



# RECUPERACIÓN DE ESPECIES DE ALTO VALOR AGREGADO Y CONTAMINANTES UTILIZANDO SISTEMAS DE EXTRACCIÓN SUSTENTABLES.



Isabel Guadalupe Mendoza Reyes, María Fernanda Ramírez Macías, Cynthia Jannet Killian Gallardo, Kenia Manriquez Mendoza, Yuritzi Dariana Guedea Olmos,

Diana Esmeralda Martínez Rodríguez, Mario Avila Rodríguez.  
División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.  
avilam@ugto.mx

## Introducción

### ESPECIES DE ALTO VALOR AGREGADO

METALES



FÁRMACOS



### SISTEMA DE EXTRACCIÓN SUSTENTABLE

Los sistemas acuosos de dos fases (Aqueous Two-Phase System (ATPS)), son mezclas de dos líquidos inmiscibles que contienen agua y se separan en dos fases líquidas distintas.

### VENTAJAS

- ✓ Selectividad y eficiencia en la separación.
- ✓ Condiciones suaves para las moléculas biológicas.
- ✓ Flexibilidad en la elección de los componentes de las fases.

### CARACTERIZADOS POR

#### Formación de fases

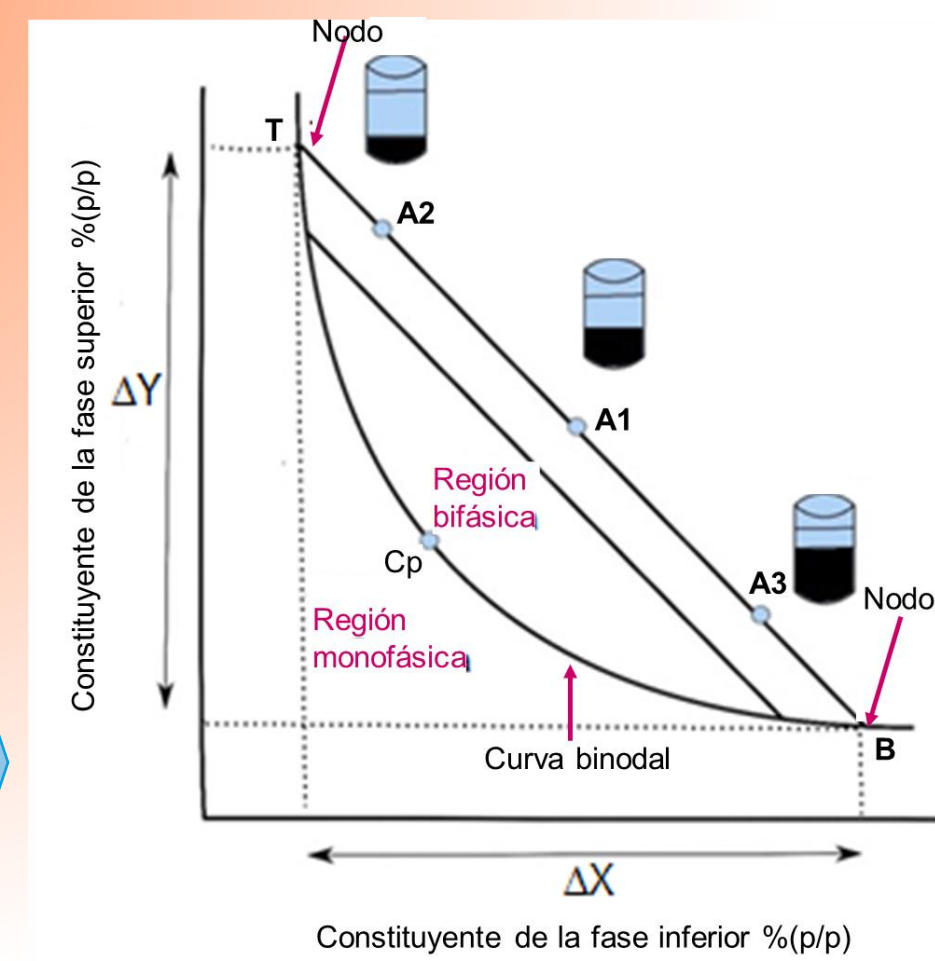


#### Diagrama de fases

Delimita el área potencial de trabajo para cada sistema bifásico, es la "huella digital" para cada sistema en condiciones establecidas de, por ejemplo, pH, temperatura y concentración de sal.

#### PROPORCIONA:

- La concentración de componentes para formar un sistema con dos fases que están en equilibrio.
- La concentración subsiguiente de componentes de fase en las fases superior e inferior.
- La relación de volúmenes de fase.



