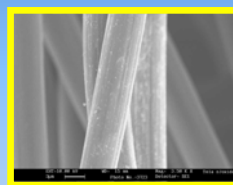
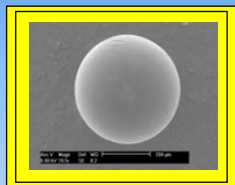
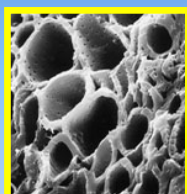


FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN

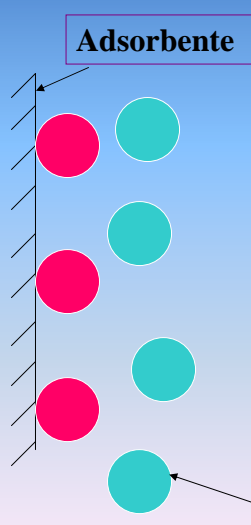


Dr. Roberto Leyva Ramos

**Centro de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ADSORCIÓN



- Adsorción es la acumulación preferencial de una sustancia en una fase líquida o gaseosa sobre la superficie de un sólido (IAS)
- Los procesos de adsorción son ampliamente usados en muchas aplicaciones industriales y en la purificación de agua potable o tratamiento de agua residual

1.2 PROCESO DE ADSORCIÓN

- Un proceso de adsorción involucra la separación de una sustancia en una fase fluida acumulando la sustancia en la superficie del adsorbente sólido
- Los procesos de adsorción son empleados para purificar y separar sustancias

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ADSORBENTES

Un adsorbente deberá tener una gran capacidad de adsorción y rápida velocidad de adsorción

- Gran área superficial o volumen de microporos
- Estructura porosa para que las moléculas del adsorbato se transporten a los sitios activos
 - Microporos $d < 2 \text{ nm}$
 - Mesoporos $2 < d < 50 \text{ nm}$
 - Macroporos $d > 50 \text{ nm}$

1.4 ADSORBENTES COMERCIALES

| | |
|--------------------------------|------------------|
| ■ Carbón Activado | \$1 Mil Millones |
| ■ Zeolitas Tamices Moleculares | \$100 Millones |
| ■ Gel de Sílice | \$27 Millones |
| ■ Alúmina Activada | \$26 Millones |

Carbón Activado



Alúmina Activada

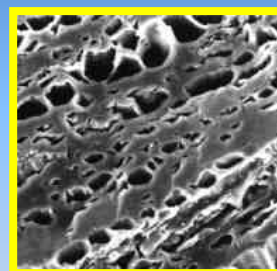
1.5 CARBÓN ACTIVADO

Historia

En Egipto se usan carbones de madera (wood charcoals) con fines medicinales

¿Qué es el carbón activado?

El carbón activado se prepara a partir de materiales que contienen carbón, tales como carbón mineral (antracita, bituminoso, lignito), madera, cáscara de coco, residuos agrícolas, etc ...



Fabricación de carbón activado

- Pirolisis o carbonización
- Activación con gases oxidantes

1.6 APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO

Fase Líquida

- Tratamiento de agua potable y residual
- Alimentos y bebidas carbonatadas
- Hidrometalurgia
- Productos químicos y farmacéuticos



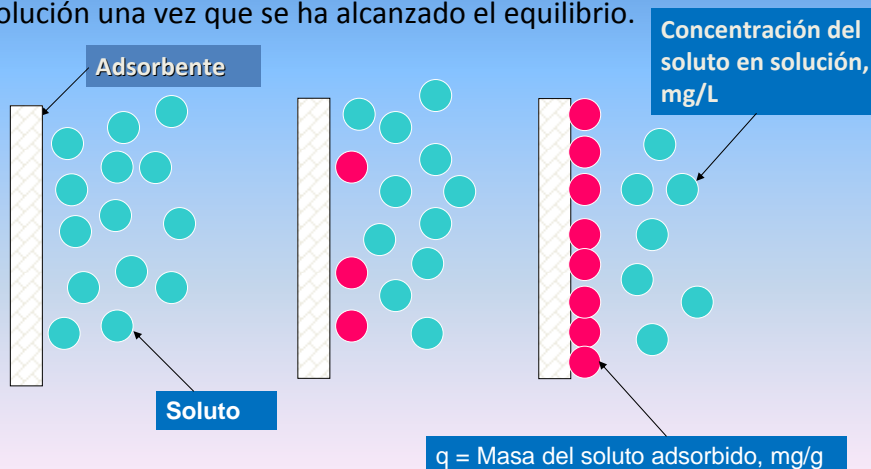
Fase Gaseosa

- Purificación de gases
- Purificación de aire
- Recuperación de solventes
- Catalizadores
- Producción de gases
- Tratamiento de gases de combustión
- Celdas combustibles

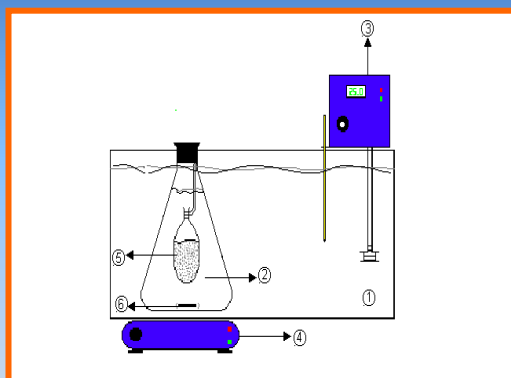
2. ISOTERMA DE ADSORCIÓN

Definición:

La Isoterma de Adsorción es la relación matemática entre la masa de soluto adsorbido y la concentración del soluto en la solución una vez que se ha alcanzado el equilibrio.



