

Extracción sólido-líquido a contracorriente

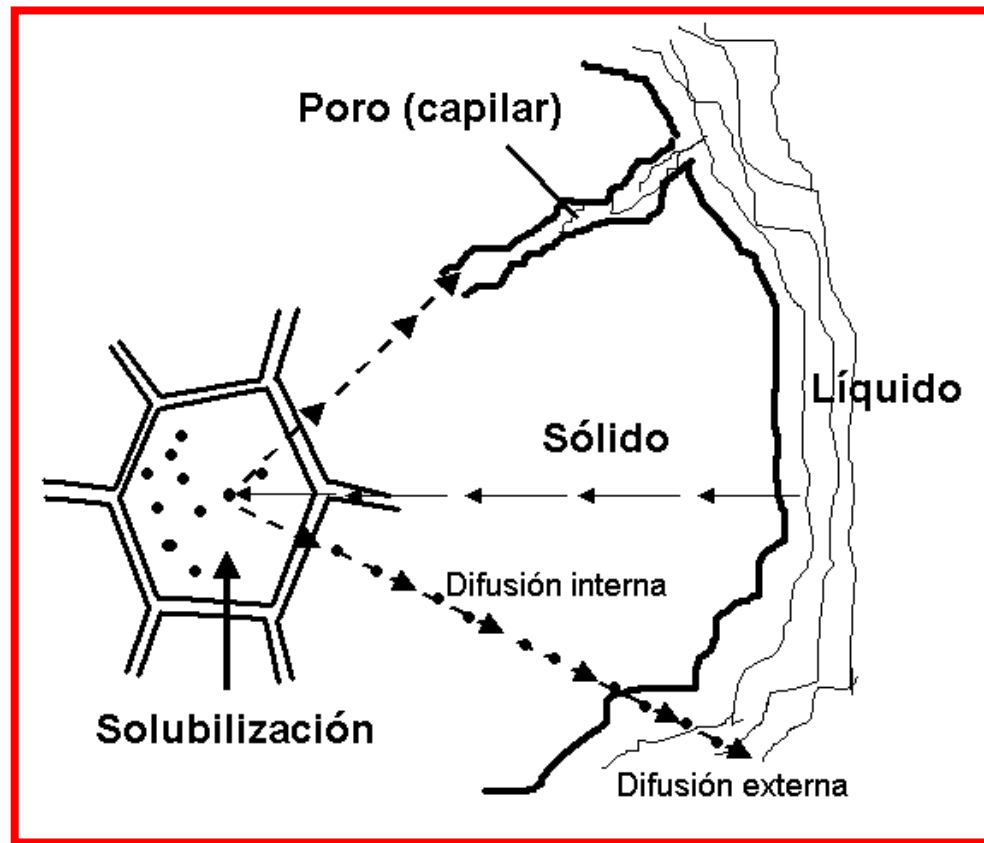
IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

27 de Abril de 2021



- Recordatorio de Clase Anterior
- Objetivos de la Clase
- Extracción Sólido-Líquido o Lixiviación
 - Extracción en una etapa
 - Extracción a Contracorriente
 - Equipos Tipos en la Industria



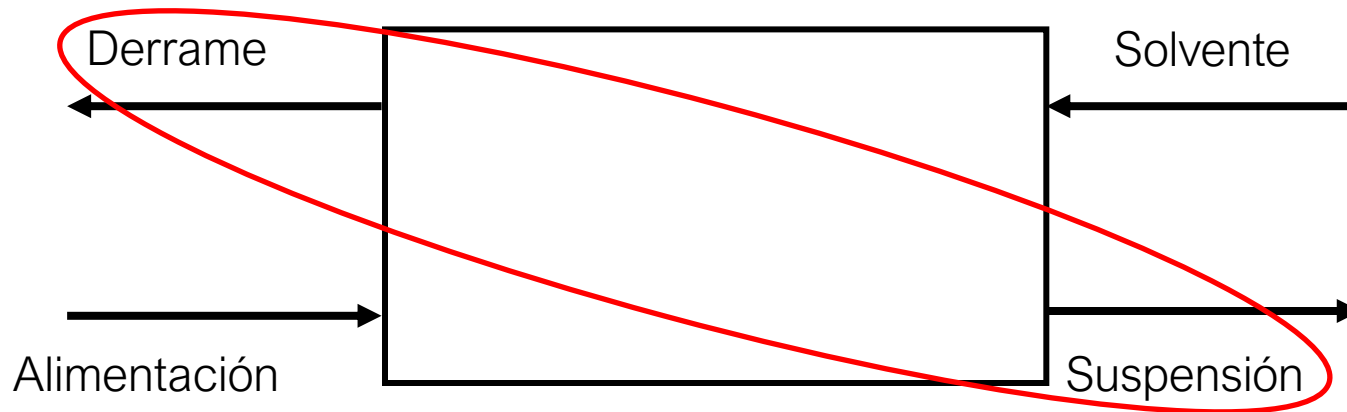
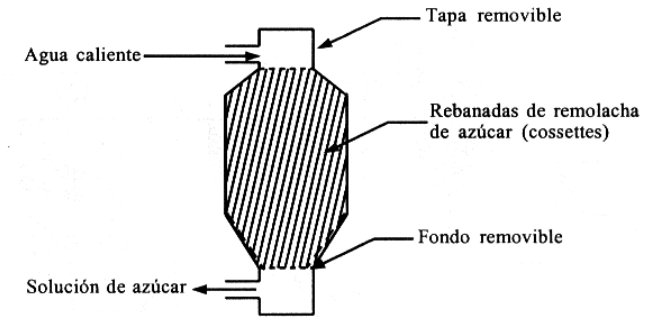
Etapas en la extracción:

1. Penetración del disolvente en la matriz
2. Solubilización de los componentes
3. Transporte de soluto hacia el exterior de la matriz
4. Migración de soluto desde superficie a solución

Lixiviación en una etapa

Supuestos importantes:

1. Sólido inerte es insoluble
2. Todo el soluto se disuelve por completo (hay suficiente solvente y tiempo)
3. La solución ocluida tiene la misma composición que la que se retira.

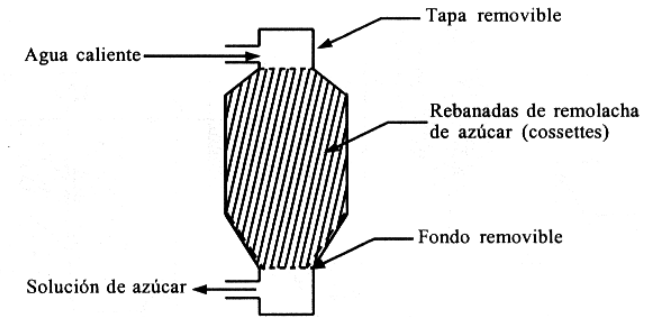


Solución ocluida tiene la misma composición que la que se retira.

Lixiviación en 1 etapa

Supuestos importantes:

1. Sólido inerte es insoluble
2. Todo el soluto se disuelve por completo (hay suficiente solvente y tiempo)
3. La solución ocluida tiene la misma composición que la que se retira.



Nomenclatura:

- La corriente sólido-líquido se llama *flujo inferior o suspensión*
- La corriente que se retira se llama *flujo superior o derrame*

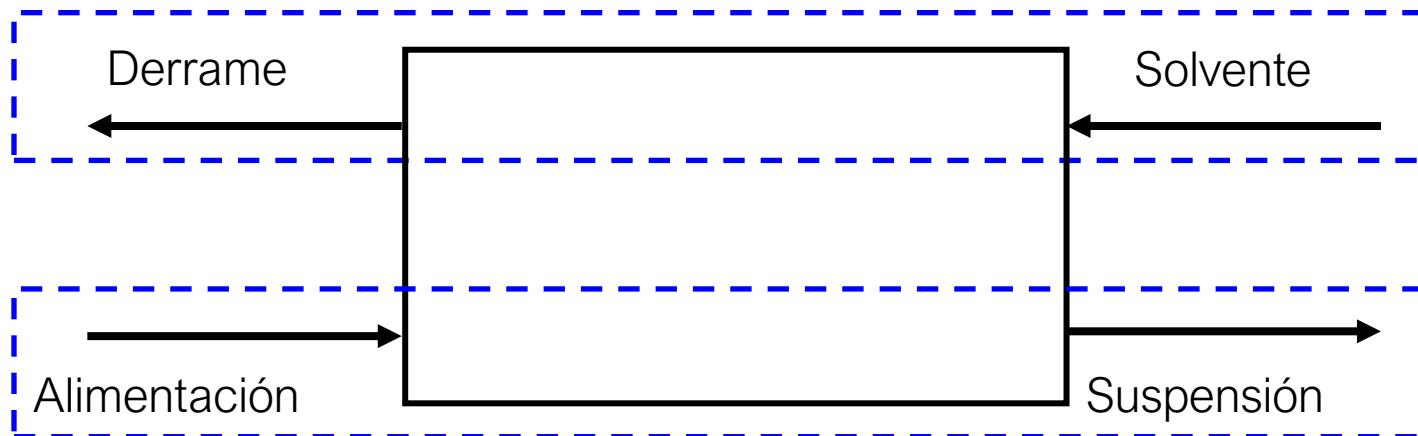


Diagrama de Equilibrio para Lixiviación

Para describir el equilibrio se utilizarán 2 concentraciones para cada corriente:

1. La concentración (N) de sólido insoluble o inerte B en la suspensión (en masa), i.e.

$$N = \frac{\text{kg } B}{\text{kg } A + \text{kg } C} = \frac{\text{kg sólido}}{\text{kg solución}}$$

2. La concentración de soluto A en el líquido, i.e.

$$y_A = \frac{\text{kg } A}{\text{kg } A + \text{kg } C} = \frac{\text{kg soluto}}{\text{kg solución}} \quad (\text{suspensión})$$

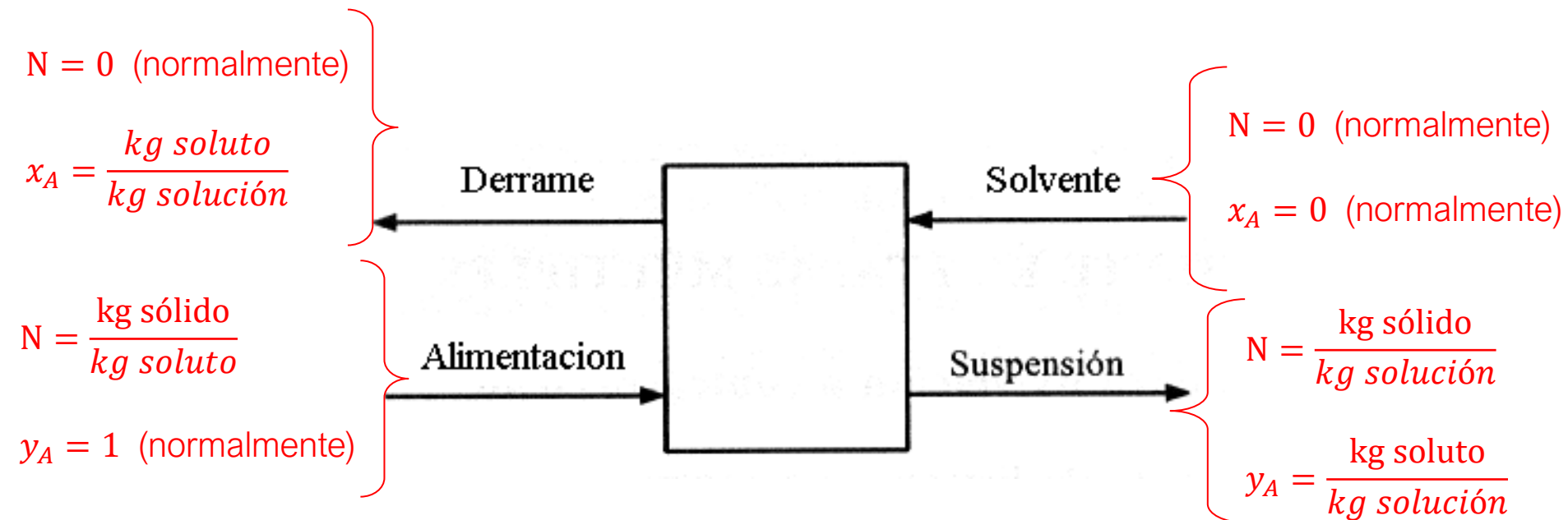
$$x_A = \frac{\text{kg } A}{\text{kg } A + \text{kg } C} = \frac{\text{kg soluto}}{\text{kg solución}} \quad (\text{derrame})$$