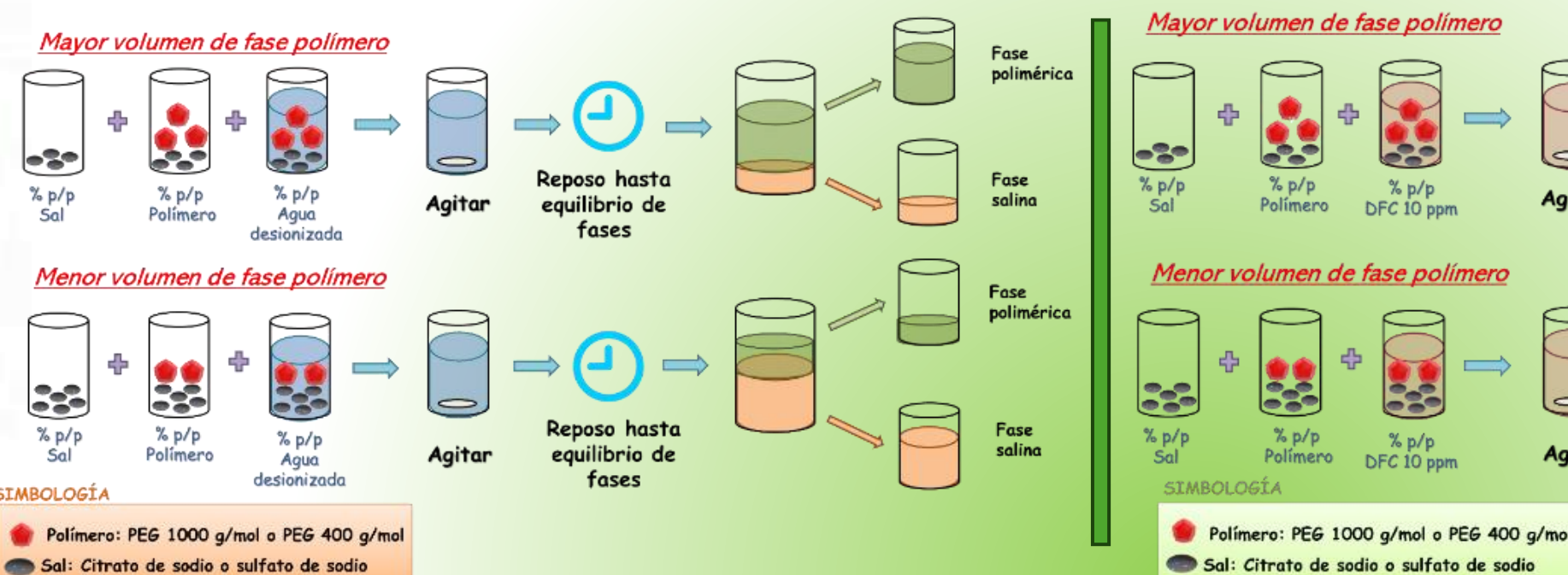
## Objetivo

En este trabajo de investigación se muestran los resultados obtenidos en diversas aplicaciones de procesos de extracción líquido-líquido sustentables utilizando sistemas acuosos bifásicos (ATPS) complementado por un estudio sobre las propiedades fisicoquímicas de tensoactivos biodegradables, los cuales pueden utilizarse como componentes de sistemas de extracción sustentables.

## Extracción de diclofenaco modificando la relación de fases de cada sistema acuoso bifásico.

Para la extracción de diclofenaco, modificando la relación de volúmenes de fases se utilizaron ATPS de conformación Polímero/Sal, utilizando Sulfato de Sodio o Citrato de Sodio, y el polímero Polietilenglicol de pesos moleculares 1000 g/mol o 400 g/mol.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL



### RESULTADOS

Tabla 1. Porcentaje de extracción de diclofenaco y desviación estándar de las relaciones de fase elegidas en cada ATPS.

ATPS	Volumen FP (mL)	Volumen FS (mL)	Relación de volúmenes	% Extracción
PEG-400/Citrato de sodio	5.7	3	1.9	> 99.9 %
	2.2	6	0.4	> 99.9 %
PEG-400/Sulfato de sodio	5.6	3.2	1.8	> 99.9 %
	3	2.7	0.5	> 99.9 %
PEG-1000/Citrato de sodio	2.7	2.7	1	> 99.9 %
	6	0.5	0.5	> 99.9 %
PEG-1000/Sulfato de sodio	2.7	3	2	> 99.9 %
	6	0.5	0.5	> 99.9 %