2.1 METODOLOGIA PARA OBTENER DATOS DE EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN



- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1. Baño de temperatura constante | 4. Placa de agitación magnética |
| 2. Adsorbedor | 5. Adsorbente |
| 3. Recirculador de agua | 6. Barra de agitación |

Figura 1. Adsorbedor experimental de lote. Bolsa con adsorbente

- | |
|----------------------------------|
| 1. Baño de temperatura constante |
| 2. Recirculador de agua |
| 3. Adsorbedor |
| 4. Adsorbente |

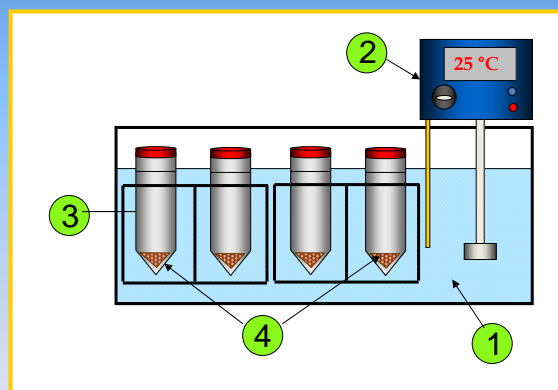


Figura 2. Adsorbedor experimental de lote.
Tubo de centrifuga

Balance de masa del adsorbato:

$$q = \frac{V_0(C_{A0} - C_{Af})}{m}$$

$$q = \frac{V_0 C_{A0} - V_f C_{Af} - \sum_{i=1}^N V_i C_{Ai}}{m}$$

$$V_f = V_0 - \sum_{i=1}^N V_i + V_a$$

2.2. MODELOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Modelos de Isotermas:

Lineal

$$q = K C$$

Langmuir

$$q = \frac{q_m K C}{1 + K C}$$

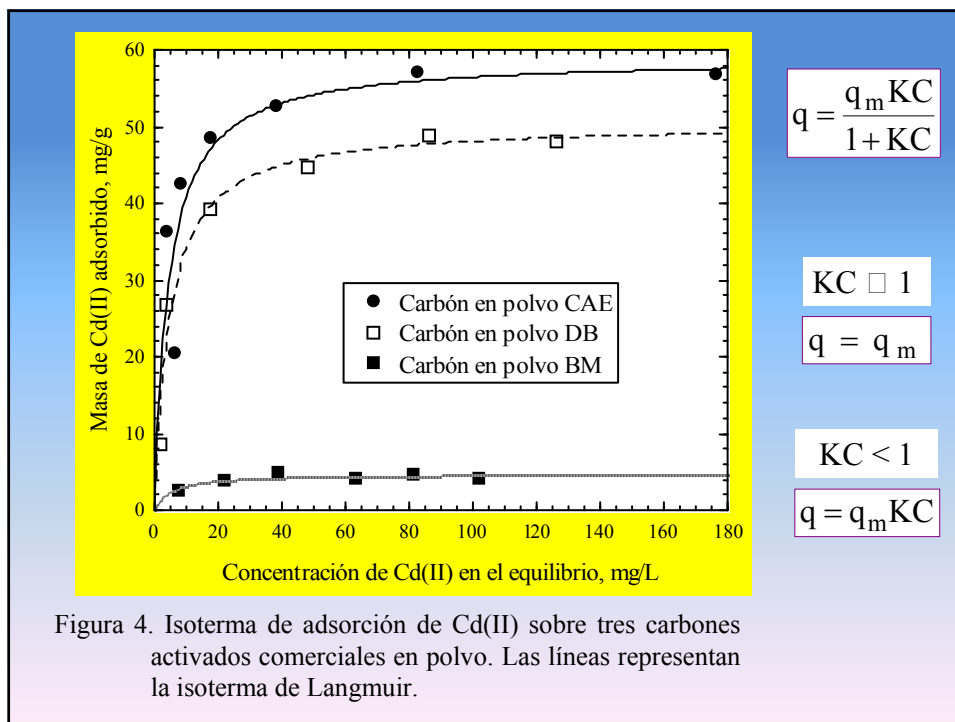
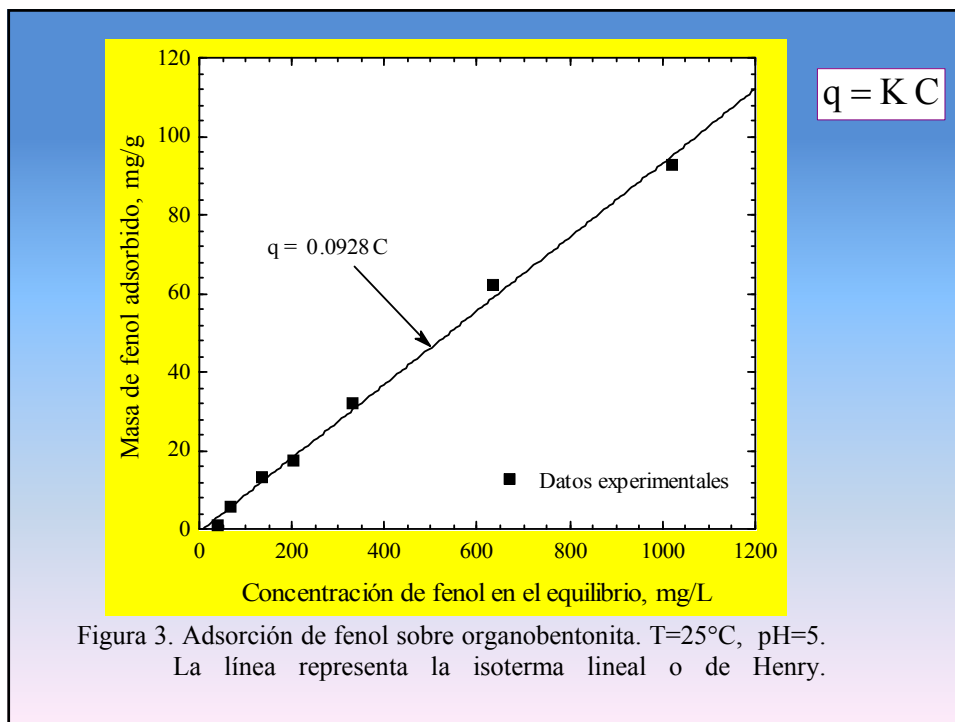
Freundlich