De acuerdo a la nomenclatura anterior, tendremos:

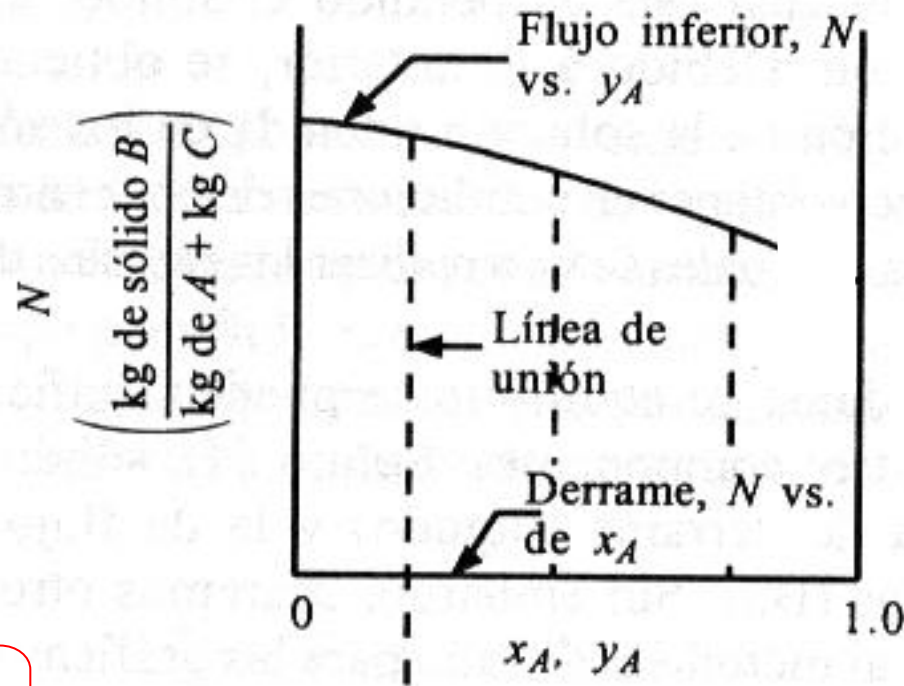
$$y_A = \frac{kg\ A}{kg\ A + kg\ C} = \frac{kg\ soluto}{kg\ solución} \quad (\text{suspensión})$$

$$N = \frac{kg\ B}{kg\ A + kg\ B} = \frac{kg\ sólido}{kg\ solución}$$

$$x_A = \frac{kg\ A}{kg\ A + kg\ C} = \frac{kg\ soluto}{kg\ solución} \quad (\text{derrame})$$



Normalmente $y_A = x_A$ (ambos líquidos tienen la misma composición)



La curva del flujo inferior se obtiene en forma experimental.

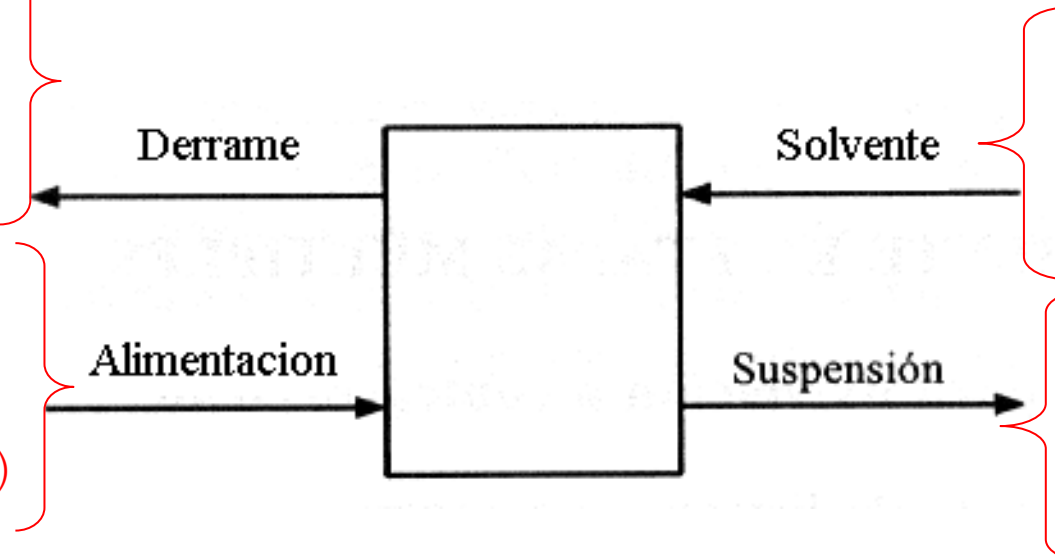
Normalmente $y_A = x_A$ (ambos líquidos tienen la misma composición)

$N = 0$ (normalmente)

$$x_A = \frac{\text{kg soluto}}{\text{kg solución}}$$

$$N = \frac{\text{kg sólido}}{\text{kg soluto}}$$

$y_A = 1$ (normalmente)

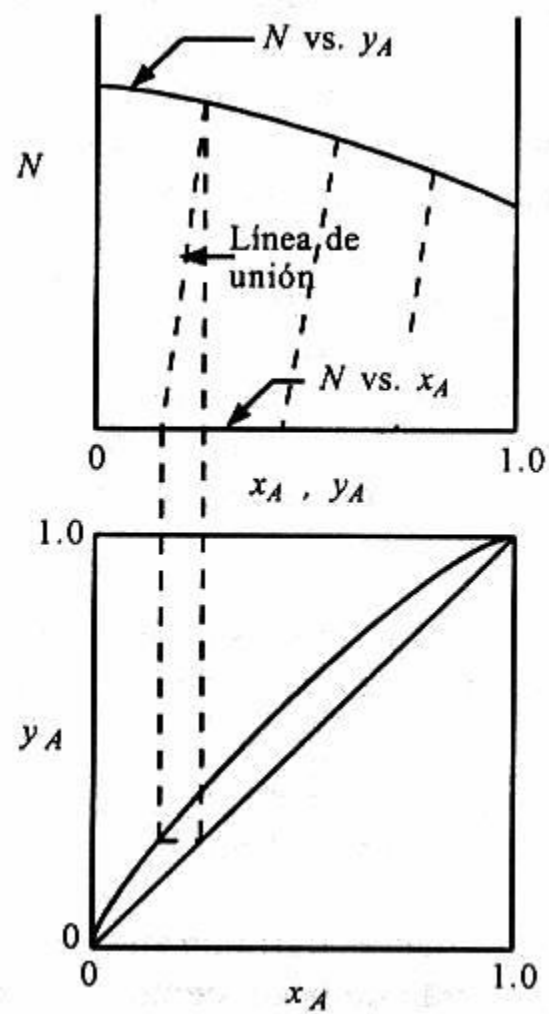
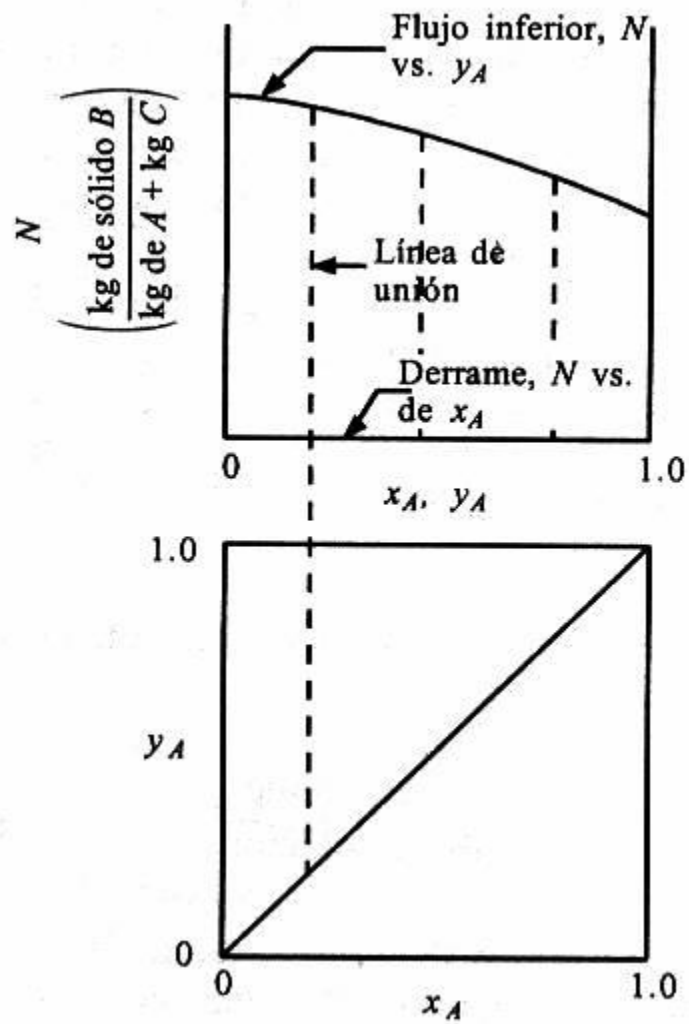


$N = 0$ (normalmente)

$x_A = 0$ (normalmente)

$$N = \frac{\text{kg sólido}}{\text{kg solución}}$$

$$y_A = \frac{\text{kg soluto}}{\text{kg solución}}$$



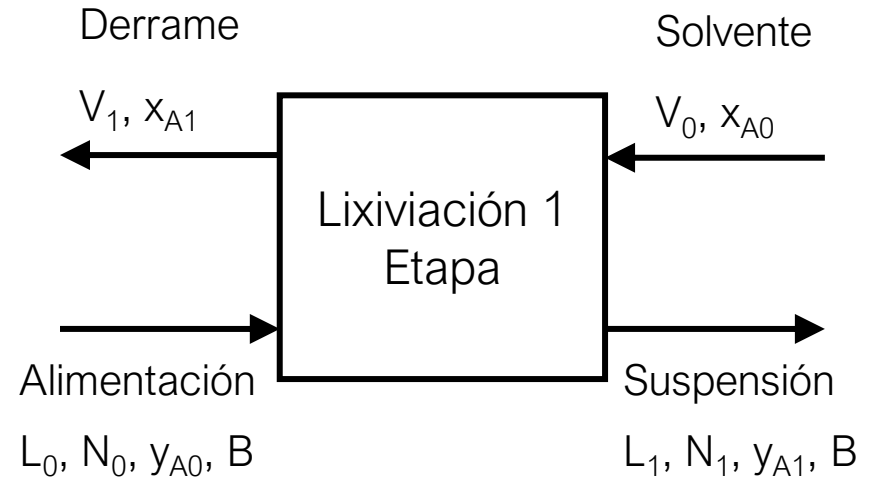
Objetivos de la Clase

- Resolver la extracción sólido-líquido en una etapa.
- Resolver la extracción sólido-líquido en múltiples etapas a contracorriente.
- Conocer algunos equipos utilizados

Resolución de 1 etapa

Balances:

1. Balance total de la solución (A + C, i.e. L_i y V_i)
2. Balance para soluto A
3. Balance para inerte B



Balances:

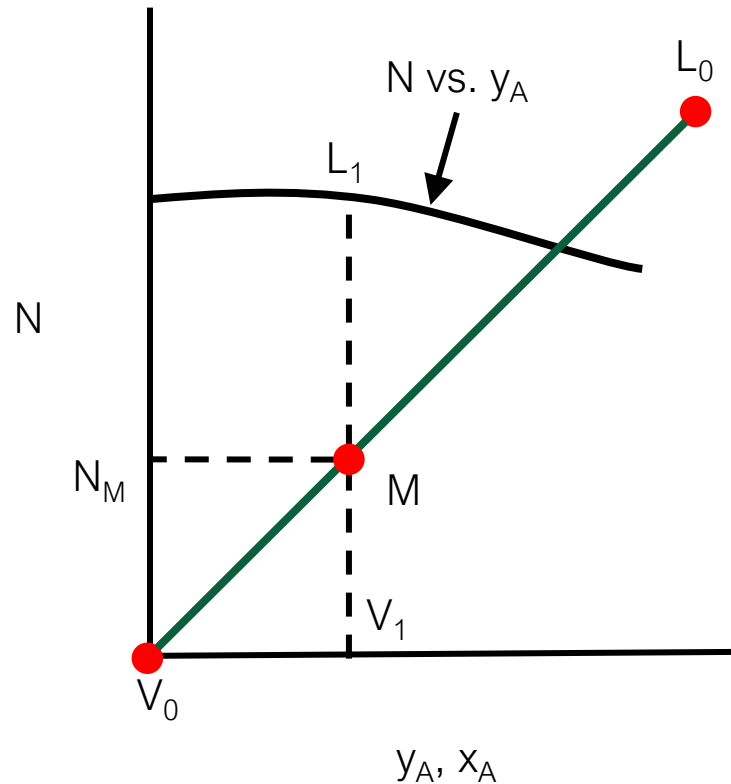
$$L_0 + V_0 = L_1 + V_1 = M \quad (A+C)$$

$$L_0 y_{A0} + V_0 x_{A0} = L_1 y_{A1} + V_1 x_{A1} = M x_{AM} \quad (A)$$

$$B = N_0 L_0 + 0 = N_1 L_1 + 0 = M N_M \quad (B)$$

M es el flujo de (A+C); x_{AM} y N_M son sus coordenadas

Gráficamente



Balances:

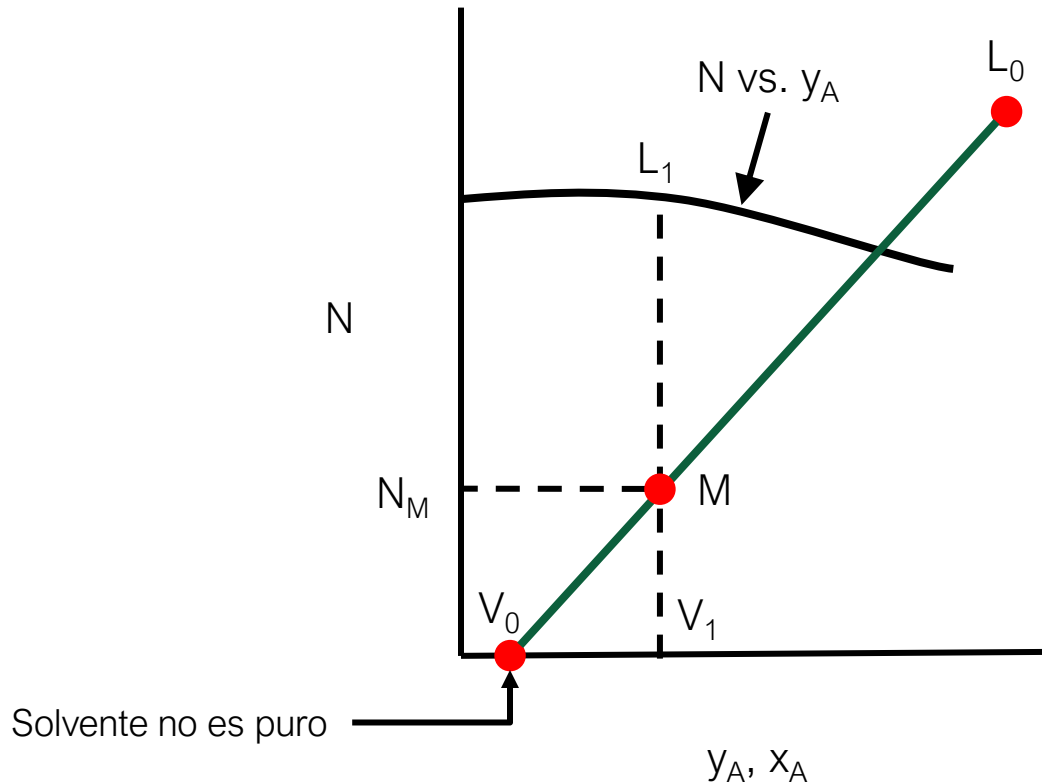
$$L_0 + V_0 = L_1 + V_1 = M \quad (A+C)$$

$$L_0 y_{A0} + V_0 x_{A0} = L_1 y_{A1} + V_1 x_{A1} = M x_{AM} \quad (A)$$

$$B = N_0 L_0 + 0 = N_1 L_1 + 0 = M N_M \quad (B)$$

M es el flujo de (A+C); x_{AM} y N_M son sus coordenadas

Gráficamente



Balances:

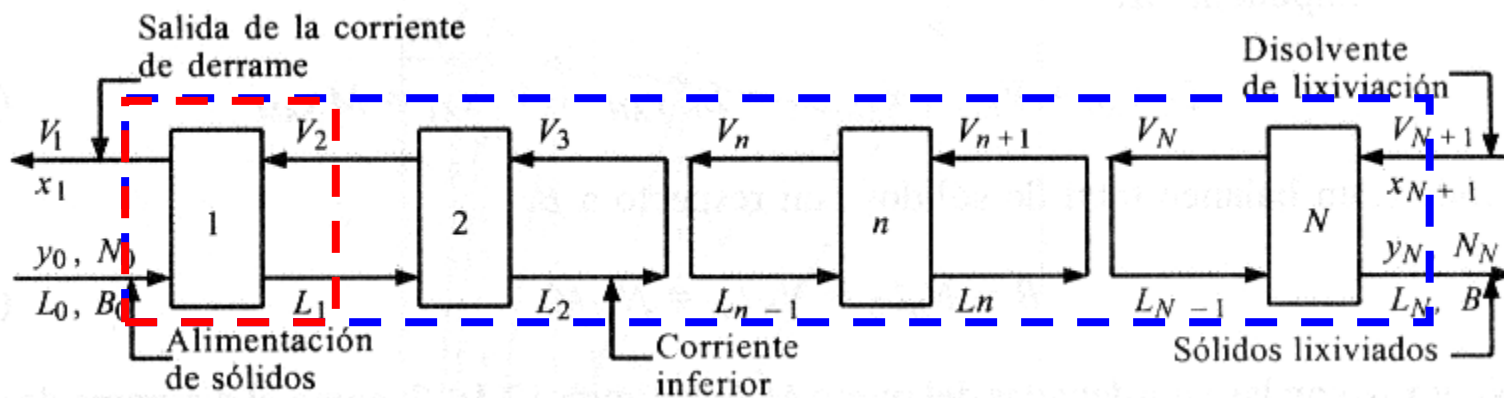
$$L_0 + V_0 = L_1 + V_1 = M \quad (A+C)$$

$$L_0 y_{A0} + V_0 x_{A0} = L_1 y_{A1} + V_1 x_{A1} = M x_{AM} \quad (A)$$

$$B = N_0 L_0 + 0 = N_1 L_1 + 0 = M N_M \quad (B)$$

M es el flujo de (A+C); x_{AM} y N_M son sus coordenadas

Lixiviación múltiple a contracorriente



Balances globales:

$$L_0 + V_{N+1} = L_N + V_1 = M$$

$$L_0 y_{A0} + V_{N+1} x_{AN+1} = L_N y_{AN} + V_1 x_{A1} = M x_{AM}$$

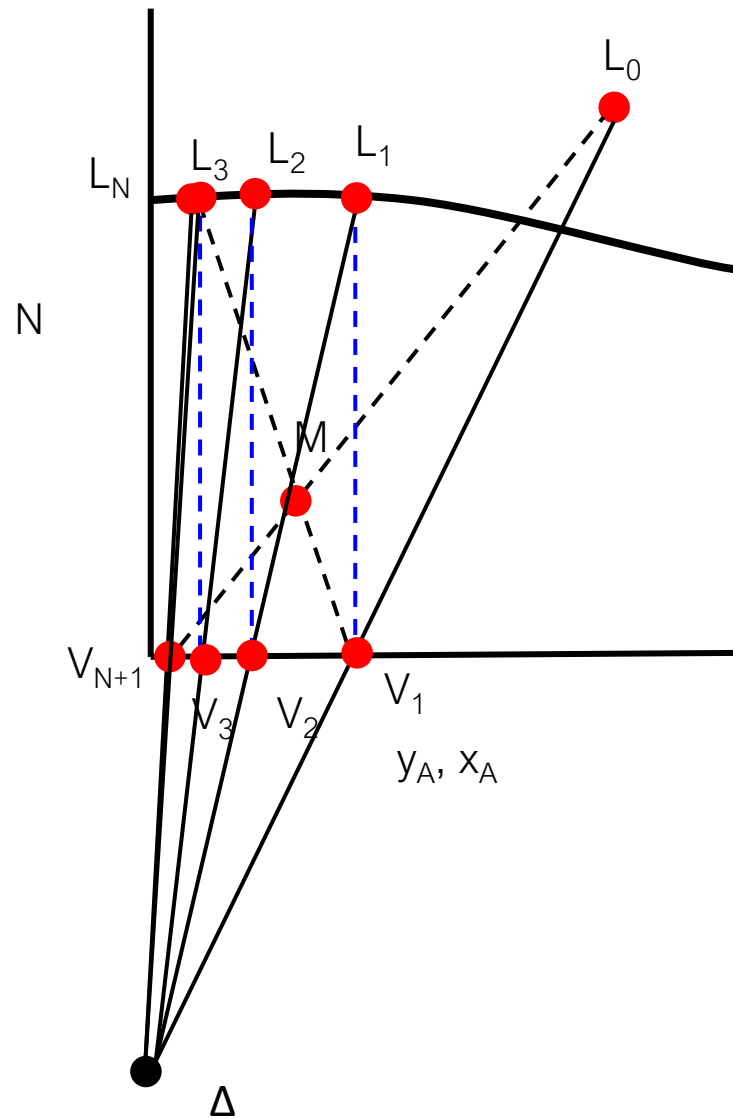
$$B = N_0 L_0 = N_N L_N = M N_M$$

Balances en envolventes:

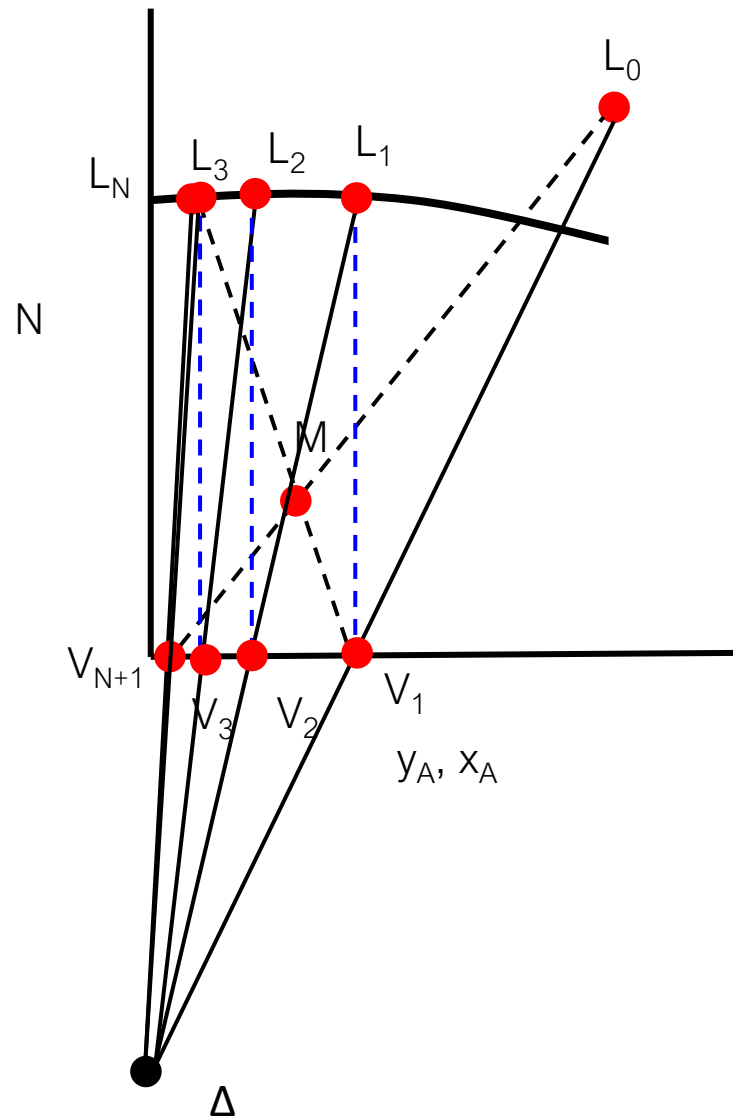
$$L_0 + V_2 = L_1 + V_1$$

$$L_0 - V_1 = L_1 - V_2 = \Delta$$

$$L_n - V_{n+1} = L_N - V_{N+1} = \Delta$$



$$L_0 - V_1 = L_1 - V_2 = L_n - V_{n+1} = L_N - V_{N+1} = \Delta$$

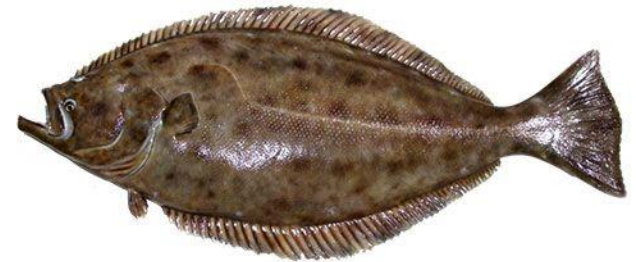


$$L_0 - V_1 = L_1 - V_2 = L_n - V_{n+1} = L_N - V_{N+1} = \Delta$$

Ejemplo Lixiviación a Contracorriente

El aceite de fletán se extrae de hígados de fletán granulados en una disposición de múltiples lotes a contracorriente utilizando éter como disolvente. La carga de sólidos contiene 0,35 kg de aceite/kg de hígados agotados y se desea obtener una recuperación de aceite del 90%.
¿Cuántas etapas teóricas se requieren si se utilizan 50 kg de éter/100 kg de sólidos sin tratar? Los datos de arrastre son:

Y_A (kg aceite/kg solución)	$1/N$ (kg solución/kg sólido inerte)
0	0,28
0,1	0,34
0,2	0,40
0,3	0,47
0,4	0,55
0,5	0,66
0,6	0,8
0,67	0,96



Y_A (kg aceite/kg solución)	$1/N$ (kg solución/kg sólido inerte)	N (kg sólido inerte/kg solución)
0	0,28	3,571
0,1	0,34	2,941
0,2	0,40	2,500
0,3	0,47	2,128
0,4	0,55	1,818
0,5	0,66	1,515
0,6	0,8	1,25
0,67	0,96	1,042

En la entrada (alimentación del sólido) tenemos lo siguiente:

$$kg \text{ sólido} = \frac{100 \text{ kg sólido}}{1 + 0,35} = 74 \text{ kg}$$

$$N_0 = \frac{74 \text{ kg sólido inerte}}{26 \text{ kg solución}} = 2,846$$

Tenemos que como la alimentación no tiene solvente, tenemos que:

$$y_0 = \frac{kg \text{ aceite}}{kg \text{ solución}} = 1$$

Por otro lado, en la suspensión tenemos que si se recupera el 90% entonces:

$$\frac{kg \text{ aceite}}{kg \text{ solido}} = \frac{2,6}{74} = 0,035$$

Y_A (kg aceite/kg solución)	$1/N$ (kg solución/kg sólido inerte)	N (kg sólido inerte/kg solución)	Kg aceite/kg sólido inerte
0	0,28	3,571	$(0)(0,28) = 0$
0,1	0,34	2,941	0.034
0,2	0,40	2,500	0.08
0,3	0,47	2,128	0,0141
0,4	0,55	1,818	0,22
0,5	0,66	1,515	0,33
0,6	0,8	1,25	0,48
0,67	0,96	1,042	0,643

Por otro lado, en la suspensión tenemos que si se recupera el 90% entonces:

$$L_N = \frac{\text{kg sólido inerte}}{\text{kg solución}} \approx 2,941$$

$$y_N = \frac{\text{kg aceite}}{\text{kg solución}} \approx 0,10$$

Ahora hacemos el balance por corriente, iniciemos el balance de solución:

$$L_0 + V_{N+1} = M$$

$$26 + 50 = M = 76 \text{ kg}$$

El balance del aceite:

$$L_0 y_{A,0} + V_{N+1} x_{A,N+1} = M x_{A,M}$$

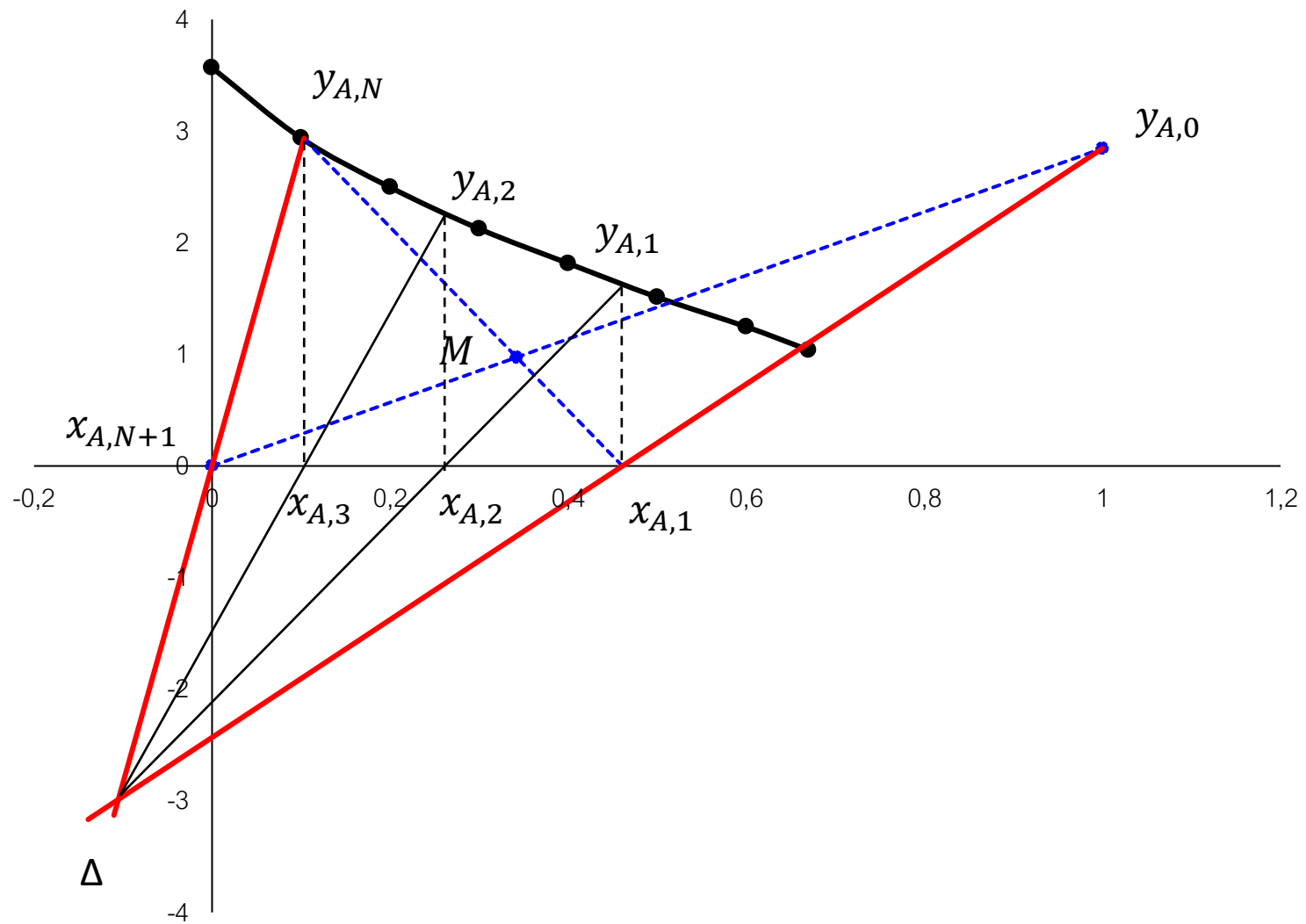
$$26 \cdot 1 + 50 \cdot 0 = 26 = 76 x_{A,M}$$

$$x_{A,M} = 0,3421$$

Y el balance del sólido:

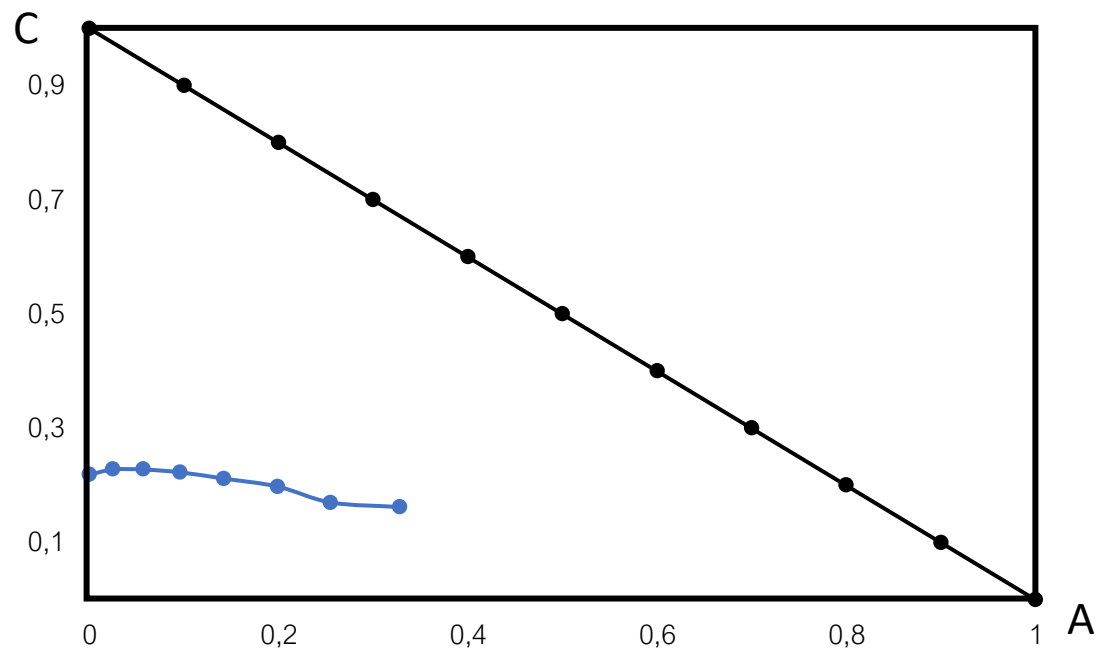
$$74 \text{ kg solido} = N_M M = 76 N_M$$

$$N_M = 0,97$$



Y_A (kg aceite/kg solución)	1/N (kg solución/kg sólido inerte)	Aceite (kg/kg sólido inerte)	Eter (kg/kg sólido inerte)	Suspensión (kg/kg sólido inerte)
0	0,28	0	$0,28 - 0 = 0,28$	(kg sólido + kg solución) = 1,28
0,1	0,34	$(0,1)(0,34)=0,034$	0,306	1,34
0,2	0,40	0,08	0,32	1,4
0,3	0,47	0,0141	0,32	1,47
0,4	0,55	0,22	0,33	1,55
0,5	0,66	0,33	0,33	1,66
0,6	0,8	0,48	0,32	1,88
0,67	0,96	0,643	0,317	1,96

Y_A (kg aceite/kg solución)	1/N (kg solución/kg sólido inerte)	x_A (kg aceite/kg total)	x_C (kg eter/kg total)
0	0,28	$0/1,28 = 0$	$0,28/1,28 = 0,219$
0,1	0,34	0,025	0,228
0,2	0,40	0,057	0,228
0,3	0,47	0,096	0,223
0,4	0,55	0,142	0,212
0,5	0,66	0,199	0,198
0,6	0,8	0,255	0,17
0,67	0,96	0,328	0,162



En la entrada (alimentación) hay lo siguiente:

$$kg \text{ sólido inerte} = \frac{100 \text{ kg hígado}}{1 + 0,35} = 74 \text{ kg}$$

