



UNIVERSIDAD  
DE SANTIAGO  
DE CHILE

# *Matrices adsorbentes y nuevos materiales*

Jaime Pizarro Konczak

Laboratorio de Química Ambiental y Remediación

[jaime.pizarro@usach.cl](mailto:jaime.pizarro@usach.cl)



- **Introducción**
- **Antecedentes**
- **Objetivos**
- **Resultados**
- **Conclusión**

## Recursos Hídricos: Disponibilidad vs Demanda

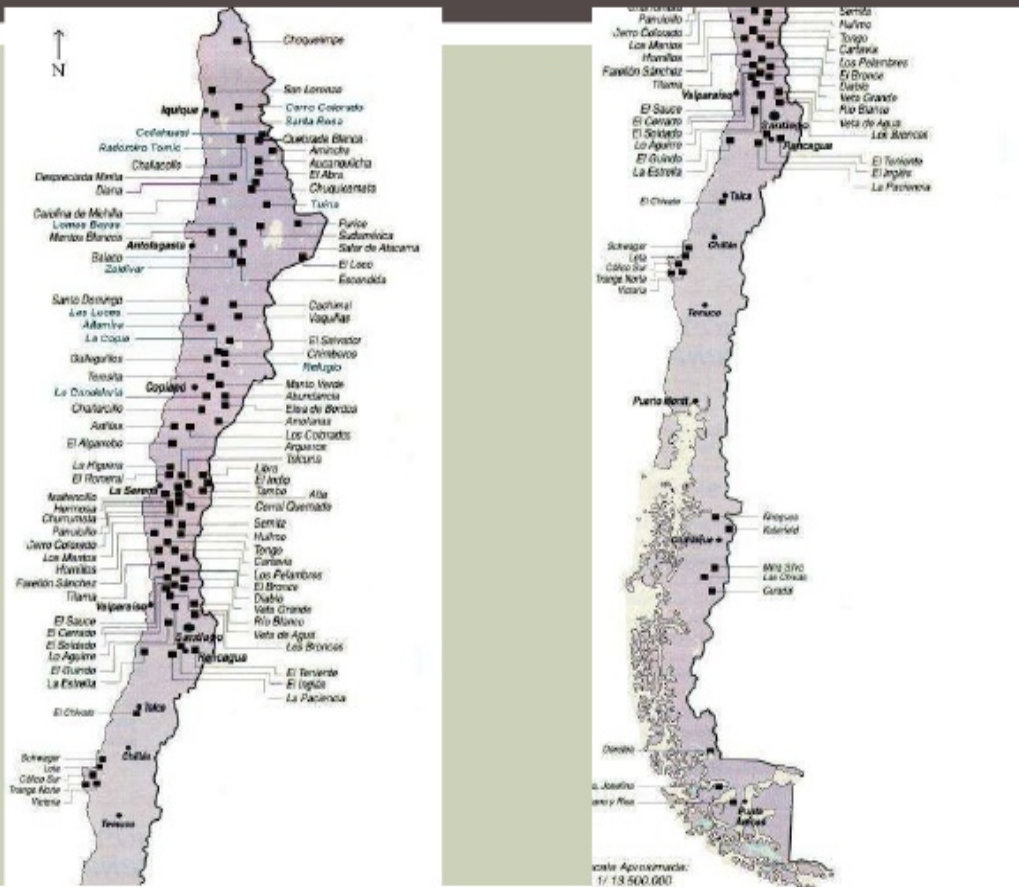
## Controversia que se agudiza





# País minero

## MAPA MINERO



- Chile, país minero
- Área minera, zona árida
- Escasez de agua
- Demanda / Producción
- Actividades mineras, fuerte impacto sobre la calidad del agua
- Costo ambiental