$$q = k C^{\frac{1}{n}}$$

Prausnitz-Radke

$$q = \frac{a C}{1 + b C^{\beta}}$$

CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN



CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN

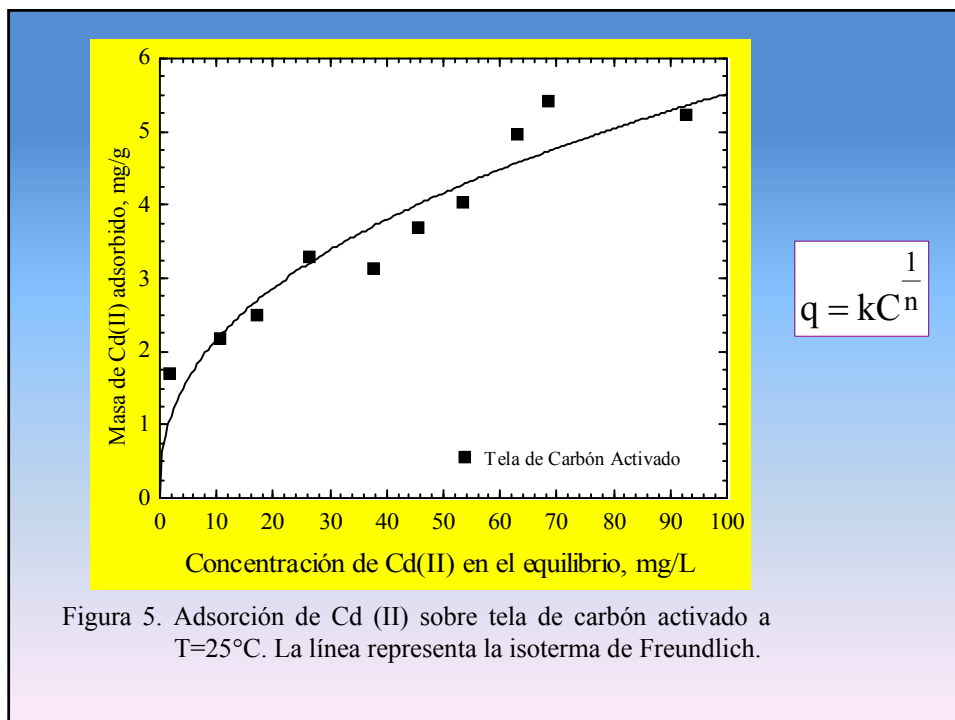