La extracción es mayor al 99.9 % en todos los casos

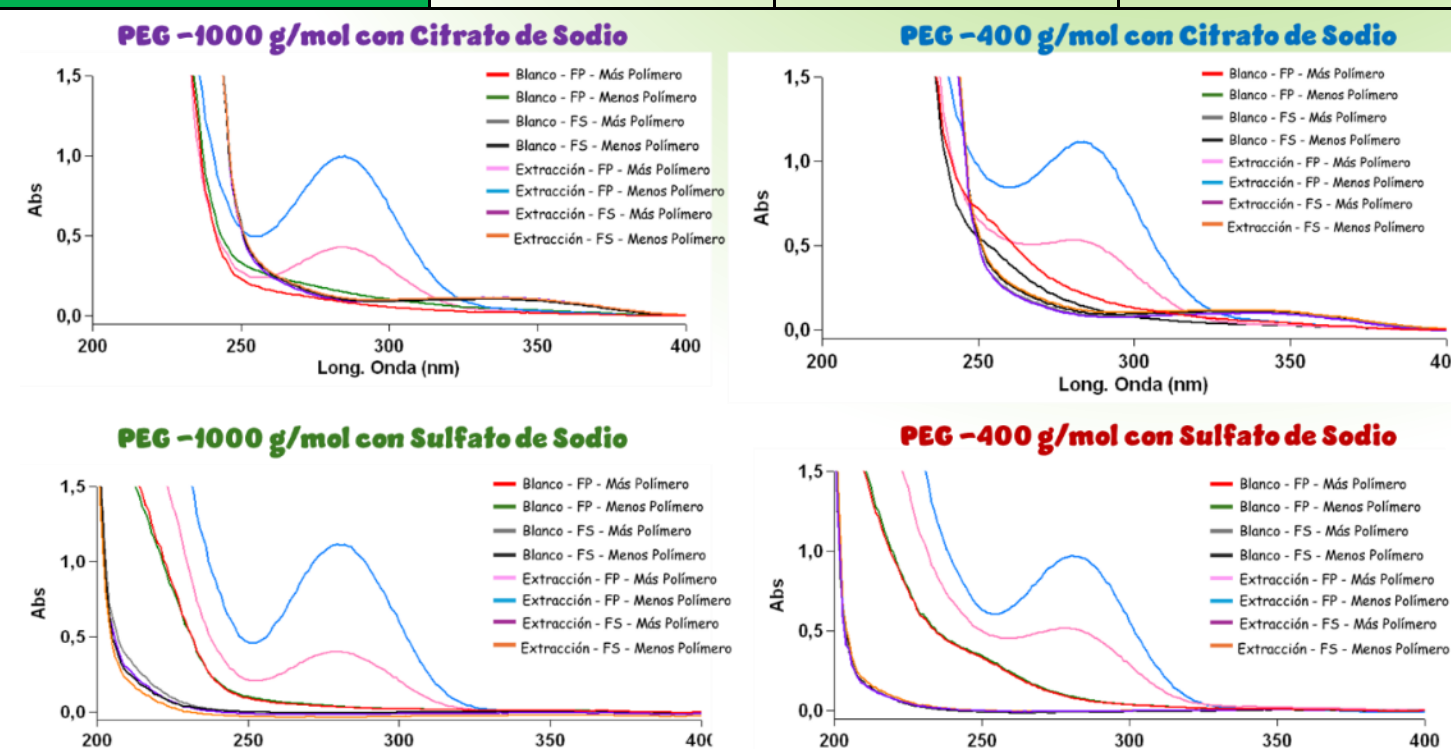


Figura 4. Espectros UV-Vis de fases poliméricas y fases salinas como blancos y después del proceso de extracción de diclofenaco para todos los ATPS estudiados.

La caracterización mediante espectroscopia UV/Vis demuestra que el fármaco se encuentra extraído en la fase polimérica.

## Recuperación de diclofenaco con el ATPS conformado por PEG-1000 g/mol y citrato de sodio.

En este trabajo se propone la extracción líquido-líquido utilizando ATPS, basado en PEG-1000 g/mol y citrato de sodio, como alternativa ecológica para la recuperación del diclofenaco proveniente de formas farmacéuticas.

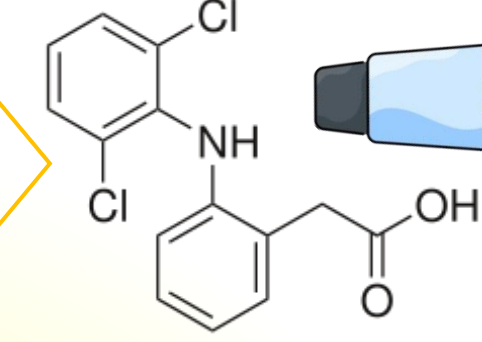


Figura 1. Estructura química del diclofenaco y representación de una de las formas farmacéuticas donde se puede encontrar como principio activo.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL

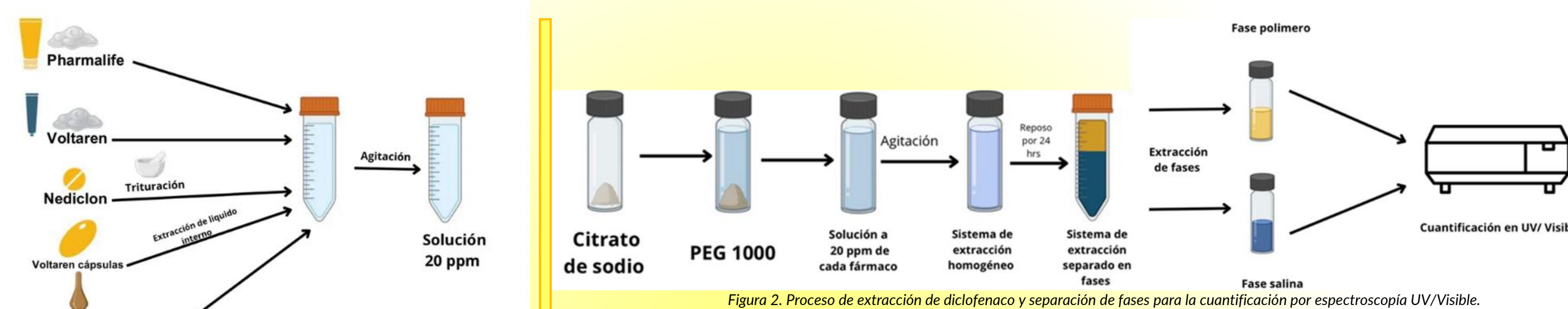


Figura 2. Proceso de extracción de diclofenaco y separación de fases para la cuantificación por espectroscopia UV/Visible.

### RESULTADOS

Tabla 1. Resultados de la comparación del contenido de diclofenaco reportado vs. el determinado experimentalmente.

Forma farmacéutica	Marca	Contenido de diclofenaco reportado (ppm)	Contenido de diclofenaco evaluado (ppm)	Porcentaje de error (%)
Gel	Voltaren	20 000	21 438.06	7.19
	Pharmalife	10 000	11 700.90	17.00
Cápsulas	Voltaren	625 000	688 267.87	10.12
Tabletas	Nedicion	489 169	454 331.95	7.12
Injectable	PISA	25 000	24 781.64	0.87

Los valores de concentración de diclofenaco obtenidos experimentalmente de cada forma farmacéutica fueron muy aproximados al valor reportado por los laboratorios.