Por lo tanto, en aceite contiene:

$$kg \text{ aceite} = 100 \text{ kg} - 74 \text{ kg} = 26 \text{ kg}$$

Así,

$$x_{A,1} = \frac{kg \text{ aceite}}{kg \text{ total}} = 0,26$$

$$x_{C,1} = \frac{kg \text{ eter}}{kg \text{ total}} = 0$$

En el lado opuesto, tenemos el solvente (éter) que se alimenta puro al sistema:

$$y_{C,N+1} = 1$$

Como queremos recuperar un 90% de aceite, tenemos que el balance de materia global es:

	Sólido inerte	Aceite	Éter
Alimentación	74	26	0
Solvente	-	-	50
Suspensión	74	$(26)(0,1) = 2,6$	e (por ej.)
Derrame	-	23,4	50-e

	Sólido inerte	Aceite	Éter
Alimentación	74	26	0
Solvente	-	-	50
Suspensión	74	$(26)(0,1) = 2,6$	e (por ej.)
Derrame	-	23,4	50-e

Pero, en la suspensión, tenemos lo siguiente:

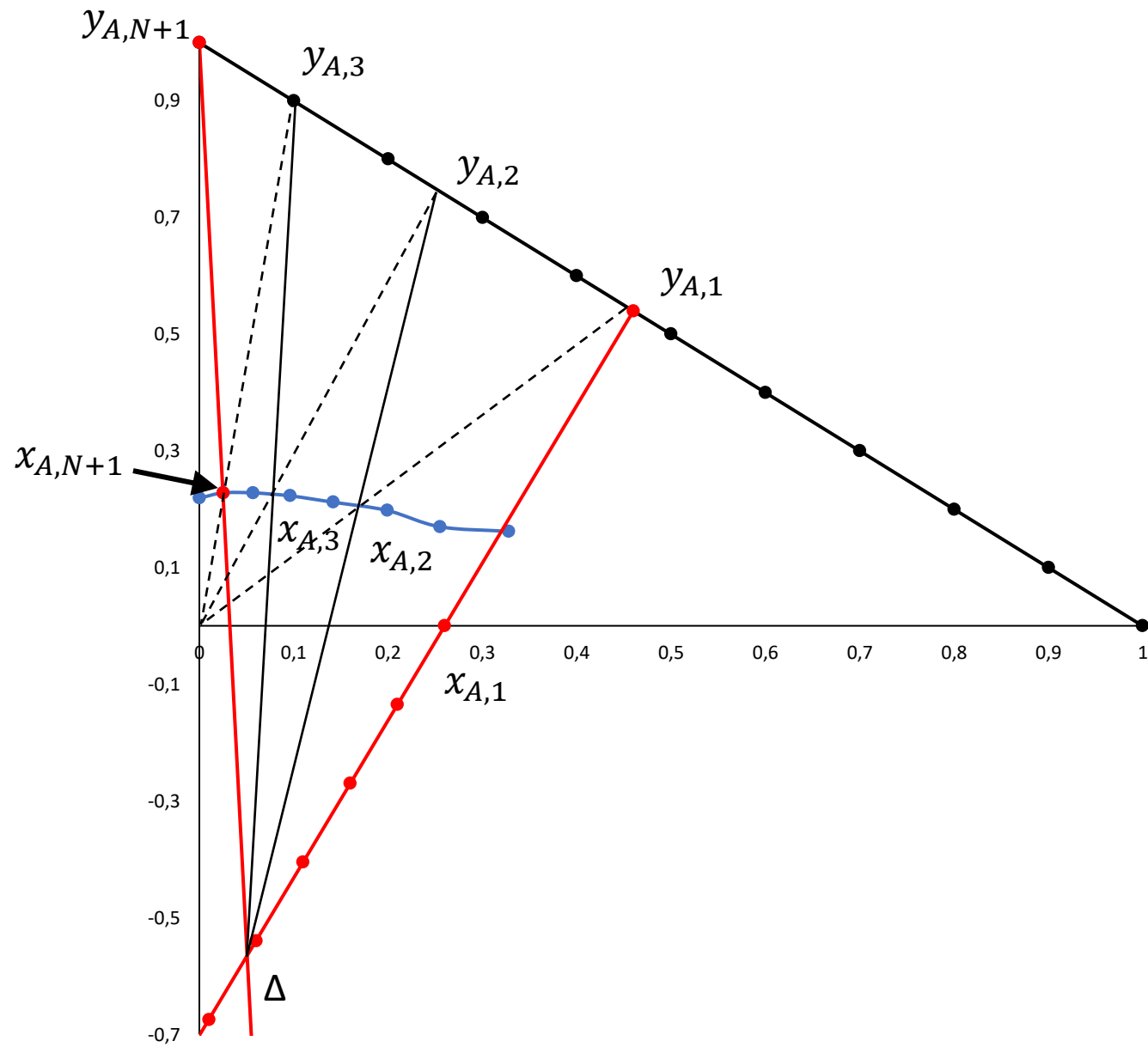
$$\frac{\text{kg aceite}}{\text{kg sólido}} = \frac{2,6}{74} = 0,035$$

Se aproxima bastante al punto $x_{A,N+1} = 0,025$ y $x_{C,N+1} = 0,288$. Por lo tanto,

$$\frac{\text{kg éter}}{\text{kg sólido inerte}} = 0,306 \rightarrow e = 0,306 \cdot 74 = 22,6 \text{ kg éter}$$

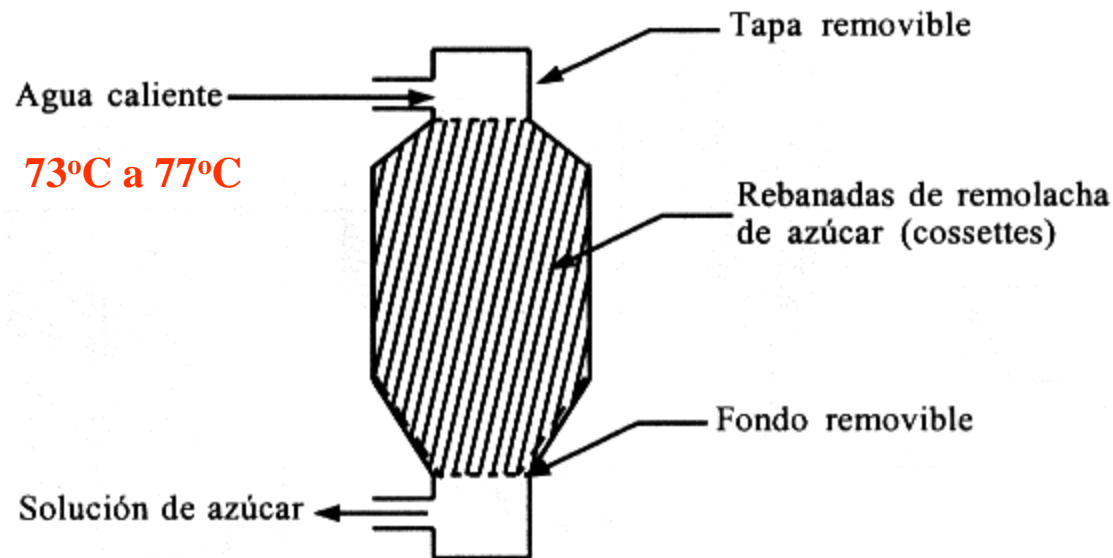
Por otro lado, la masa de éter en el derrame es igual a $50 - 22,6 = 27,4 \text{ kg}$

$$y_{A,1} = \frac{23,4}{23,4 + 27,4} = 0,46 \rightarrow y_{C,1} = 0,54$$



Equipos para extracción sólido-líquido: Lixiviación en lechos fijos

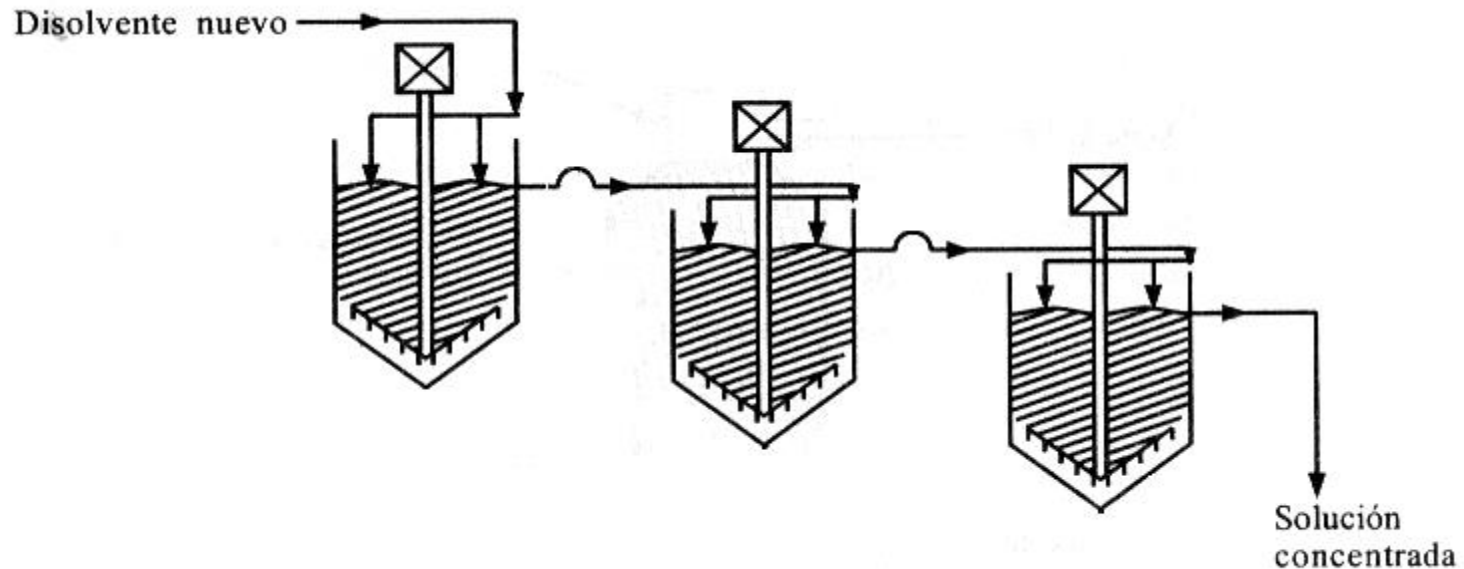
Industria de remolacha, extracción de productos farmacéuticos de cortezas y semillas.



(Geankoplis)

Equipos para extracción sólido-líquido: Lixiviación en lechos fijos

Se pueden agrupar varios lechos fijos en serie hasta constituir una **batería de extracción** (se agrega solvente nuevo al sólido que está casi extraído y la solución concentrada se extrae del último tanque). Este sistema también se conoce como **Sistema Shanks**

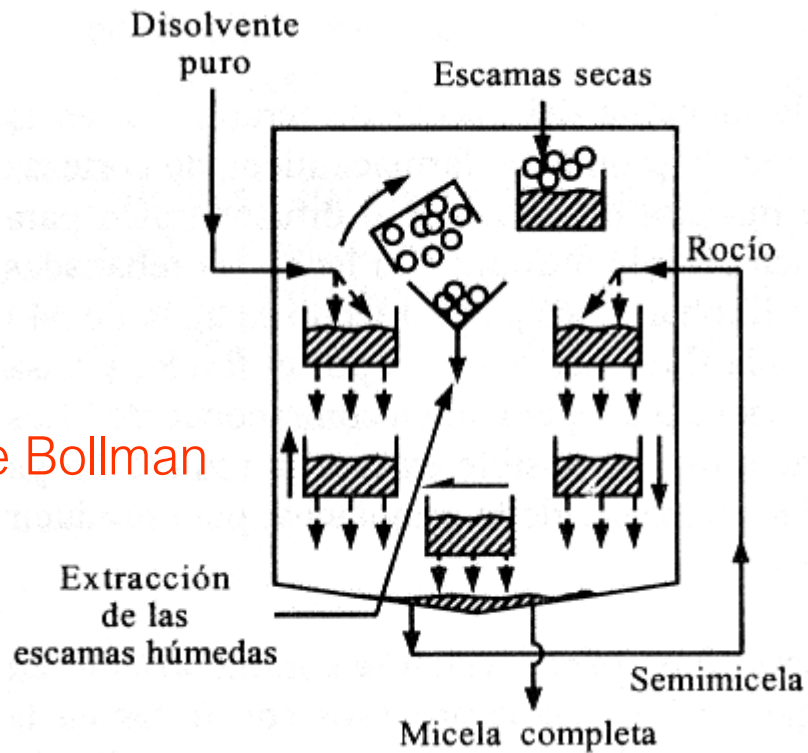


(Geankoplis,2018)