Figura 5. Adsorción de Cd (II) sobre tela de carbón activado a T=25°C. La línea representa la isoterma de Freundlich.

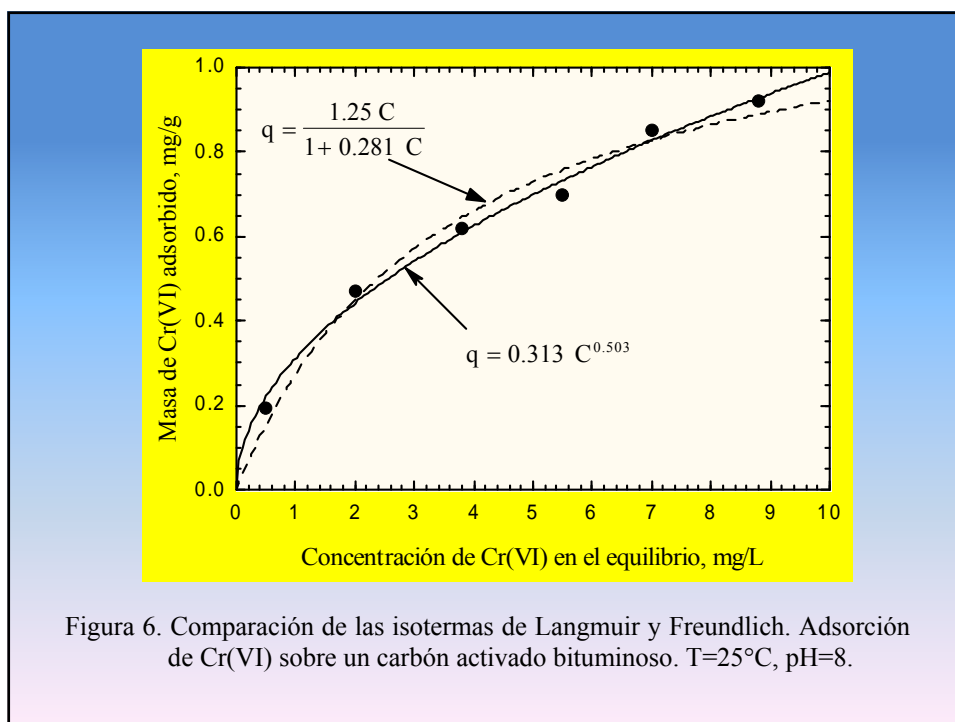
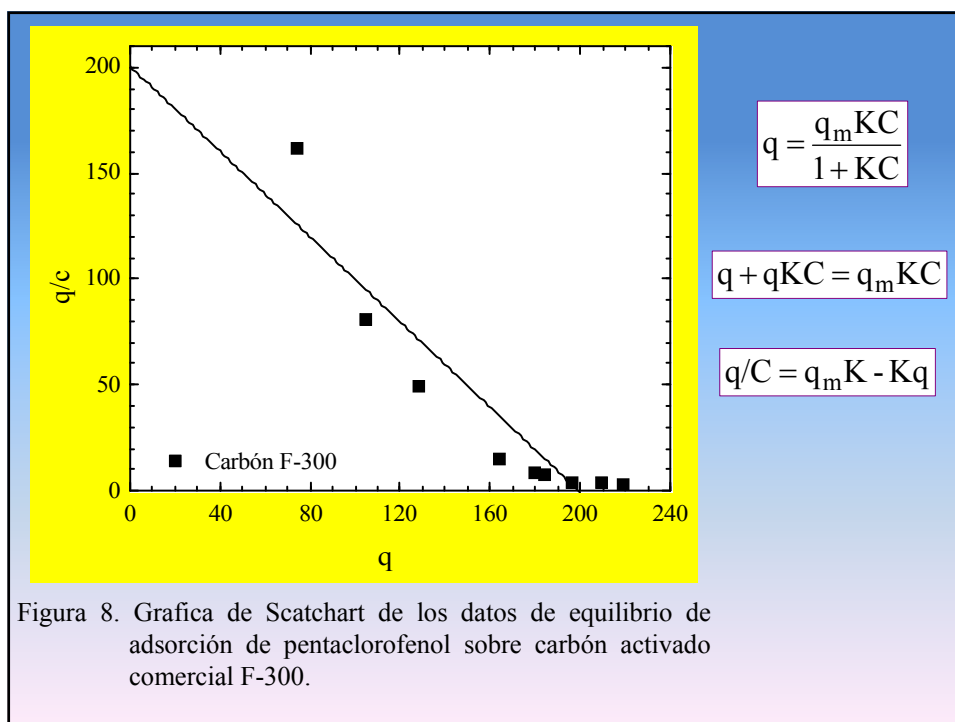
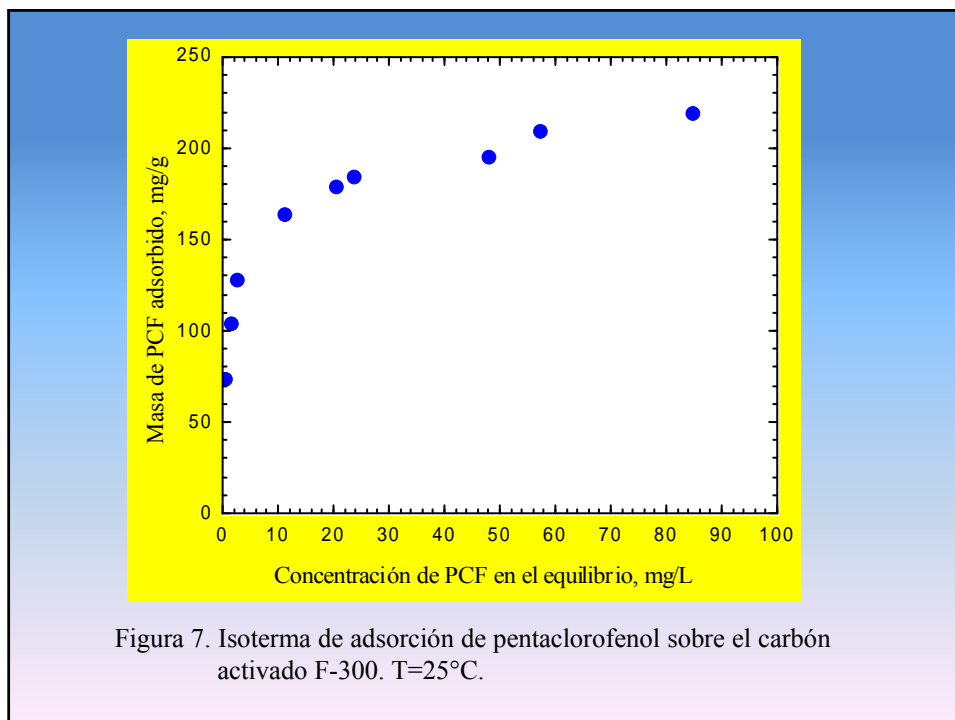
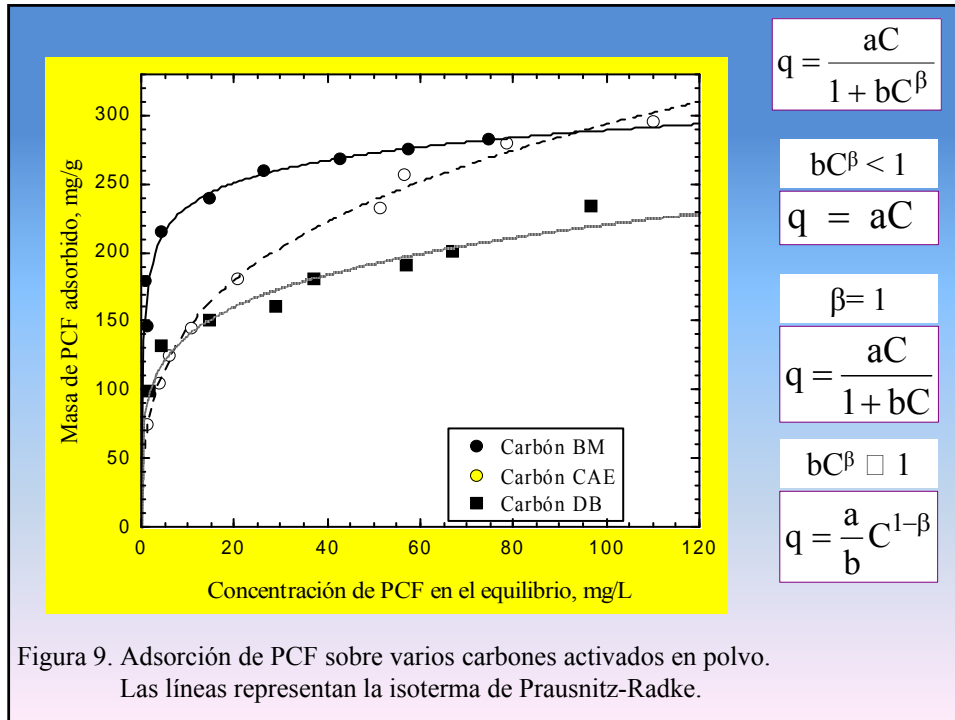