## **COSTO AMBIENTAL**

**Industria, minería extractiva y otros**

**Emisiones contaminantes:  
metales, gases**

**Contaminación de agua,  
atmosfera, suelos**

**Factores de contaminación con  
efectos nocivos**

**Difícil remoción**





# Remoción de contaminantes desde aguas residuales

**Precipitación química**  
**Intercambio iónico**  
**Osmosis inversa**  
**Adsorción**



Fenómeno  
de  
superficie



Transferenci  
a de masa

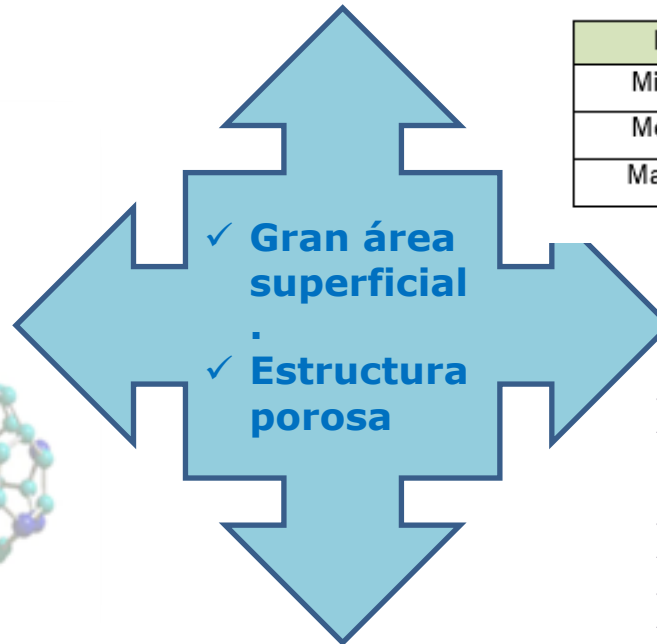
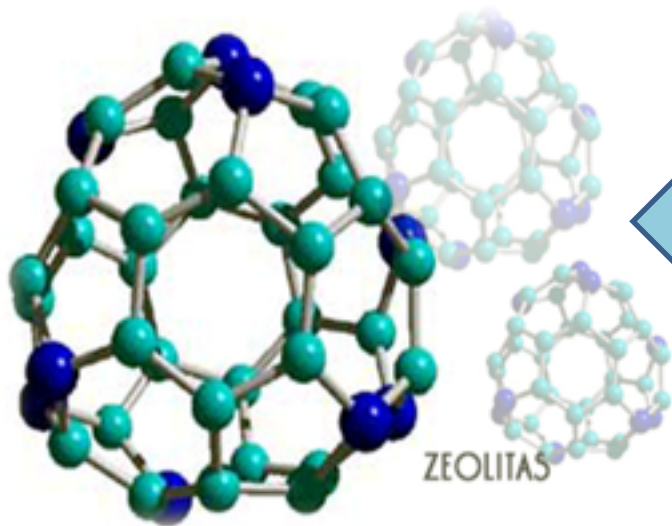
Interacciones físicas y/o químicas



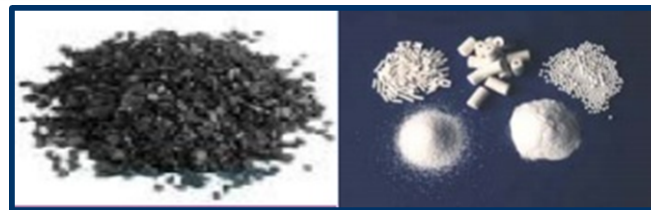
# Materiales adsorbentes

Clasificación IUPAC de materiales porosos

Material	Tamaño de poro (nm)
Microporoso	< 2
Mesoporoso	2 – 50
Macroporoso	> 50



- **Carbón activado**
- **Zeolitas**
- **Aserrín**
- **Ceniza volante**
- **Algas, etc.**