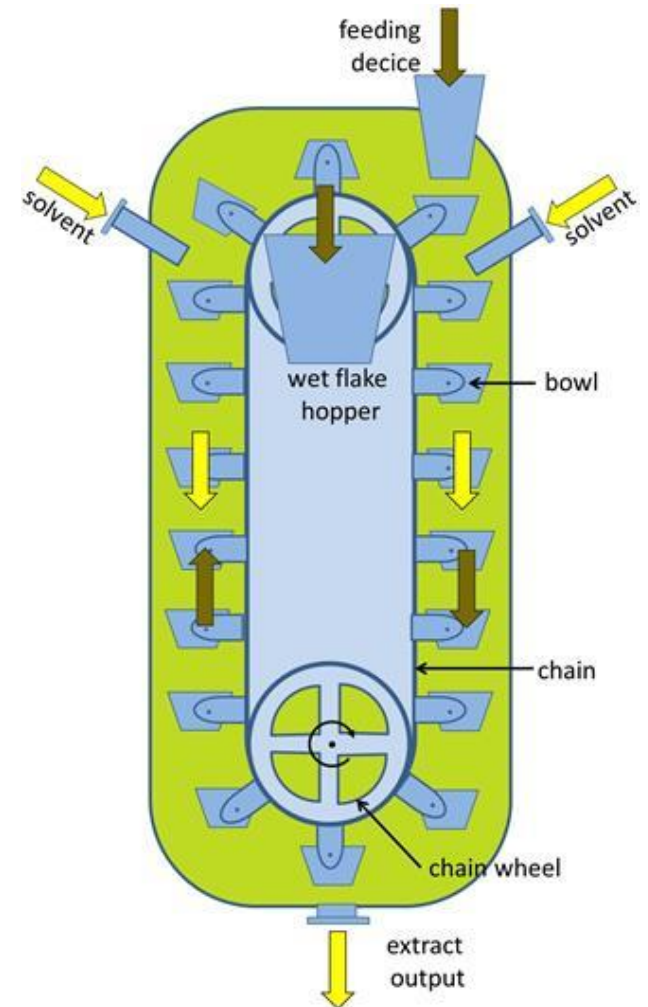
Equipos para extracción sólido-líquido: Lixiviación con lecho móviles

Muy utilizado en la extracción de aceite de semillas oleaginosas

Extractor de Bollman



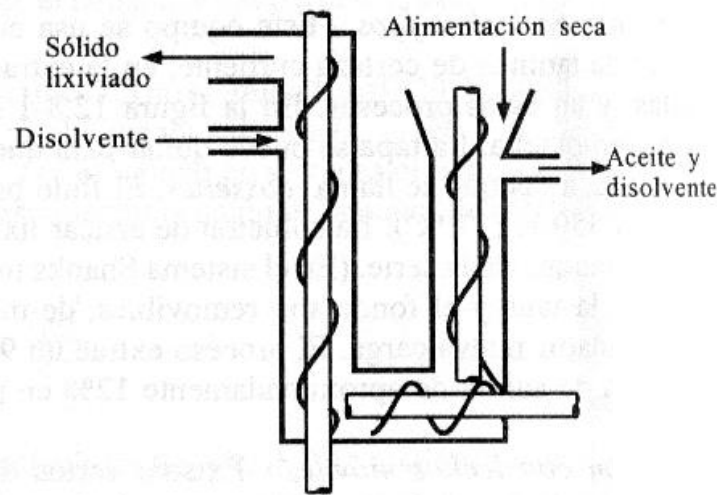
(Treybal)



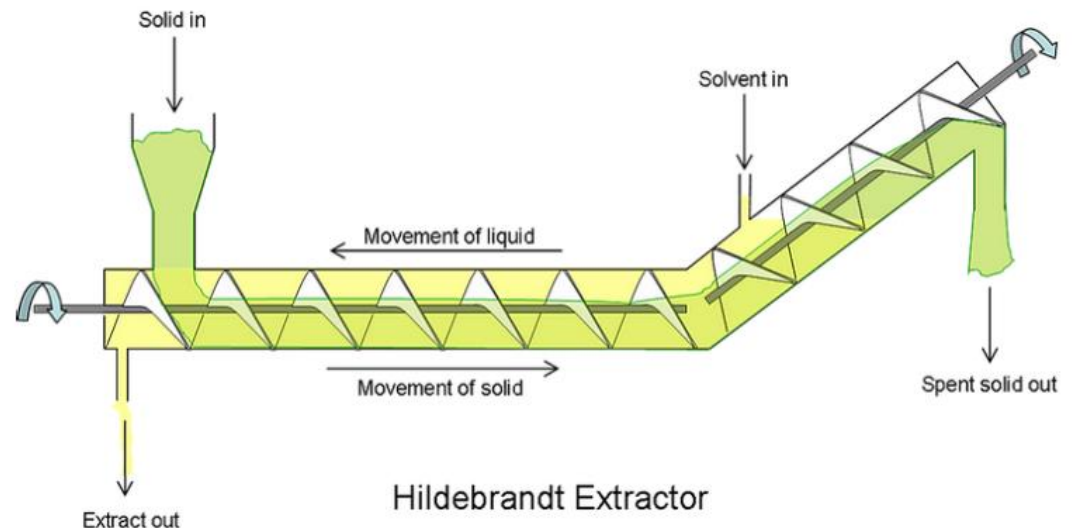
Equipos para extracción sólido-líquido: Lixiviación con lecho móviles

Muy utilizado en la extracción de aceite de semillas oleaginosas

Extractor de Hildebrandt



(Treybal)

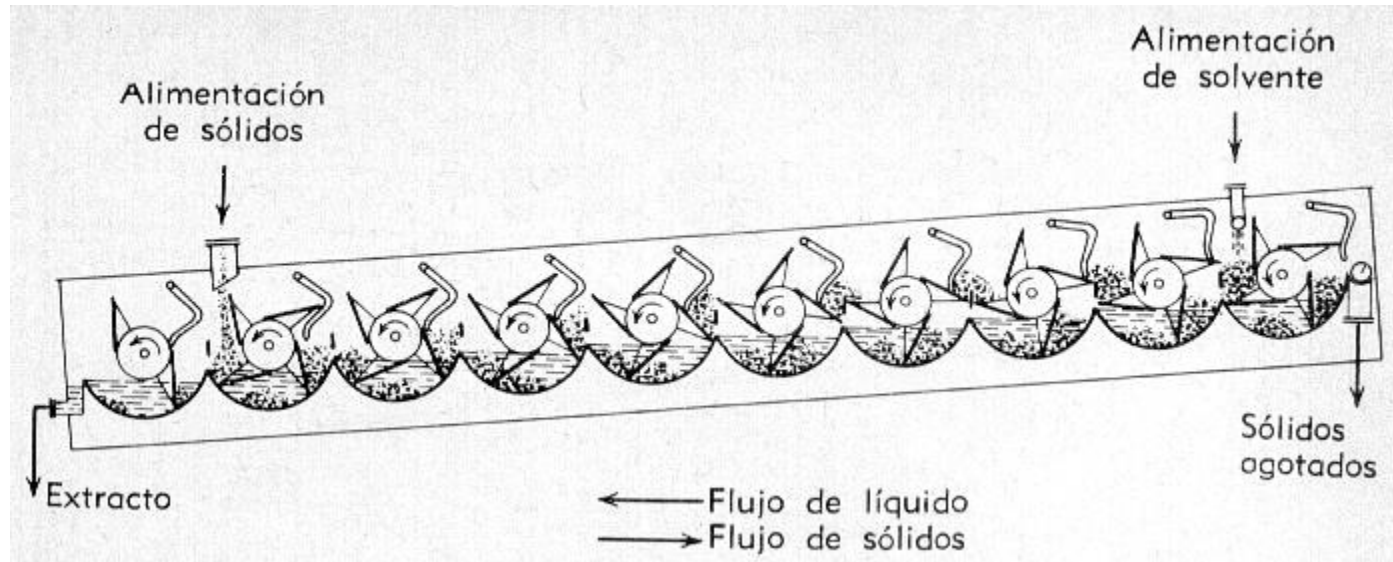


Hildebrandt Extractor

Equipos para extracción sólido-líquido: Lixiviación con lecho móviles

Muy utilizado en la extracción de aceite de semillas oleaginosas

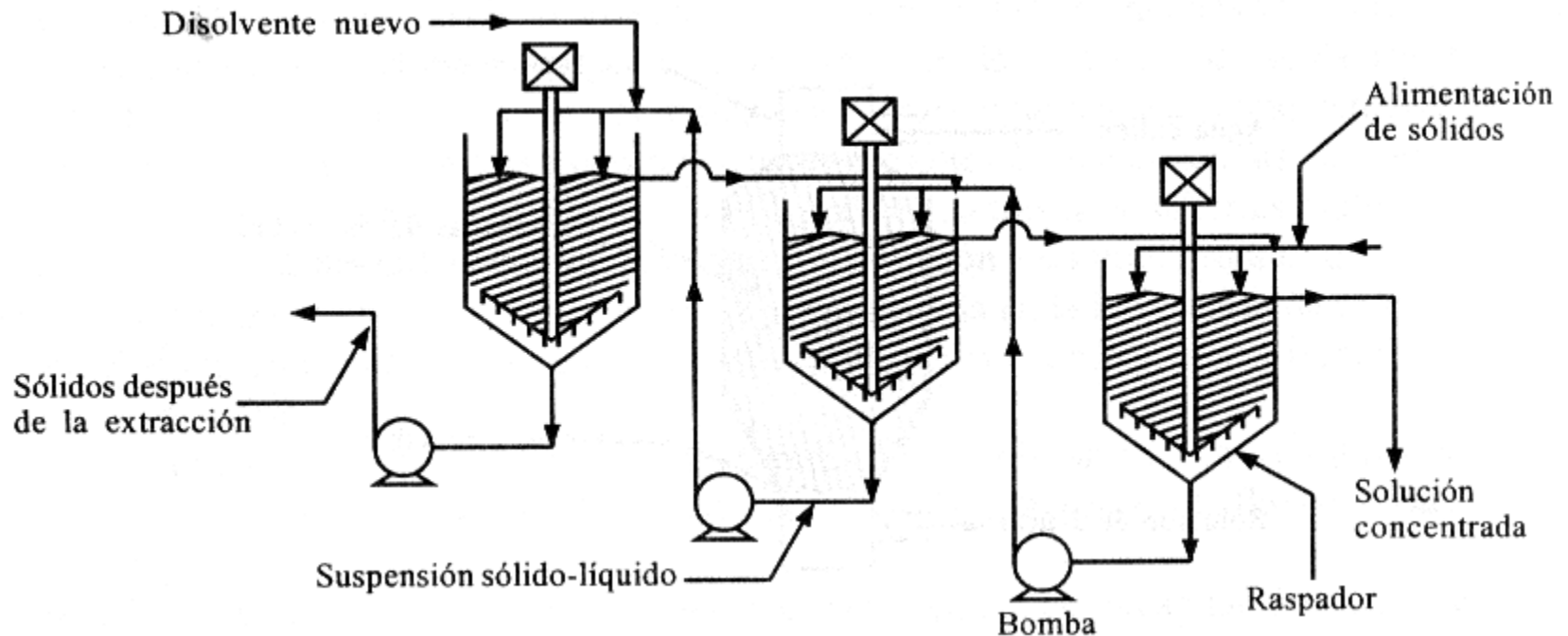
Extractor de Kennedy



(Treybal)