Figura 6. Comparación de las isothermas de Langmuir y Freundlich. Adsorción de Cr(VI) sobre un carbón activado bituminoso. T=25°C, pH=8.

CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCION



CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN

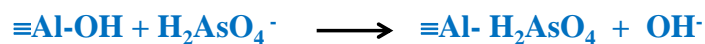
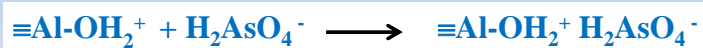
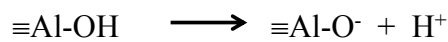
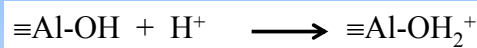


3. EFECTO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN

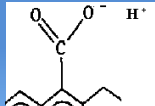
3.1 NATURALEZA DEL ADSORBENTE

Las características de la superficie determinan el tipo de sitios activos donde se adsorbe el soluto.

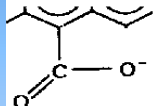
a) Alúmina Activada:



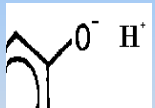
b) Carbón Activado:



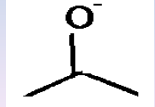
Carboxílico, 3-6



Lactónico, 7-9

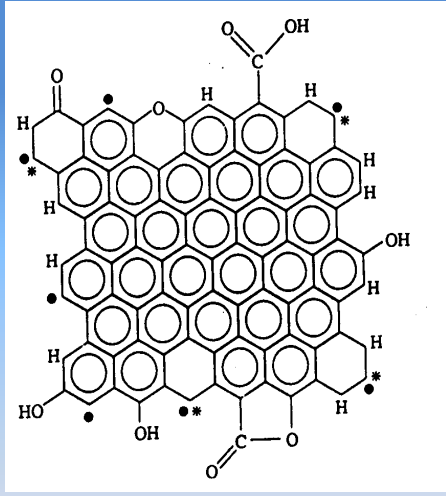


Fenólico, 8-11



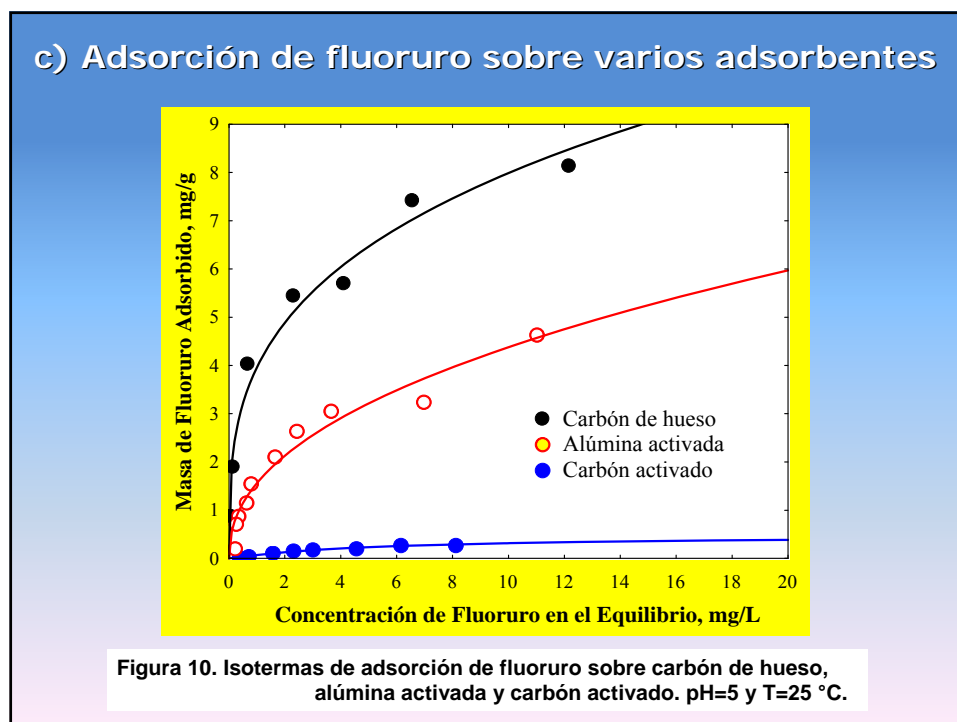
Carbonilo, 11-14

Sitios
Ácidos



$$\text{SA}^- + \text{M}^+ = \text{SA-M}$$

$$2\text{SA}^- + \text{Pb}^{2+} = (\text{SA})_2\text{Pb}$$



CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN

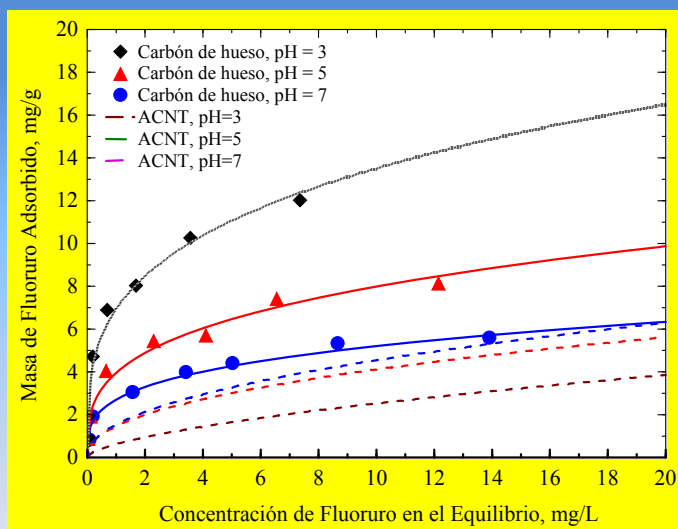


Figura 11. Isothermas de adsorción de fluoruro sobre carbón de hueso y nanotubos de carbón. T=25 °C.

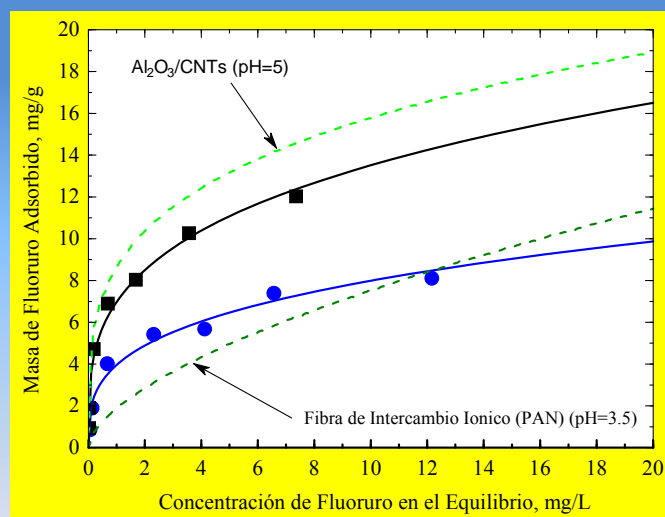
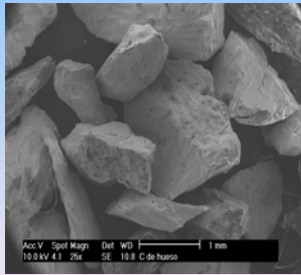


Figura 12. Isothermas de adsorción de fluoruro sobre carbón de hueso, fibras de intercambio iónico y alúmina soportada sobre nanotubos de carbón. T=25 °C.

3.2 EFECTO DEL PH DE LA SOLUCIÓN

La capacidad de adsorción es muy dependiente del pH de la solución ya que afecta las características de la superficie, el tipo de especies del adsorbato que se encuentran en solución y las interacciones entre la superficie y el adsorbato en solución.

Adsorción de fluoruro sobre carbón de hueso



Carbón de Hueso

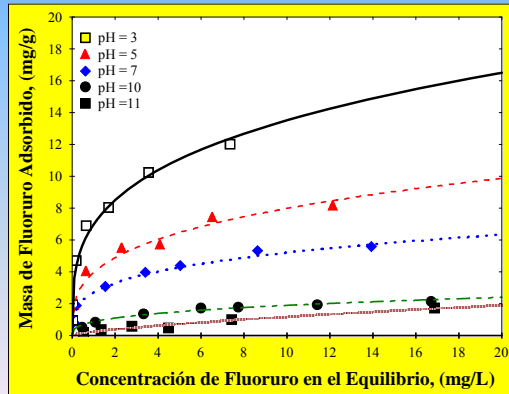


Figura 13. Efecto del pH en la isoterma de adsorción de fluoruro sobre carbón de hueso. T=25 °C.