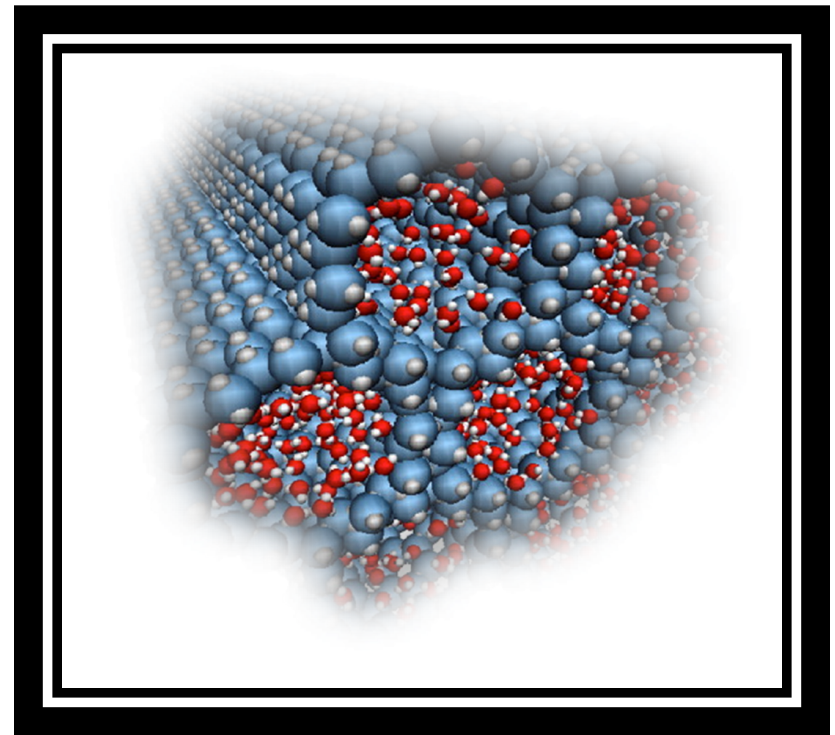


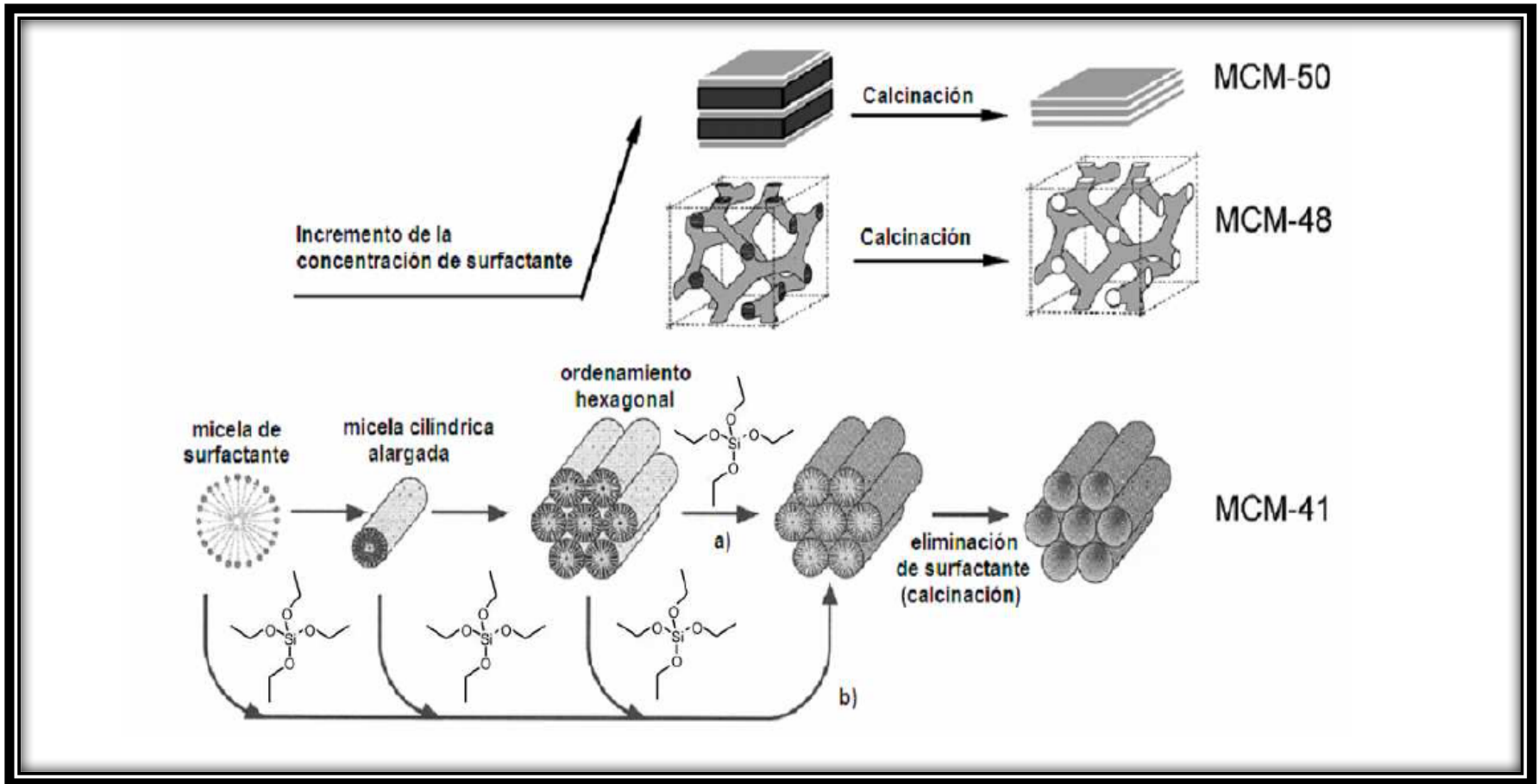




# Materiales Mesoporosos Silíceos

- **Gran área superficial (200-1500 m<sup>2</sup>/g)**
- **Estabilidad térmica y mecánica**
- **Distribución uniforme de poros ( 2-50 nm)**
- **Alta capacidad de adsorción y accesibilidad al medio poroso**
- **Alta capacidad de funcionalización**