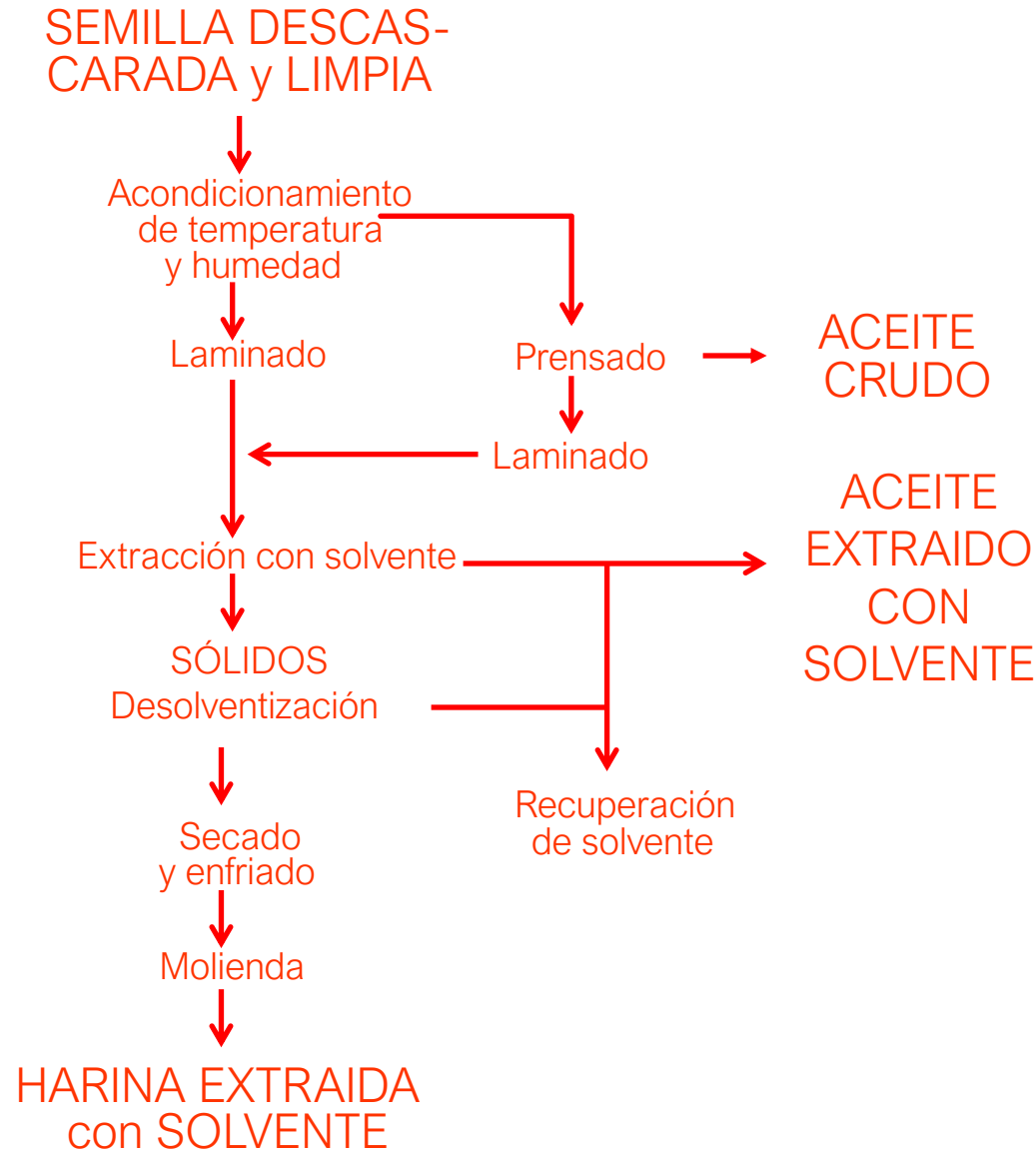
Equipos para extracción sólido-líquido: Lixiviación agitada del sólido

Si el sólido se puede moler finamente (aprox. 200 mesh, i.e. 74 μ m), es posible mantenerlo en suspensión aplicando agitación y efectuar una lixiviación continua a contracorriente.

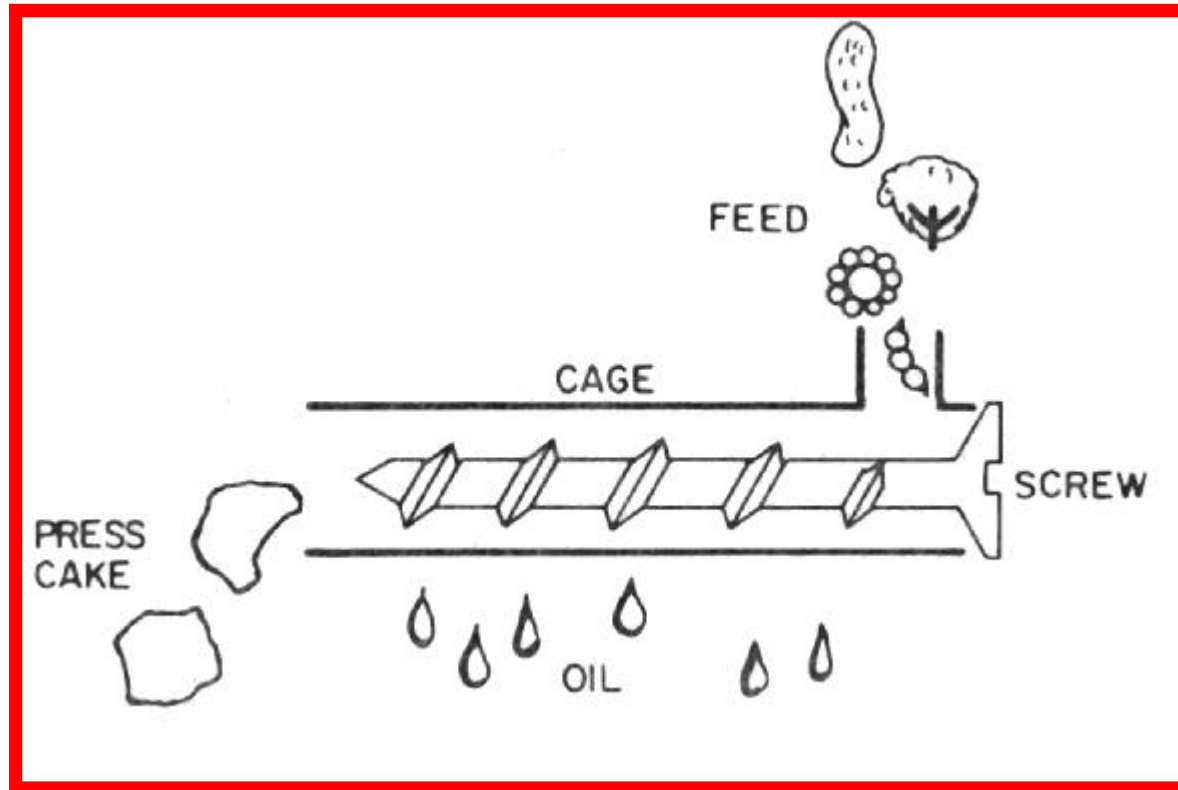


(Geankoplis)