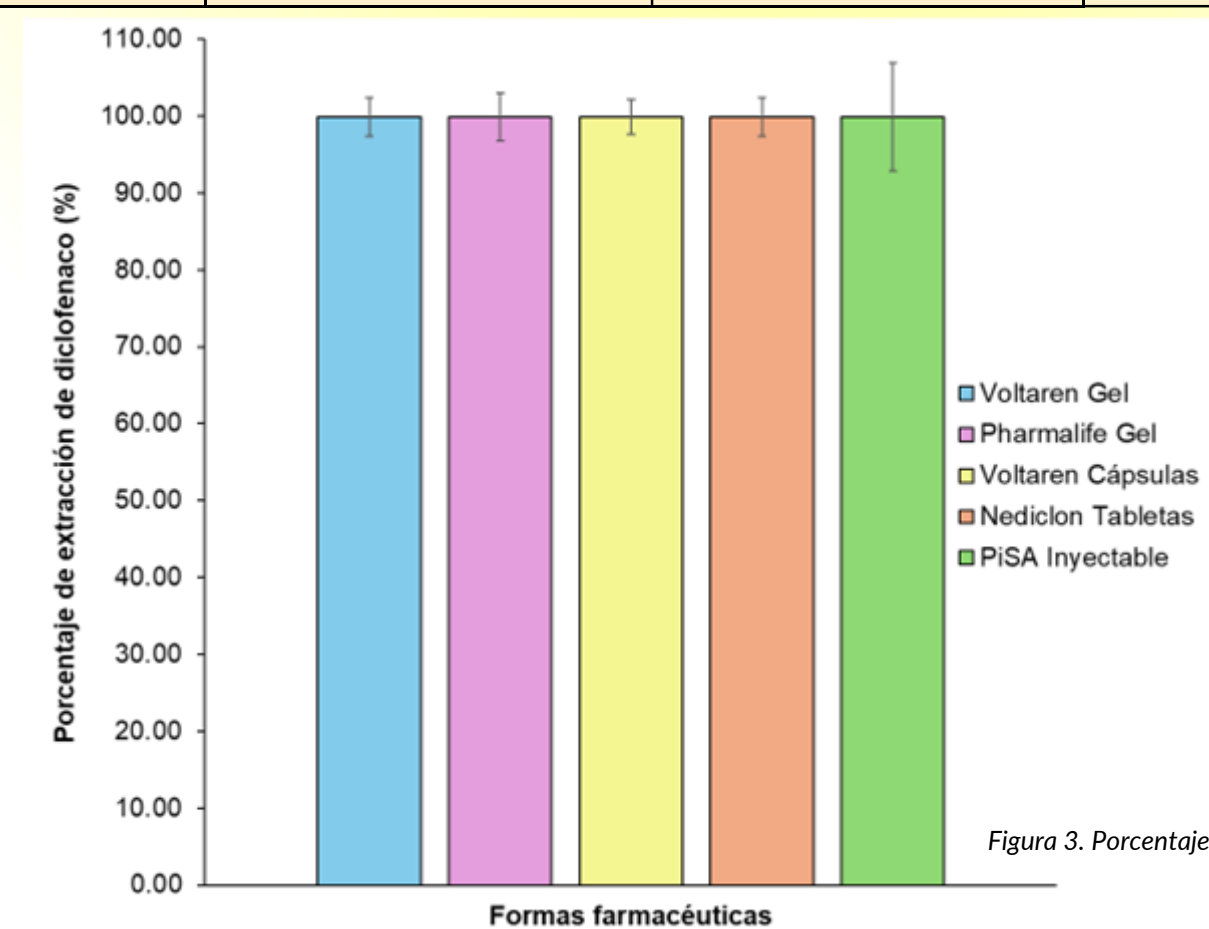


Figura 3. Porcentaje de extracción de diclofenaco obtenido.

En el proceso de extracción del fármaco se obtuvieron porcentajes de recuperación eficientes mayores al 99.9 % de diclofenaco.

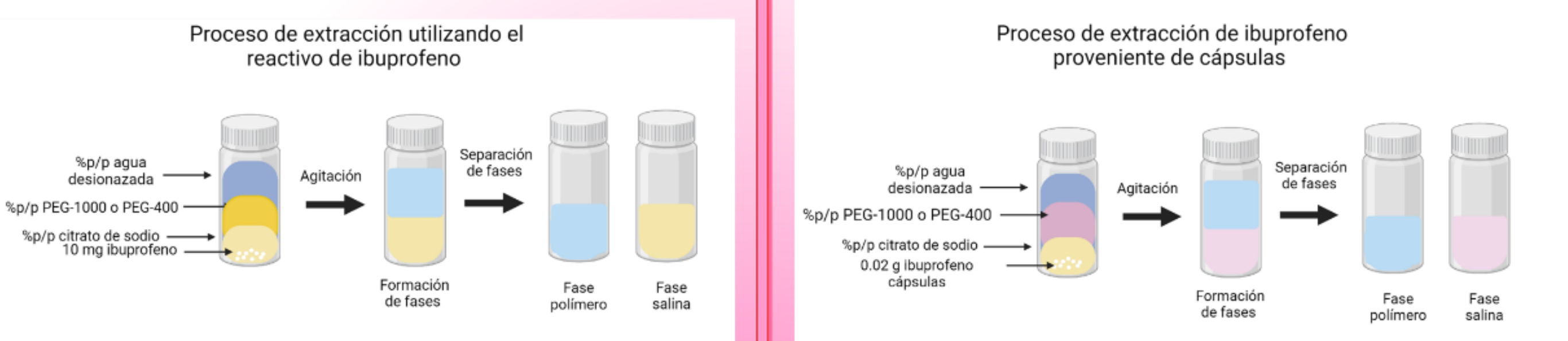
## Recuperación de ibuprofeno aplicando los ATPS conformados por PEG-400 g/mol / Citrato de sodio y PEG-1000 g/mol / Citrato de sodio

Se evaluó la capacidad de sistemas de conformación polímero/sal, específicamente PEG-400 g·mol<sup>-1</sup>/Citrato de sodio y PEG-1000 g·mol<sup>-1</sup>/Citrato de sodio, para realizar la extracción de ibuprofeno como reactivo y proveniente de cápsulas.



Figura 1. Estructura química del ibuprofeno y representación de una de las formas farmacéuticas donde se puede encontrar como principio activo.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL



### RESULTADOS

Tabla 1. Porcentajes de extracción de ibuprofeno como reactivo y proveniente de cápsulas, utilizando los ATPS: PEG-1000/Citrato de sodio y PEG-400/Citrato de sodio.

Reactivo Ibuprofeno				Cápsulas Ibuprofeno			
PEG-1000/ Citrato de sodio	PEG-400/ Citrato de sodio	PEG-1000/ Citrato de sodio	PEG-400/ Citrato de sodio	PEG-1000/ Citrato de sodio	PEG-400/ Citrato de sodio	PEG-1000/ Citrato de sodio	PEG-400/ Citrato de sodio
% Extracción	Desv. Est.	% Extracción	Desv. Est.	% Extracción	Desv. Est.	% Extracción	Desv. Est.
98.18	0.027	> 99.9	5.59	91.33	11.47	> 99.9	15.08

Ambos sistemas resultaron ser idóneos para realizar un proceso de extracción eficiente.