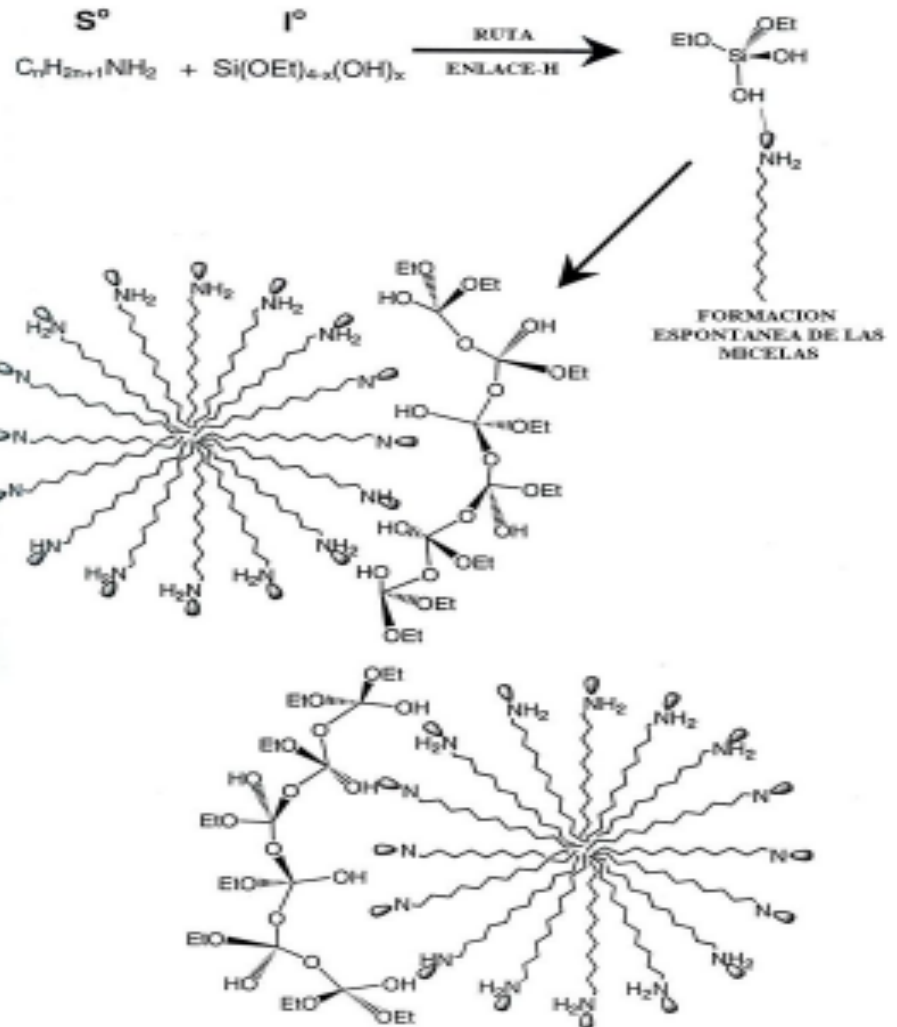




**Mecanismos de formación : a) modelo del cristal líquido y b) mecanismo del cristal líquido cooperativo**

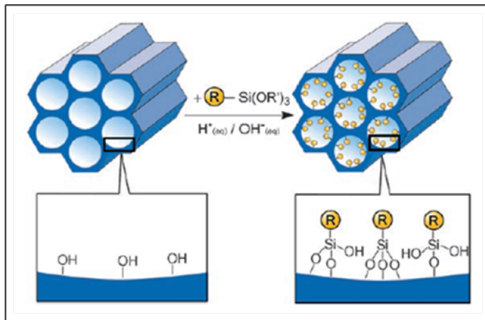
**SILICE  
MESOPOROSA  
HEXAGONAL  
HMS**

**Mecanismo de  
síntesis para  
materiales HMS,  
vía  
interacciones  
por puentes de  
hidrógeno**

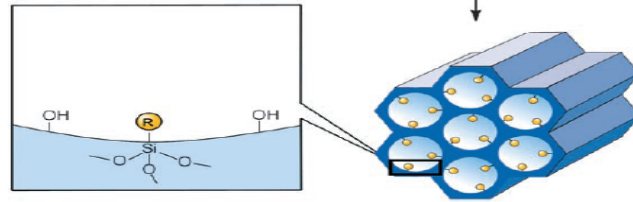
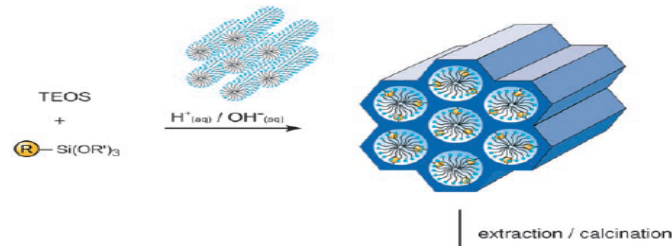


# FUNCIONALIZACION DE MATERIALES MESOPOROSOS

Post -  
síntesis/  
Injerto

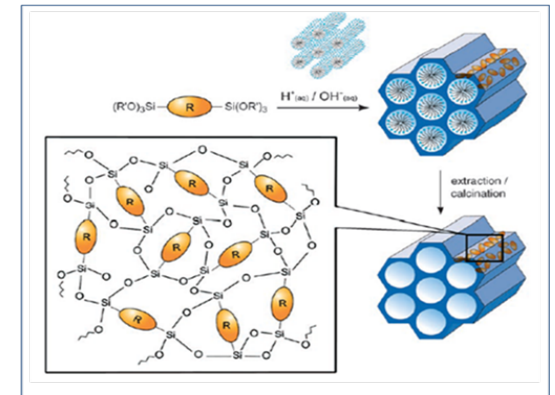


←→



Co-  
condensación

PMO  
(Organosíliceos  
mesoporosos  
periódicos)





# Cenizas



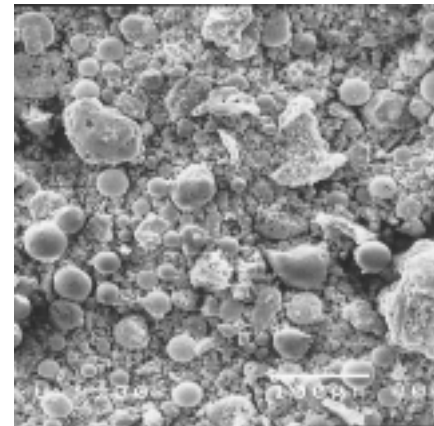
- Cenizas
  - Residuo industrial
  - Plantas termoeléctricas
  - 750 millones ton/año (China, India)
    - 3,6 millones ton/año Chile
  - 25% consumida
    - 47% Europa
    - 39% USA



# Resultados

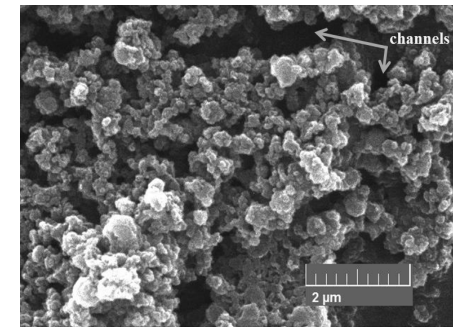
Element	Concentration (mg g <sup>-1</sup> )
Si	239.5
Al	108.0
Fe	60.3
K	14.0
Ca	13.0
Mg	6.2
Ti	5.7
S	3.9
P	0.8
V	0.3
Zn	0.2
Sb	0.2
Mn	0.2
Cu	0.19
Ni	0.14
Cr	0.1
Co	0.04