Ejemplo: extracción de aceite de semillas oleaginosas

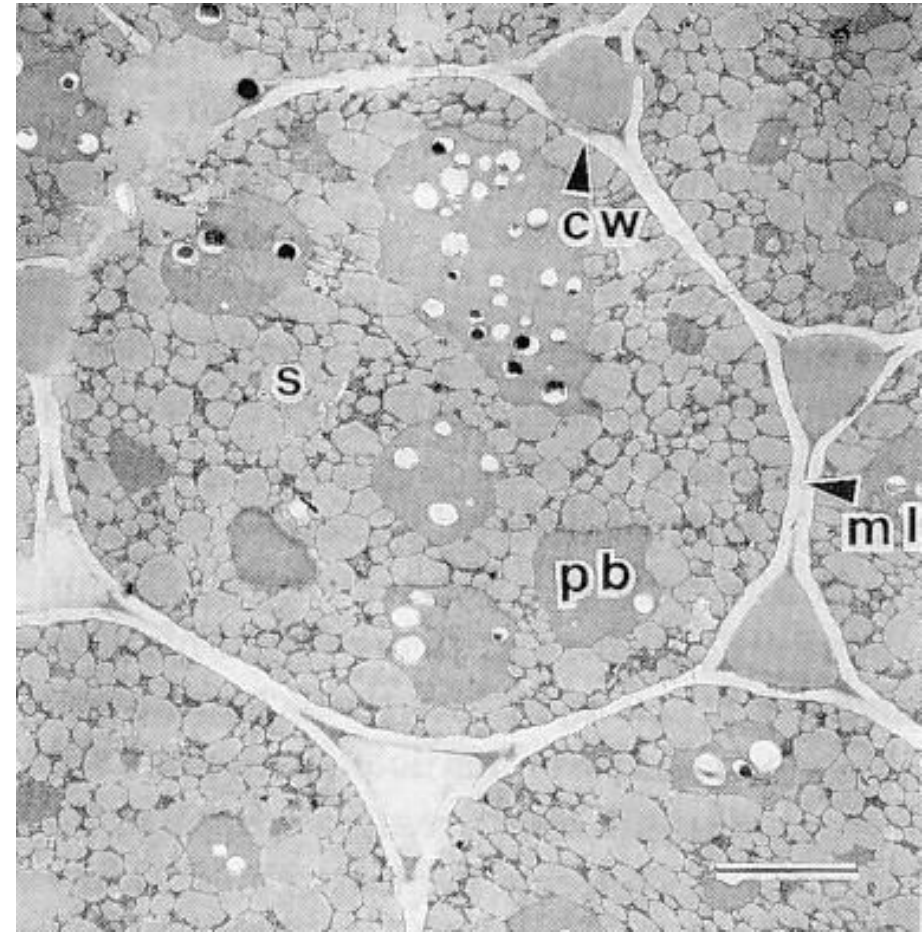


Principio del prensado

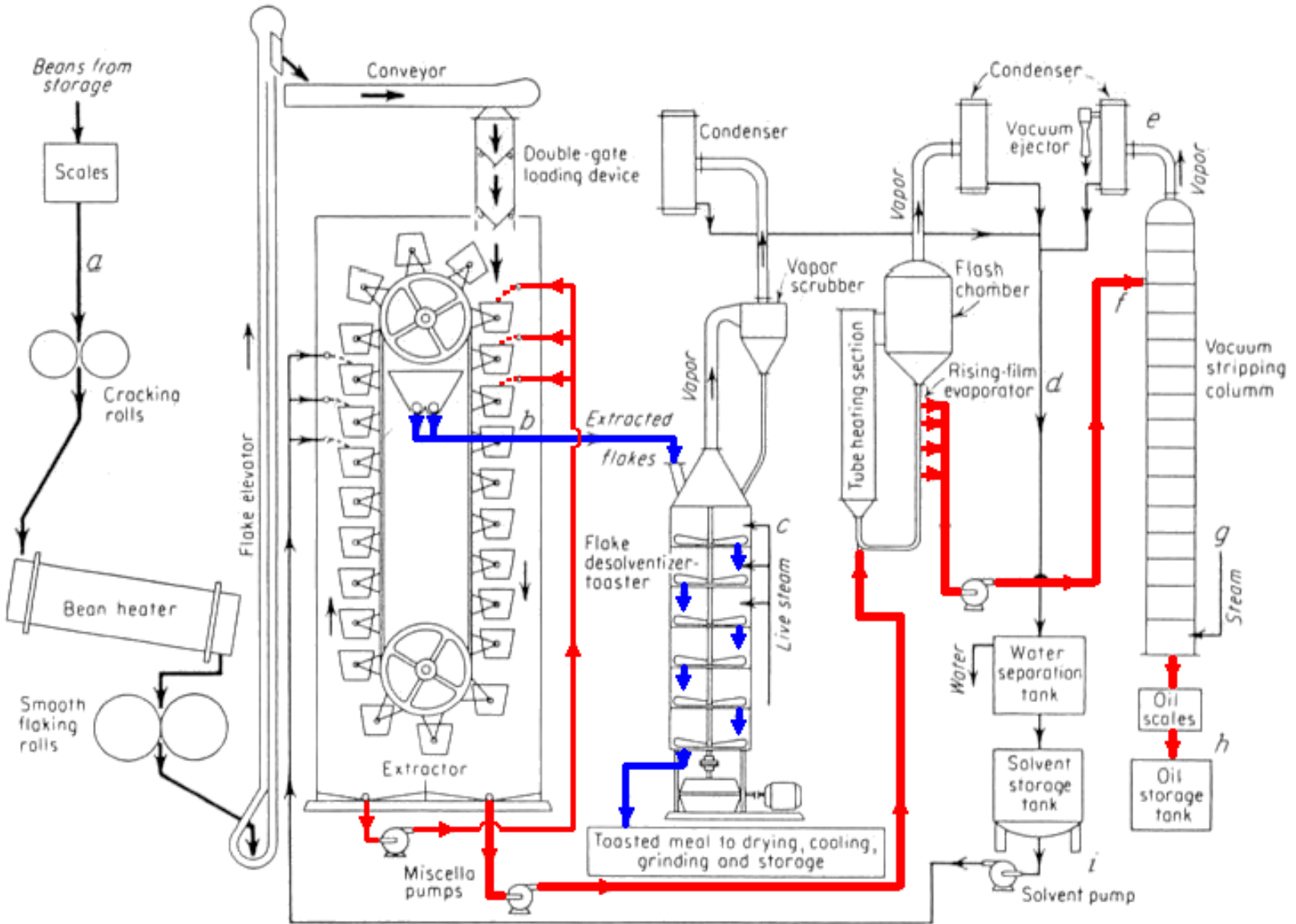


Extracción de aceite de poroto de soya

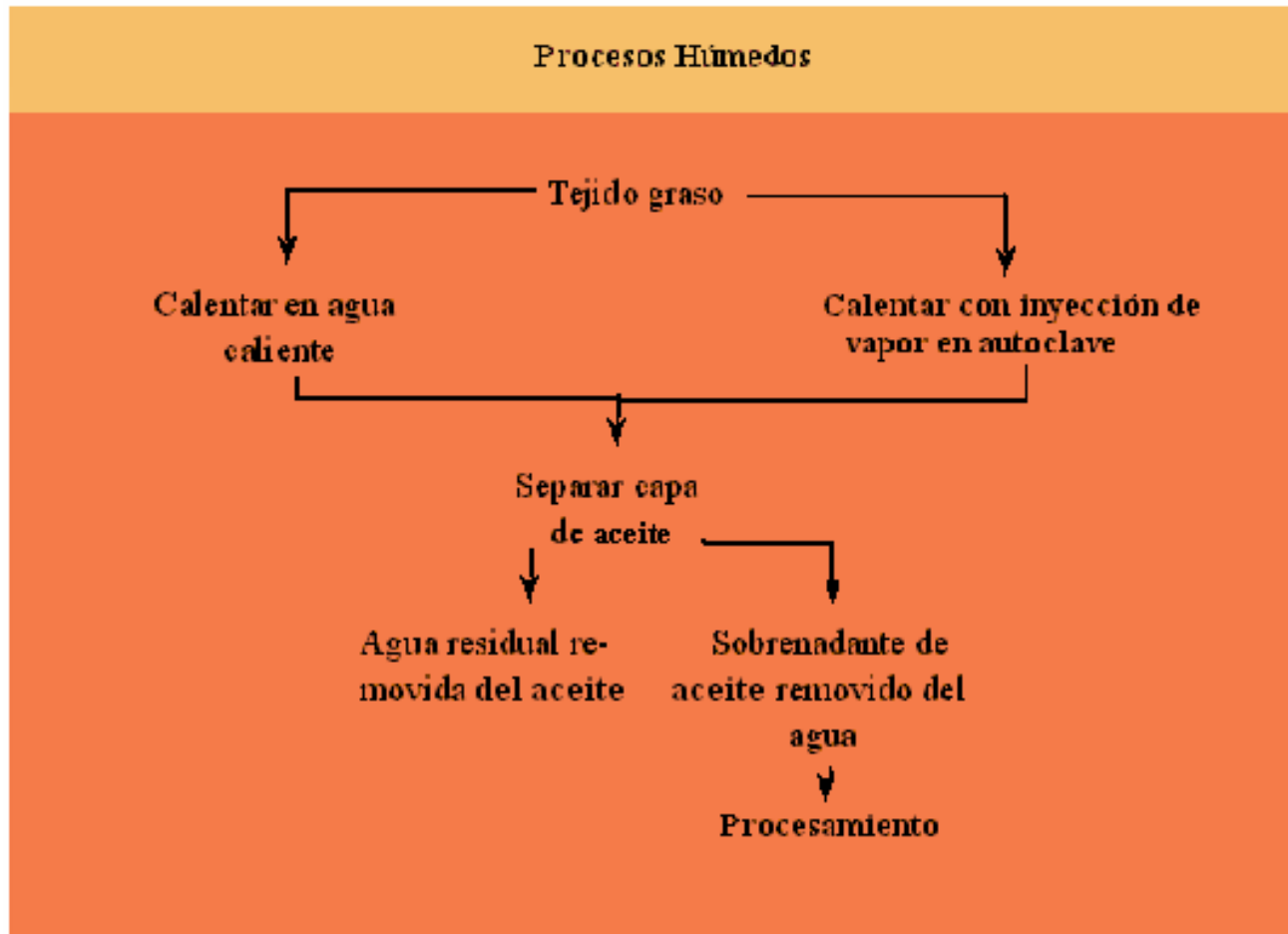
Las semillas oleaginosas como el poroto de soya contienen sustancias grasas líquidas a T ambiente (entre 20 a 50% en base seca). El aceite está localizado en una infinidad de glóbulos llamados esferósomos (s en figura). El objetivo del proceso es justamente extraer el aceite atrapado.



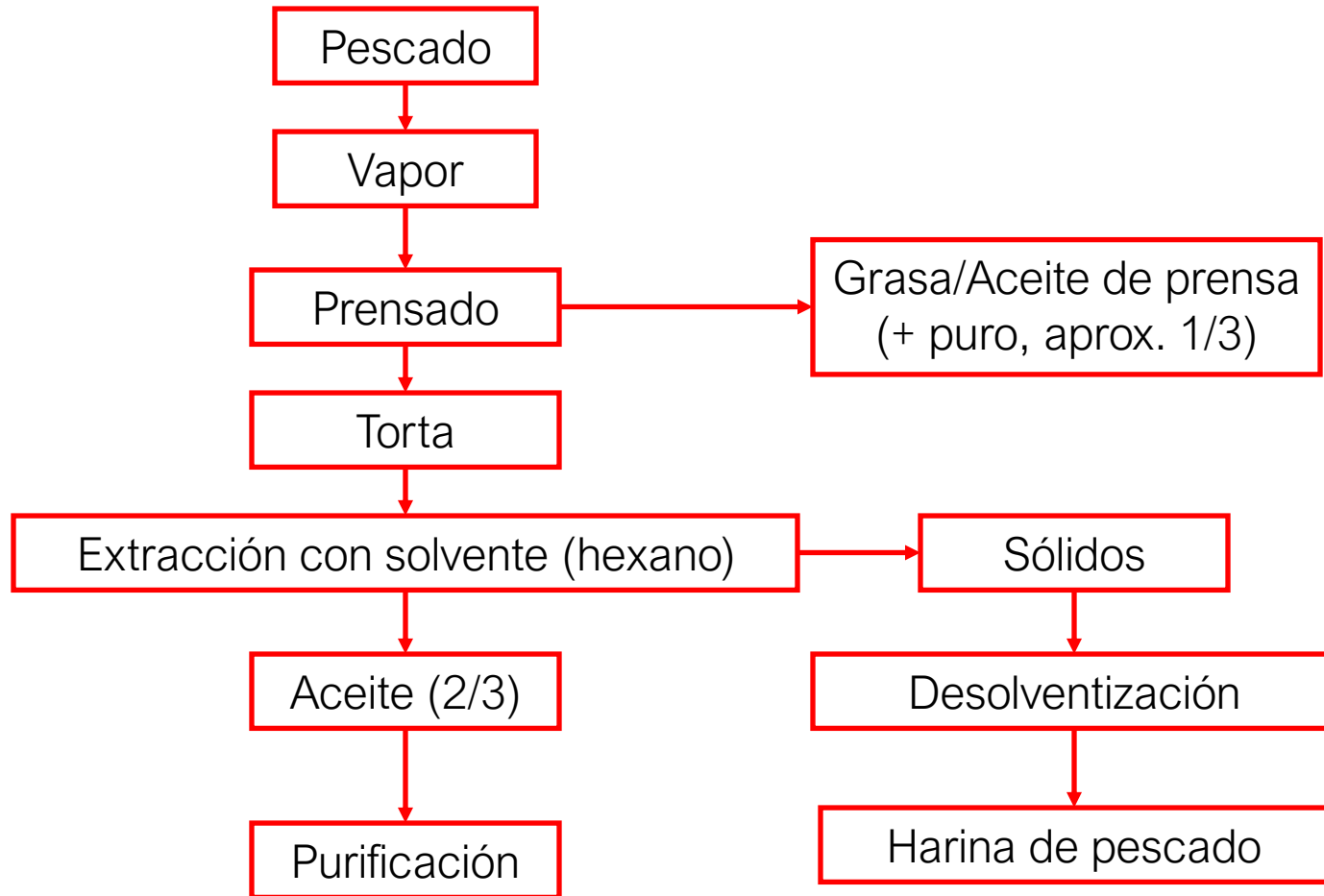
Extracción de aceite de poroto de soya



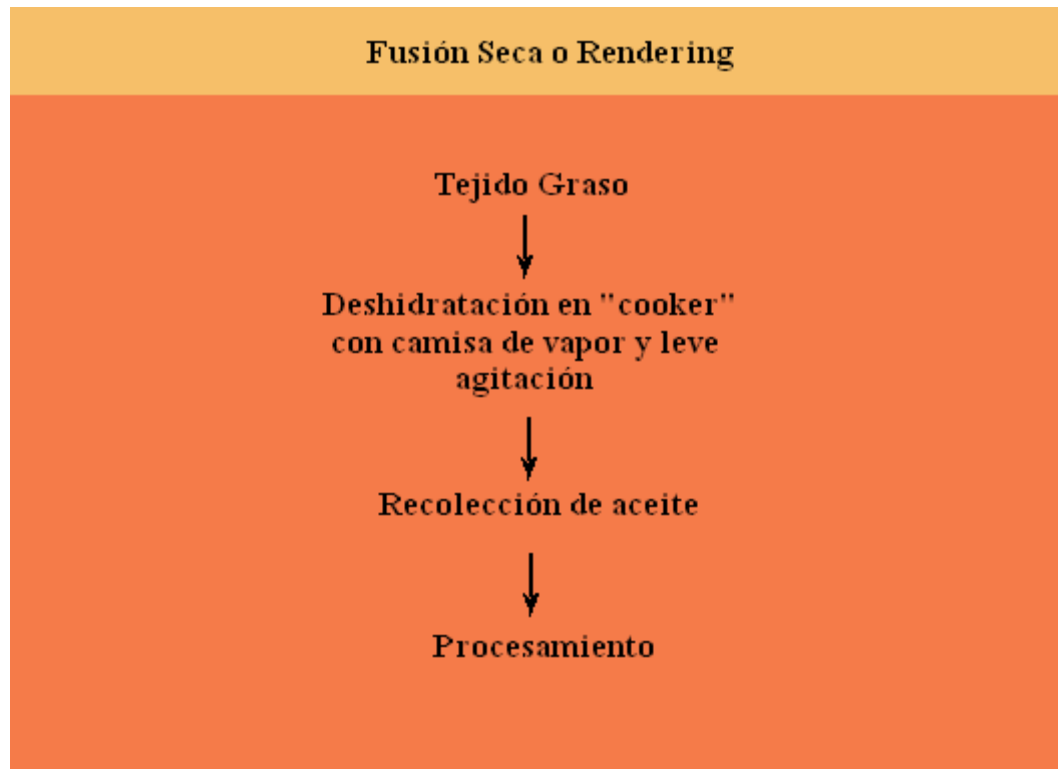
Extracción de grasas animales



Extracción de aceite de pescado



Extracción de grasas animales



- Resolver la extracción sólido-líquido en una etapa.
- Resolver la extracción sólido-líquido en múltiples etapas a contracorriente.
- Conocer algunos equipos utilizados

Extracción sólido-líquido a contracorriente

IIQ2023 - Operaciones Unitarias II

José Rebolledo Oyarce

27 de Abril de 2021