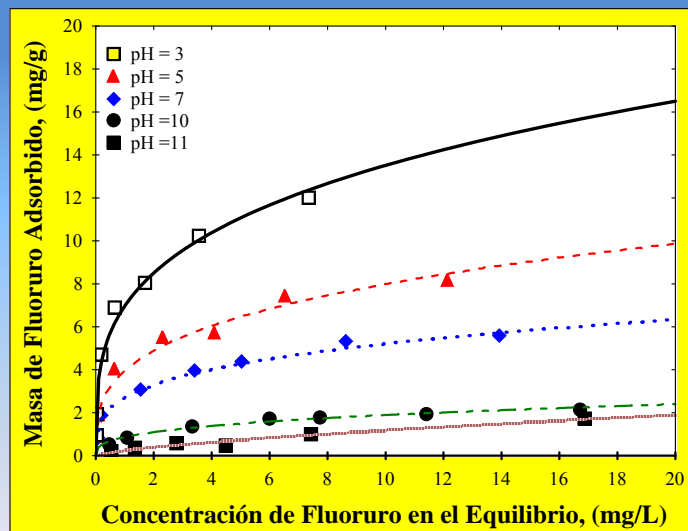


Figura 6. Efecto del pH en la isoterma de adsorción de fluoruro sobre carbón de hueso. T=25 °C

CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN

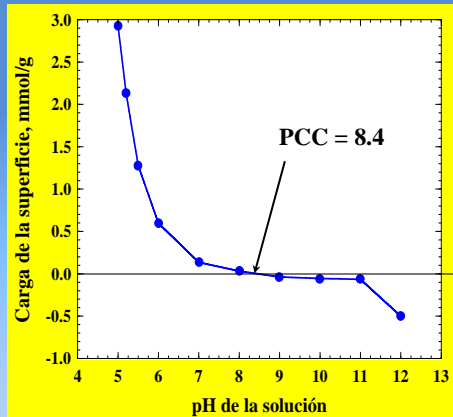


Figura 14. Distribución de la carga superficial del carbón de hueso

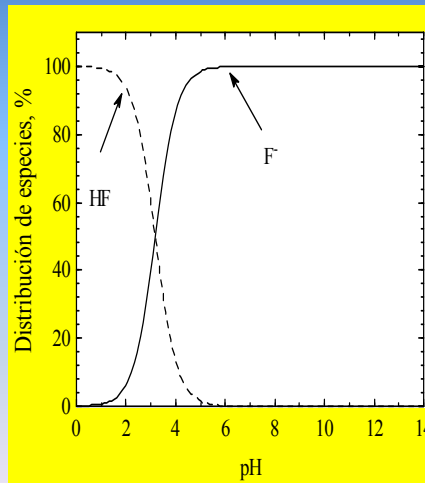
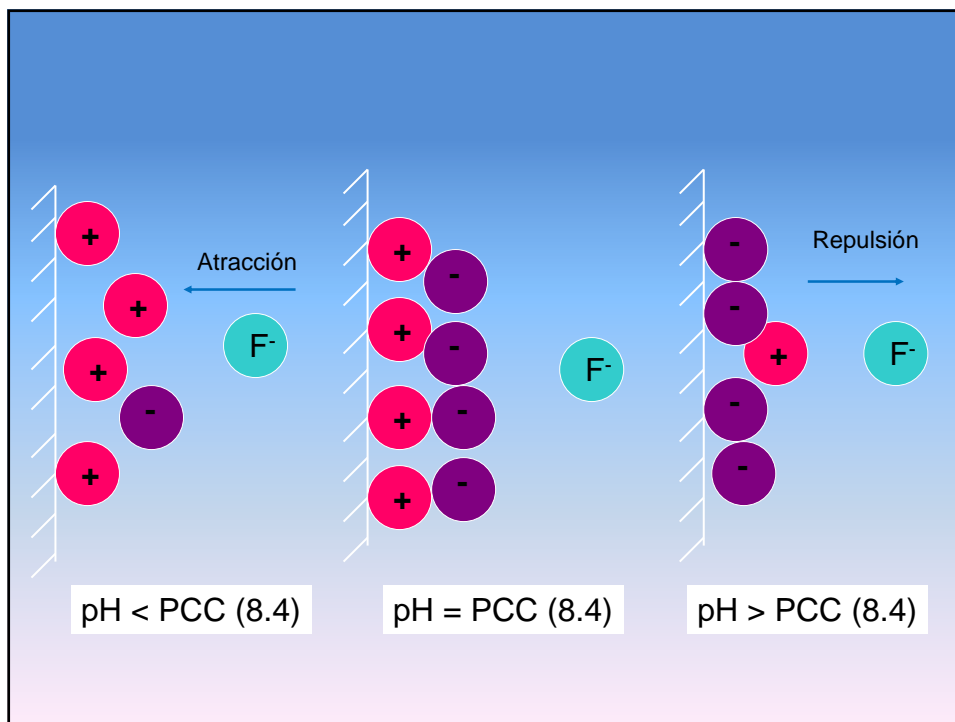


Figura 15. Diagrama de especiación del fluoruro.



3.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA

La isoterma de adsorción representa el equilibrio termodinámico entre el soluto adsorbido y el soluto en solución y por esta razón, es dependiente de la temperatura. La temperatura afecta el equilibrio porque las interacciones entre la superficie y las moléculas en solución dependen de la temperatura. En la literatura sobre adsorción en fase líquida se ha reportado que la temperatura puede afectar el equilibrio de adsorción de las tres formas siguientes:

- i) El equilibrio de adsorción se favorece disminuyendo la temperatura.
- ii) El equilibrio de adsorción se favorece aumentando la temperatura.
- iii) El equilibrio de adsorción es independiente de la temperatura.