SEM: 10 – 100  $\mu\text{m}$



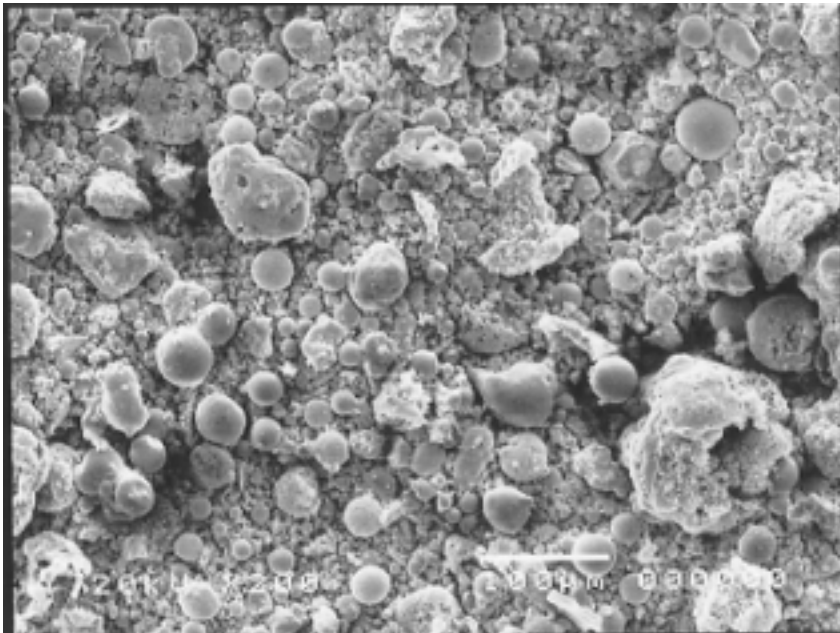
Modified ash: elemental composition and particles size