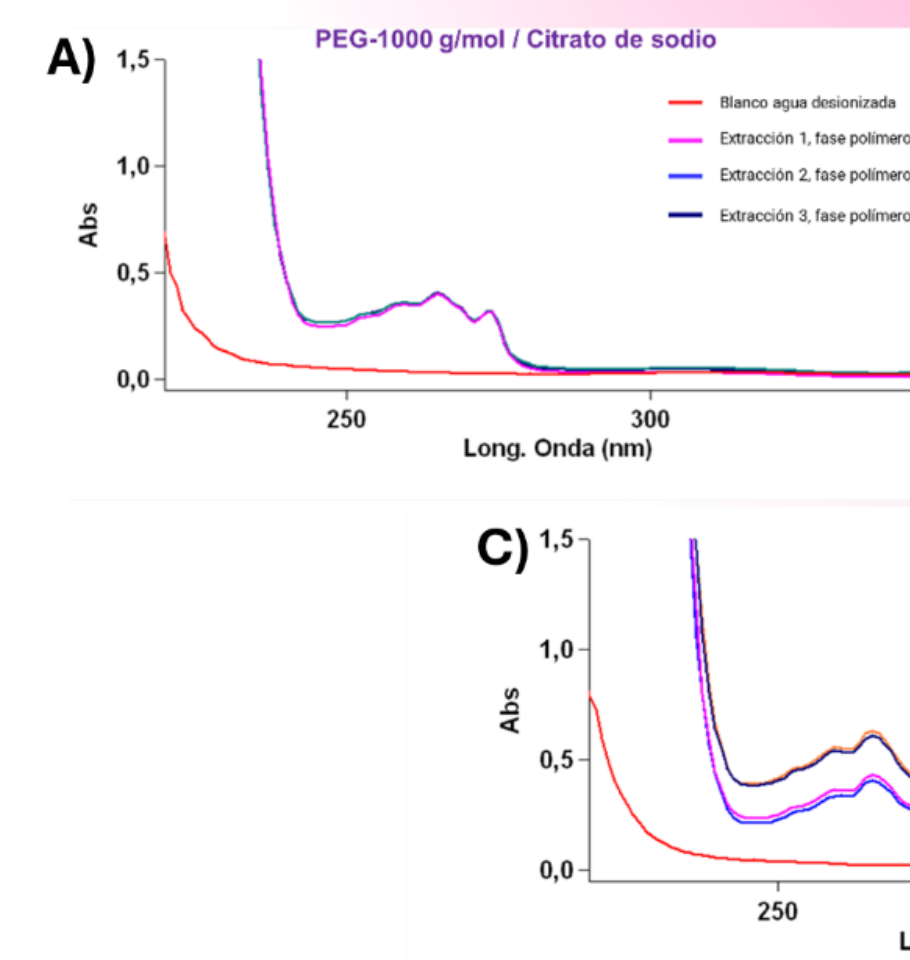


Figura 3. Espectros UV-Vis de las fases poliméricas y fases salinas como blancos y después del proceso de extracción de ibuprofeno para la extracción de A) y B) Ibuprofeno adicionado como reactivo y C) Ibuprofeno proveniente de cápsulas.

## Extracción de Rodio (Rh<sup>3+</sup>) modificando la metodología de formación de fases de sistemas acuosos bifásicos.

Se exploraron dos métodos de preparación de fases de ATPS como propuestas para la recuperación del metal Rodio, considerado un metal con propiedades únicas y diversas aplicaciones en la industria moderna.

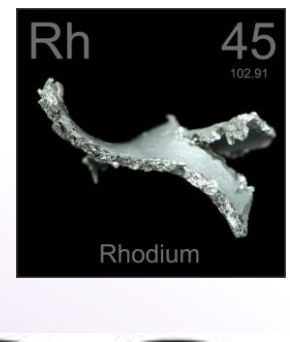


Figura 1. Forma física del Rodio, número atómico y peso molecular.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL



Figura 2. Proceso de extracción de Rh<sup>3+</sup> a 100 ppm sin pre-equilibrio de fases.

### RESULTADOS

Tabla 1. Porcentajes de extracción de Rh y pH de la fase polimérica y fase salina después de la extracción, para cada sistema sin pre-equilibrar.