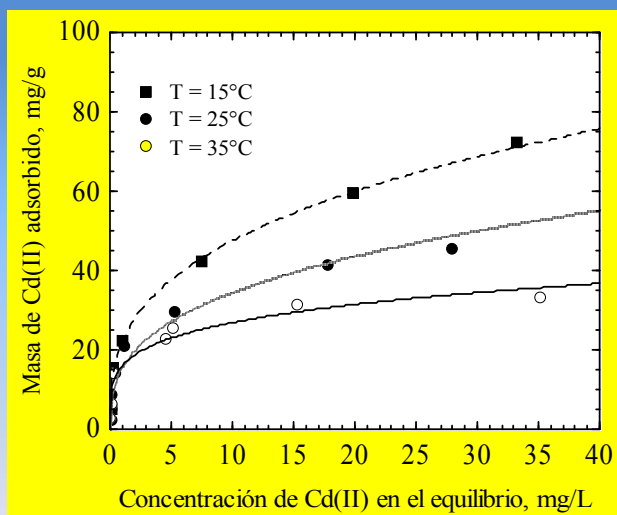
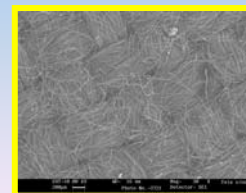
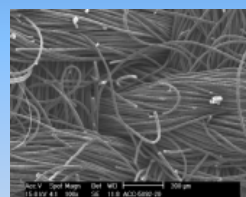
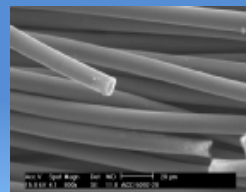
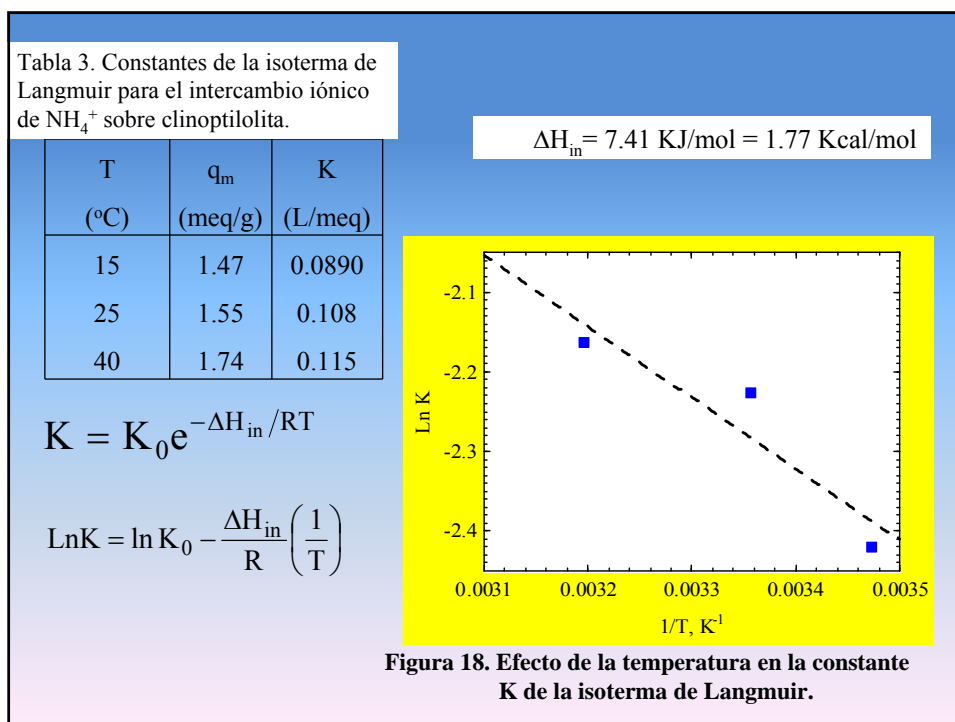
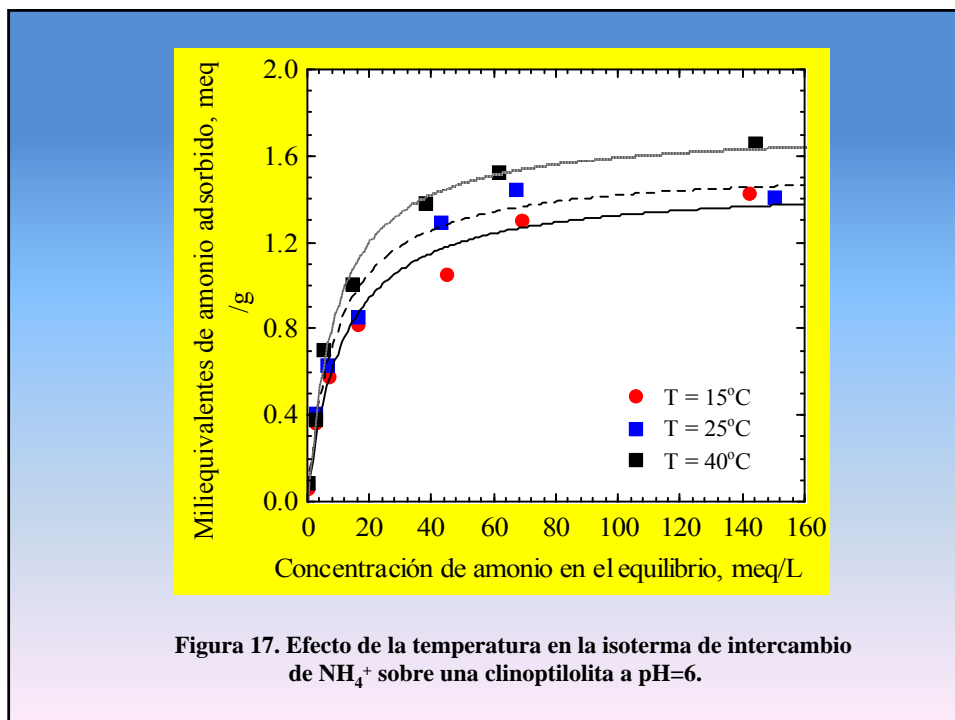
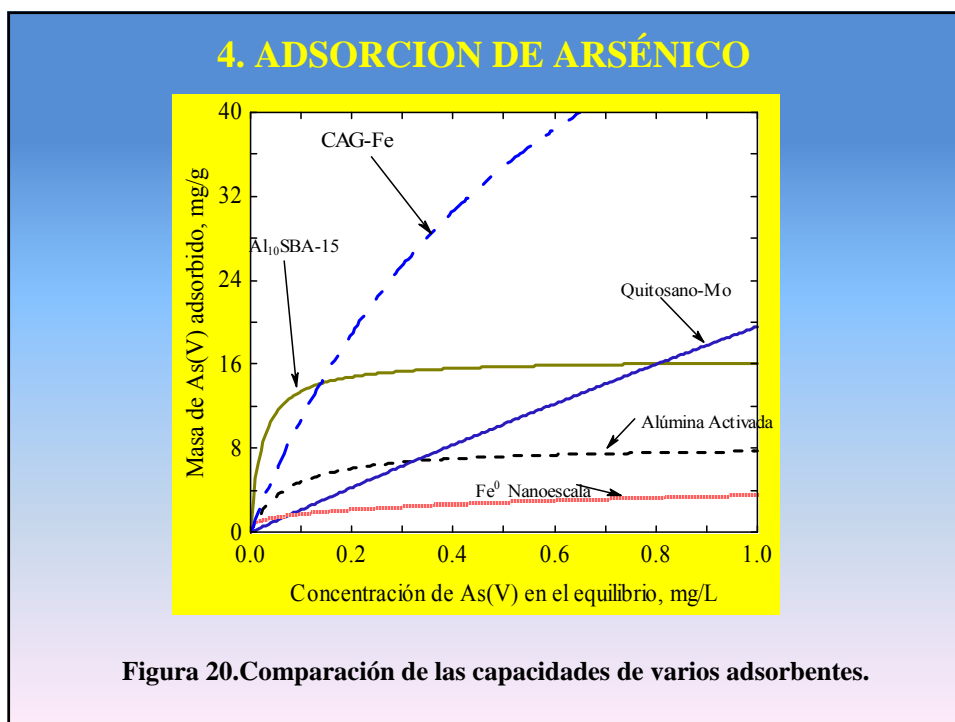
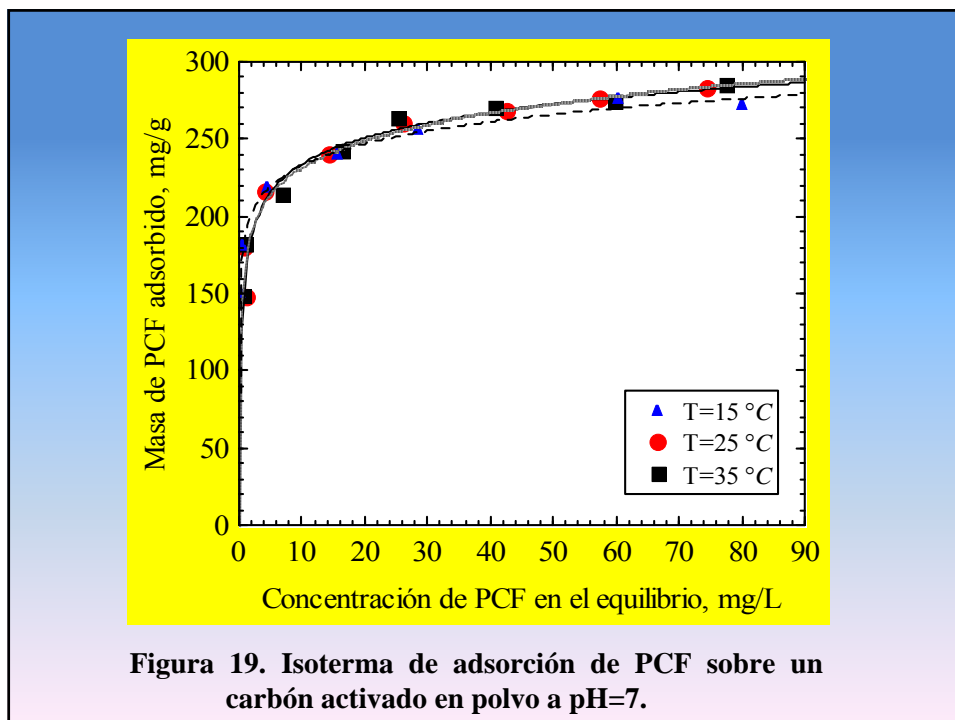