Channels: increased porosity of synthesized material

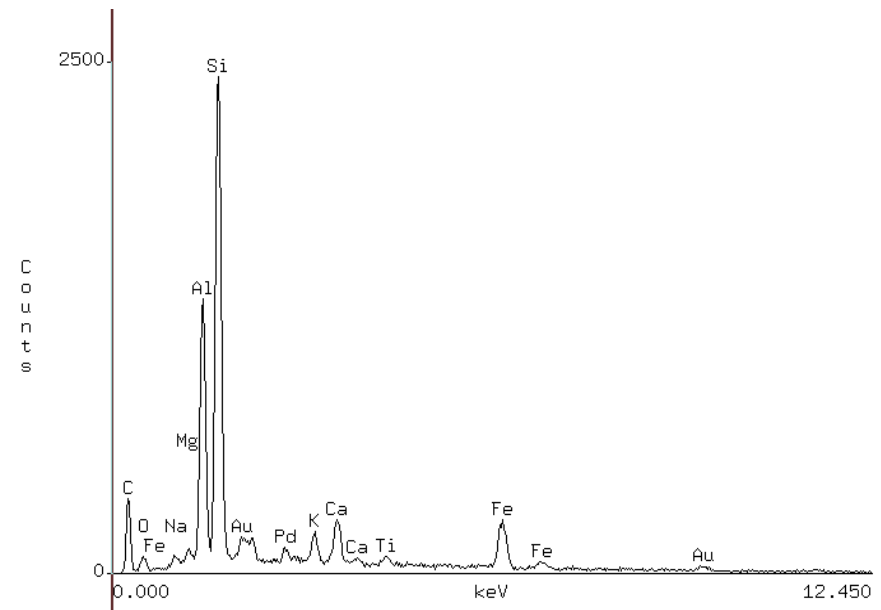




# Resultados



a

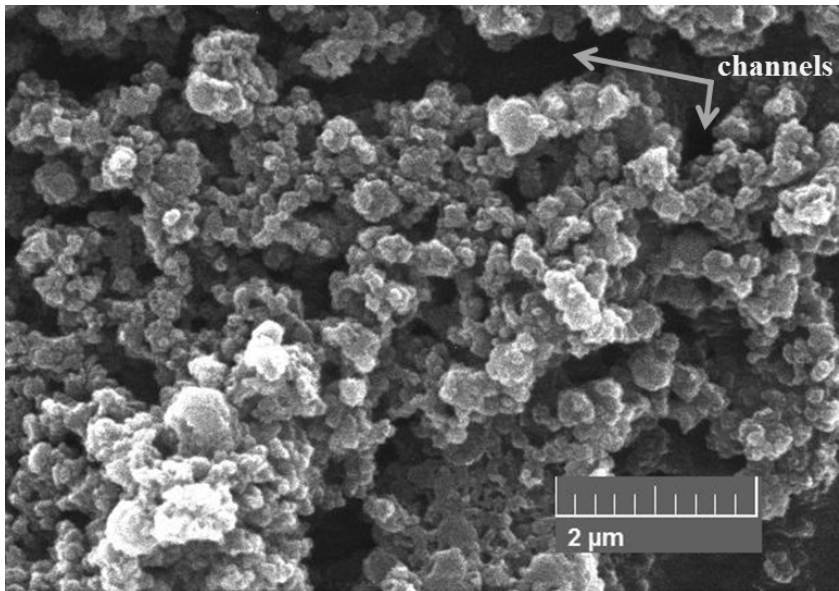


b

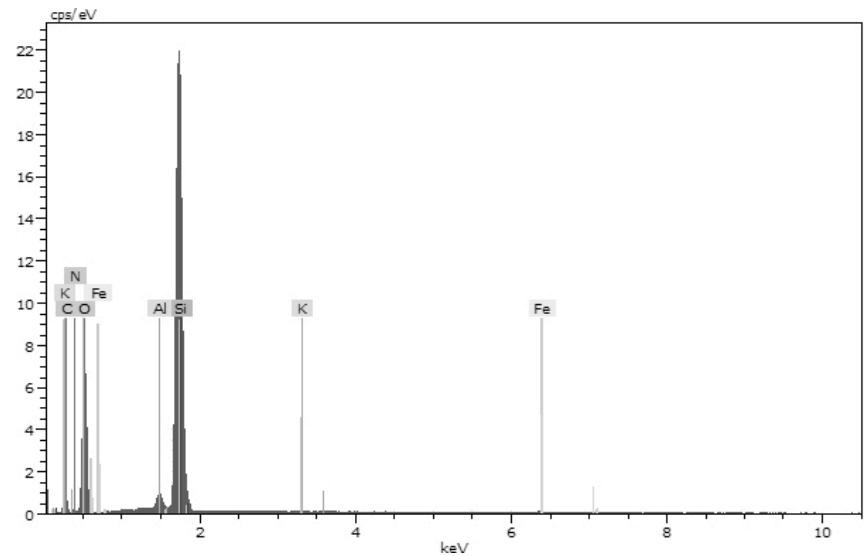
(a) Scanning electron micrograph of fly ash at 20Kx; (b) EDS analysis of fly ash.