Sistema Acuoso Bifásico	% de Extracción	Desviación Estándar	pH Fase polímero	pH Fase salina
PEG-400/Citrato de sodio	42.39	4.23	6.19	6.41
PEG-1000/Citrato de sodio	15.75	3.51	6.28	6.16
PEG-400/Sulfato de sodio	> 99.9	5.60	2.06	1.81
PEG-1000/Sulfato de sodio	88.70	17.61	2.15	2.14

Los sistemas más eficientes son aquellos que están conformados por sulfato de sodio, además, aquel sistema que contiene PEG-400 resultó tener la mayor eficiencia de extracción. Para los sistemas que contienen citrato de sodio, el pH del entorno afecta a la extracción, algunos estudios indican que al aumenta el pH puede precipitar la especie de hidróxido de rodio

Tabla 2. Porcentajes de extracción de Rh y pH de la fase polimérica y fase salina después de la extracción, para cada sistema pre-equilibrado.

Sistema Acuoso Bifásico	% de Extracción	Desviación Estándar	pH Fase polímero	pH Fase salina
PEG-400/Sulfato de sodio	54.97	3.26	2.45	2.1
PEG-1000/Sulfato de sodio	31.84	2.42	2.35	1.94

Se puede deducir que el método de pre-equilibrio de fases no es tan eficiente como el anterior, posiblemente porque la adición del metal a la fase salina hace que cambie la manera en cómo se equilibran las fases después de la agitación.

## Análisis de las propiedades fisicoquímicas de los tensoactivos Tensapol® 20T y Tensapol® 80T en medio acuoso.

Analizar las propiedades fisicoquímicas de compuestos químicos y sus mezclas es de suma importancia para obtener información sobre interacciones moleculares y aportar datos importantes cuando se requiere escalar algunos procesos a nivel industrial.

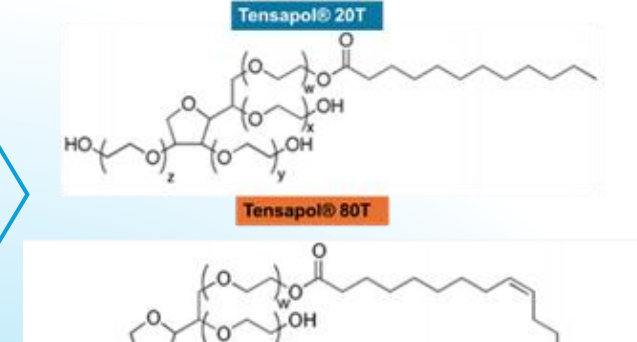


Figura 1. Estructura química del Tensapol® 20T y Tensapol® 80T.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL

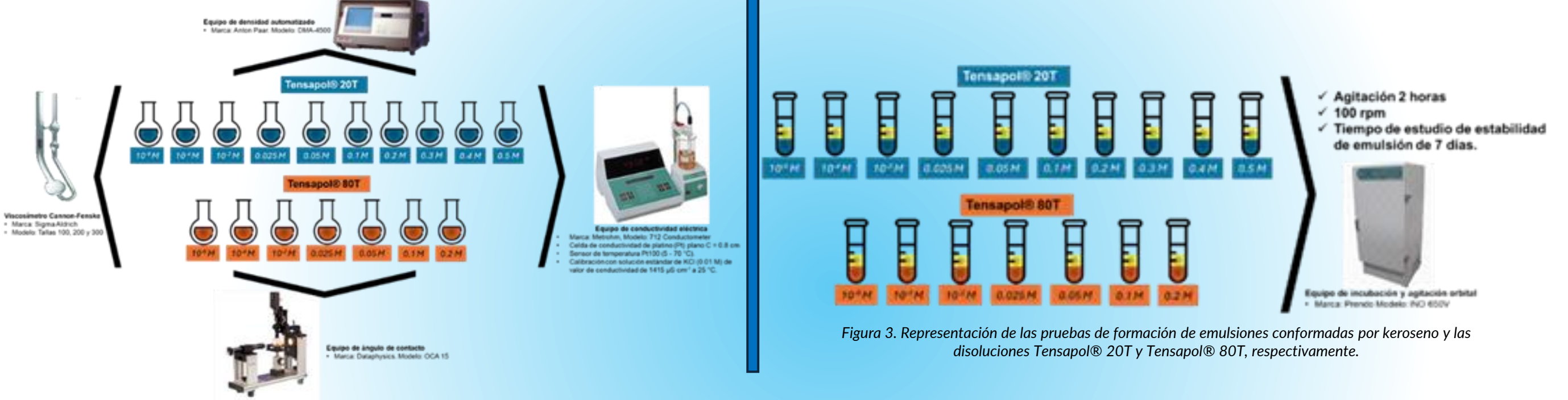


Figura 2. Representación de las propiedades fisicoquímicas determinadas con los equipos y material correspondiente para las disoluciones Tensapol® 20T y Tensapol® 80T, respectivamente.