Figura 16. Isotermas de adsorción de Cd(II) sobre TCA oxidada con solución de HNO₃, pH=8.



CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN





CURSO-TALLER: REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS
FUNDAMENTOS DE ADSORCIÓN

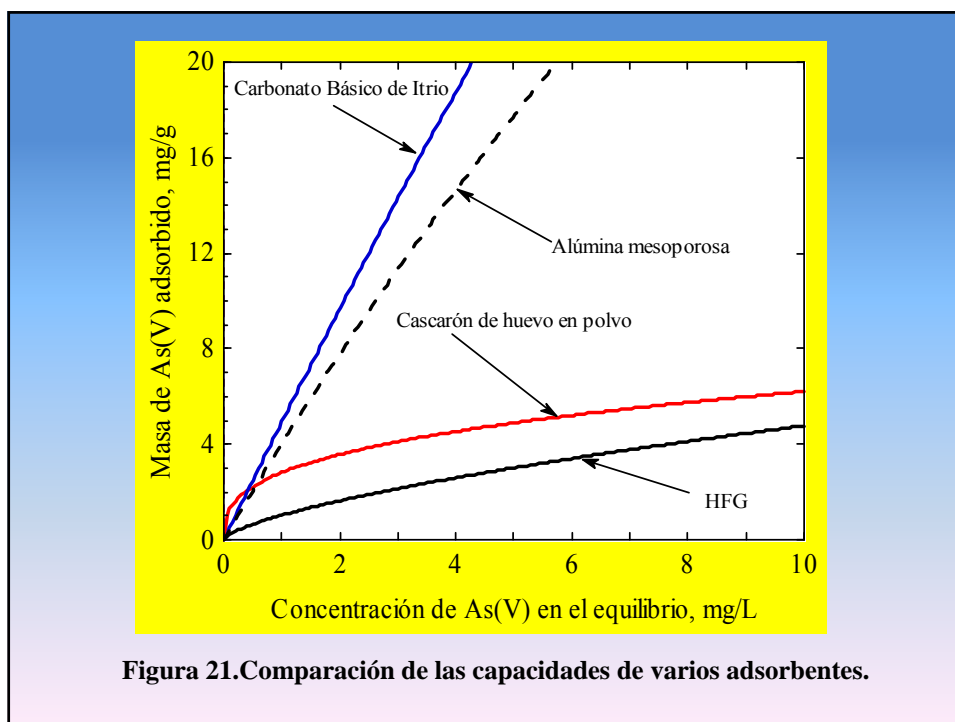


Figura 21. Comparación de las capacidades de varios adsorbentes.