# Resultados

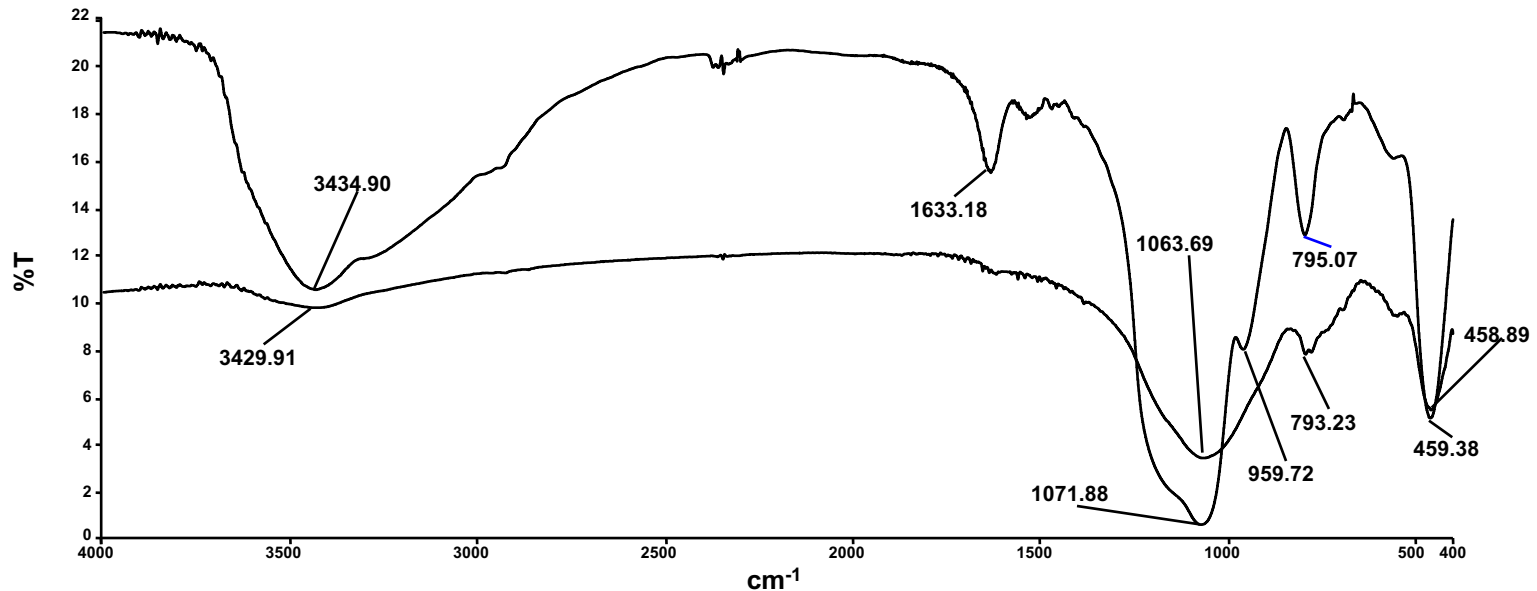


SEM of synthesized matrix at 20 keV  
APS, 3-aminopropil-trietoxisilano



EDS analysis of elemental composition of  
synthesized matrix

# Resultados



**FTIR spectra: 3450 cm<sup>-1</sup>, bond O-H of the silanol groups**

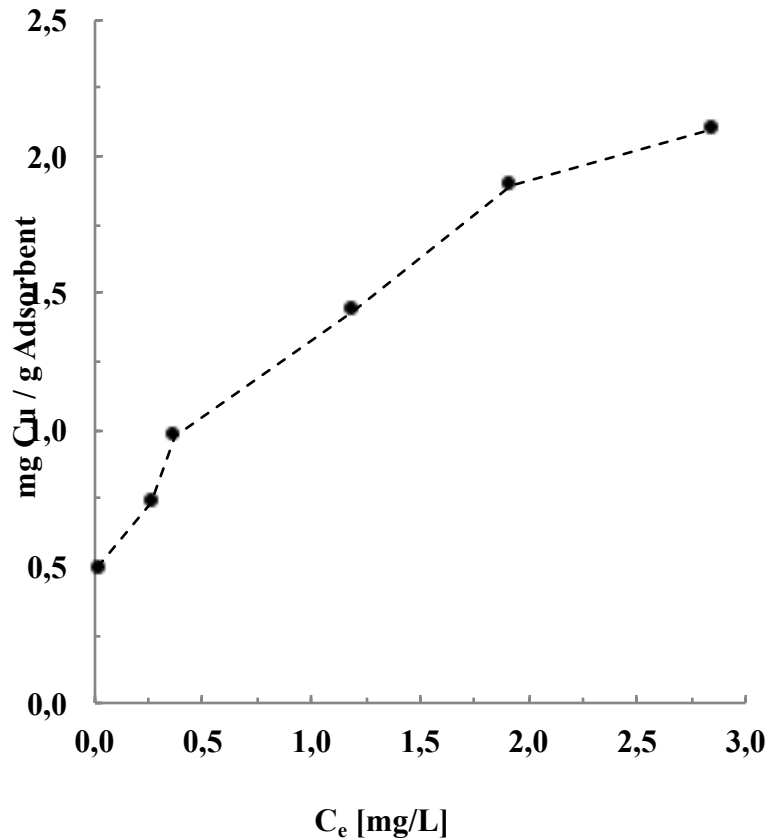
**800 and 1090 cm<sup>-1</sup>, symmetric and asymmetric Si-O-Si vibrations, respectively**

**3000 and 3600 cm<sup>-1</sup>, silanol groups from mesoporous material itself and stretching bands due to the N-H groups from APS**

**1633 cm<sup>-1</sup>, bending vibration of N-H groups**



# Resultados

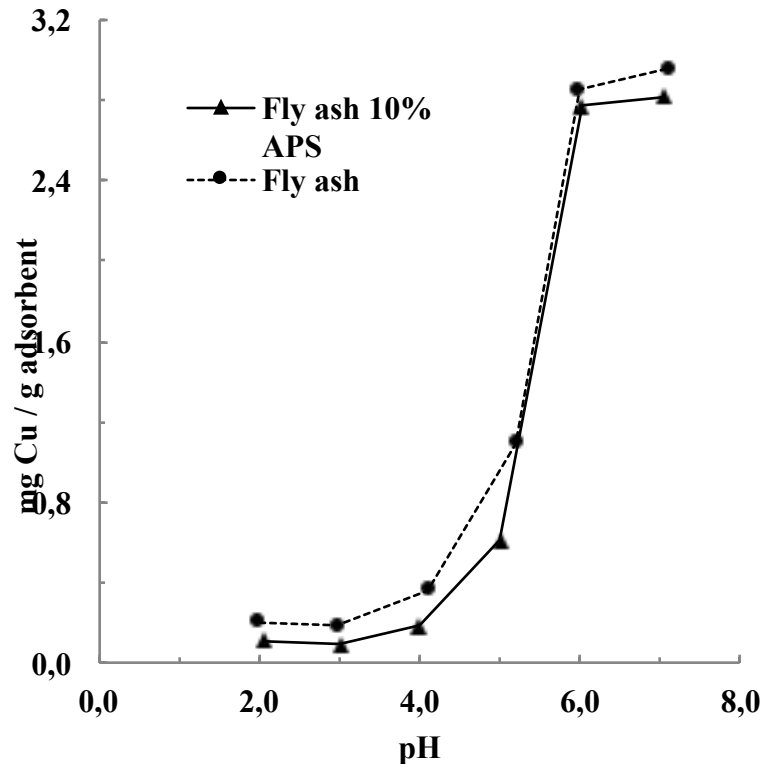


- Adsorción de cobre del material sintetizado en función de la concentración en equilibrio
- 98% de adsorción, concentración inicial 10-20 mg/L