### RESULTADOS

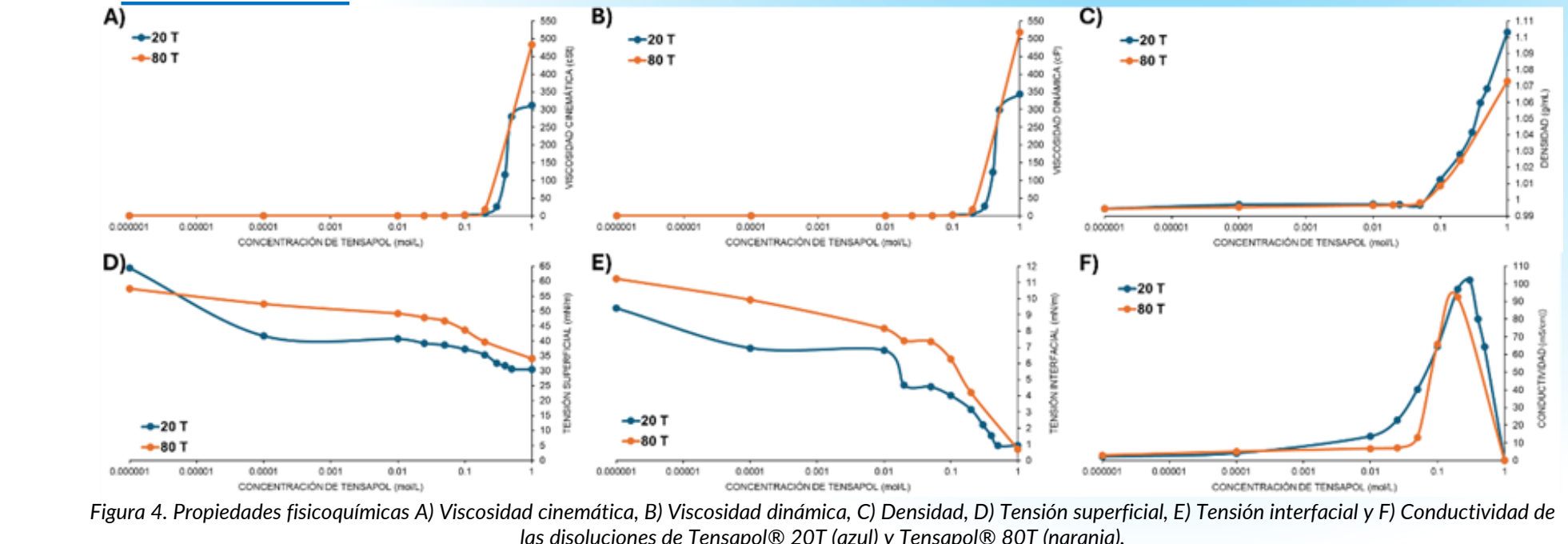


Figura 4. Propiedades fisicoquímicas A) Viscosidad cinética, B) Viscosidad dinámica, C) Densidad, D) Tensión superficial, E) Tensión interfacial y F) Conductividad de las disoluciones de Tensapol® 20T (azul) y Tensapol® 80T (naranja).



Figura 5. Presencia de emulsiones estables en los sistemas PEG-400/Citrato de sodio y PEG-1000/Citrato de sodio para la extracción de A) y B) Ibuprofeno adicionado como reactivo y C) Ibuprofeno proveniente de cápsulas.

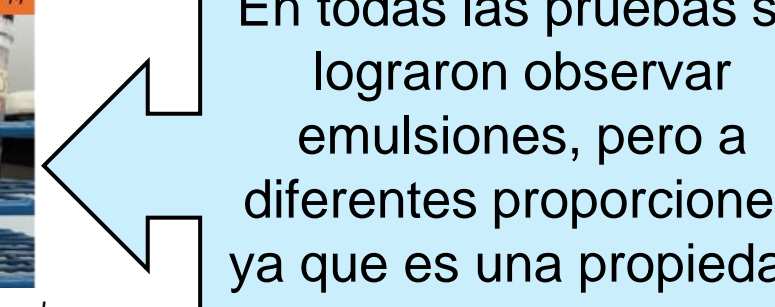


Figura 6. Presencia de emulsiones estables en los sistemas PEG-400/Citrato de sodio y PEG-1000/Citrato de sodio para la extracción de A) y B) Ibuprofeno adicionado como reactivo y C) Ibuprofeno proveniente de cápsulas.

En todas las pruebas se lograron observar emulsiones, pero a diferentes proporciones ya que es una propiedad de los compuestos.

Las propiedades fisicoquímicas (viscosidad cinemática y dinámica, densidad, tensión superficial e interfacial y conductividad) estudiadas tuvieron un comportamiento acorde a las interacciones que suelen tener los tensoactivos en medios acuosos.