Physical Energy*. 11[30]-1-8: e21130108.
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. [2006]. *Activated Carbon*. Elsevier Science.
- Martínez-López, A. L., González-Zamora, A., & Morales-Mendoza, L. F. [2019]. *Sustainable use of agave residues for bio-based materials and energy: An overview*. *Industrial Crops and Products*, 139, 111539.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. [2016]. *The environmental sustainability of biobased carbon materials from marine sources*. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1025–1033.
- Mohammed, J., Nasri, N. S., & Ahmad, Z. [2015]. *Preparation of activated carbon from agricultural wastes for water treatment*. *Environmental Chemistry Letters*, 13[2], 195–208.
- NOSB [2002] *Activated Carbon*. National Organic Standards Board Technical Advisory Panel Review Page 1 of 23 Compiled by OMRI for the USDA National Organic Program. NOSB TAP Review Compiled by OMRI
- Rosas, J. M., Bedia, J., & Rodríguez-Mirasol, J. [2020]. *Activated carbons from agave waste for adsorption of water pollutants*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8[4], 103918.
- Soto-Cruz, O., Pérez-Sariñana, B. Y., & Álvarez, G. [2017]. *Characterization of agave bagasse for bioenergy and value-added products*. *Renewable Energy*, 101, 1216–1223.