# Resultados

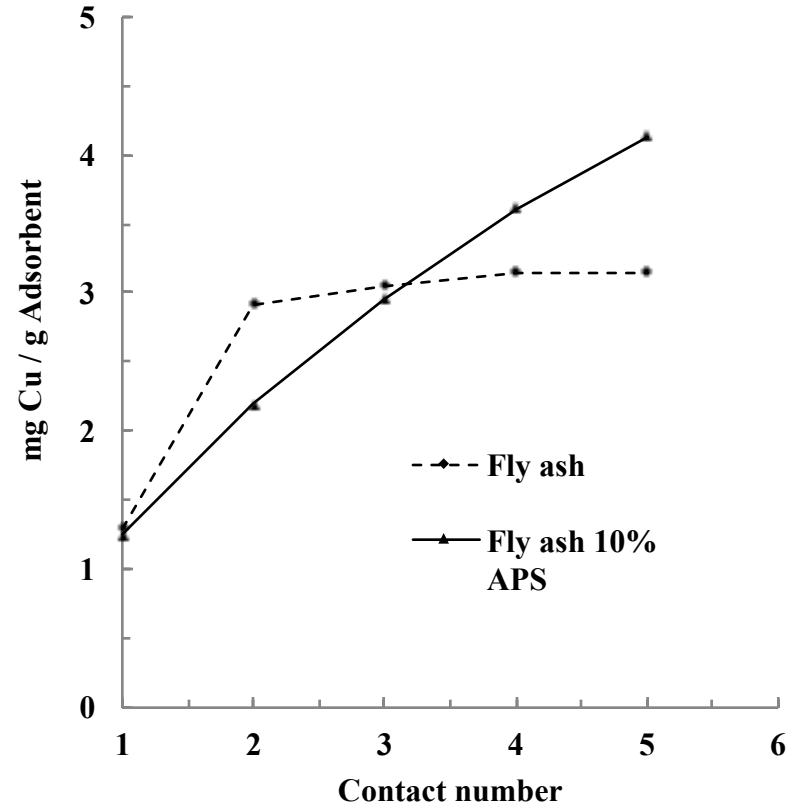


- pH < 4 ambas matrices tiene baja capacidad de adsorción
- pH 5-5.8 adsorción eficiente en ambos casos
- pH > 6 débil remoción de cobre, probable precipitación



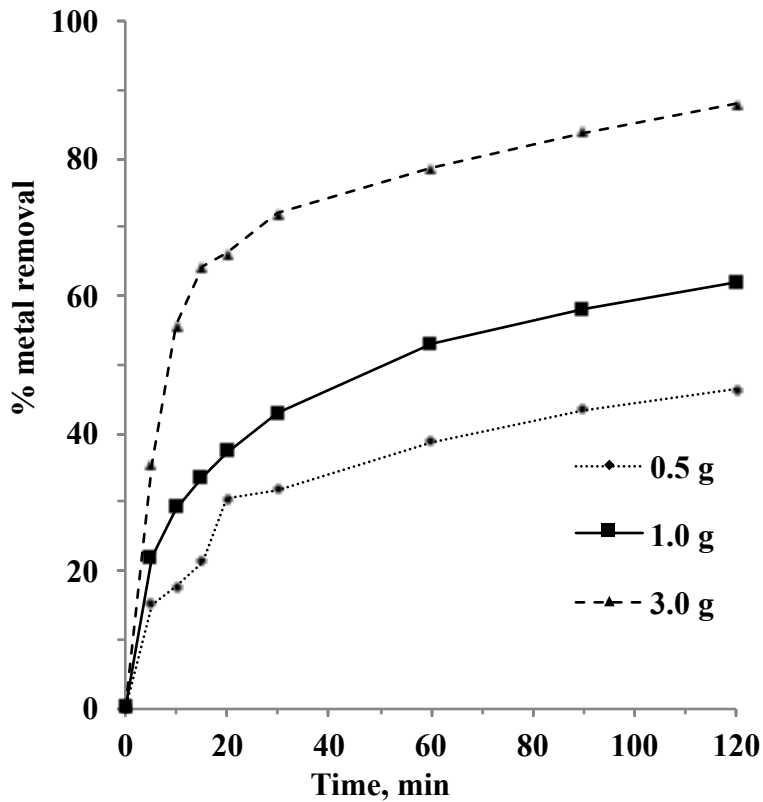
# Resultados

- Distinta capacidad de carga
  - Fly ash se satura en el segundo contacto
  - Matriz mayor capacidad de carga según número de contactos, 5º contacto 4.1 mg/g





# Resultados



20 min, mayor capacidad de adsorción  
3.0 g de adsorbente, 66 % de adsorción  
Mayor superficie de contacto  
t>20 min, disminución de capacidad de  
Debido a disminución de sitios activos



# Conclusion

- Cenizas modificadas tienen capacidad de adsorción para  $\text{Cu}^{2+}$  a distintas condiciones de pH, concentración inicial del metal, número de contactos y tiempo de contacto para distintas masas de adsorbente.
- Cenizas modificadas poseen un mayor número de sitios activos y una mayor superficie específica resultado de la funcionalización del material mesoporoso con APS.
- Cenizas modificadas presentan gran afinidad por  $\text{Cu}^{2+}$ , con eficiencia de remoción entre 95 y 98%.
- A  $\text{pH} > 4$ , rápida adsorción de cobre hasta  $\text{pH} 6$ .
- A  $\text{pH} > 6$  remoción podría deberse a eventual formación de especies de cobre precipitadas a
- Hasta 20 minutos de tiempo de contacto, la ceniza modificada remueve rápidamente el adsorbato debido los sitios activos de la superficie de la matriz; luego el porcentaje de remoción de  $\text{Cu}^{2+}$  disminuye debido que la difusión del metal al interior de los poros es más lenta.