

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos	6
3. Antecedentes generales	7
3.1. Proceso productivo concentrado de cobre	7
3.1.1. Conminución	8
3.1.2. Flotación	8
3.1.3. Recuperación de agua desde relaves	9
3.1.3.1. Equipo de espesamiento	10
3.1.3.2. Las arcillas en la recuperación de agua	11
3.1.3.3. Agentes de floculación	12
3.2. Floculación asistida por polímeros	13
3.2.1. Etapa de adsorción	13
3.2.2. Etapa de floculación	14
3.3. Dinámica del polímero en agua	16
3.3.1. Dependencia del pH	16
3.3.2. Efecto de las sales	17
3.3.3. Grado de hidrólisis	18
4. Estado del arte	19
4.1. Caracterización del agua recuperada en procesos de concentración de sulfuros de cobre	19
4.2. Técnicas de detección de PAM en solución acuosa	24
4.2.1. Digestión de nitrógeno	24
4.2.2. Turbidimetría	24
4.2.3. Bromación	25
4.2.4. Titulación coloidal	25
4.2.5. Fluorometría	26
4.2.6. Cromatografía de exclusión por tamaño (SEC)	27
4.2.7. Espectroscopia UV-visible	27
4.2.7.1. Generalidades de la espectroscopia UV-Visible	29
4.2.7.2. Transición electrónica de la PAM	31
4.2.7.3. Absorbancia de compuestos disueltos en el agua recuperada en el proceso de concentración de sulfuros de cobre	31
4.2.8. Selección de la técnica analítica	32
4.3. Validación de técnicas analíticas: características de desempeño	33
4.3.1. Especificidad/selectividad	33

4.3.2.	Estudio de calibración	34
4.4.	Herramientas estadísticas	35
4.4.1.	Prueba <i>t</i> de Student de contraste de medias	35
4.4.2.	Regresión lineal y método de superficie de respuesta	36
4.4.2.1.	Análisis de regresión lineal	36
4.4.2.2.	Método de superficie de respuesta	38
5.	Materiales y métodos	41
5.1.	Materiales	41
5.2.	Metodología	42
5.2.1.	Selección de aditivos	42
5.2.2.	Estudio de calibración	43
5.2.3.	Estudio efecto individual de especies interferentes	44
5.2.3.1.	Concentración de interferentes fija	44
5.2.3.2.	Concentración de interferentes variable	45
5.2.4.	Efecto conjunto	46
6.	Resultados y discusión	49
6.1.	Estudio de calibración	49
6.1.1.	Análisis exploratorio de datos	49
6.1.2.	Ajuste lineal	51
6.2.	Estudio del efecto individual de los interferentes	55
6.2.1.	Concentración de interferente fija	55
6.2.1.1.	Diluciones sin contenido polimérico	58
6.2.1.2.	Comparación de efectos	59
6.2.2.	Concentración de interferente variable	61
6.2.2.1.	Comparación de efectos	65
6.3.	Estudio del efecto conjunto de los interferentes	66
6.3.1.	Análisis exploratorio de datos	66
6.3.2.	Implementación del ajuste lineal	67
6.3.3.	Diagnóstico del ajuste	70
6.4.	Resumen efectos	71
7.	Conclusiones	73
	Bibliografía	74
	Anexo A. Otras técnicas de detección	84
	Anexo B. Información adicional de la validación de las técnicas analíticas	85
B.1.	Características de desempeño	85
B.1.1.	Exactitud y precisión	85
B.1.1.1.	Veracidad	85
B.1.1.2.	Precisión	87
B.1.2.	Límite de cuantificación	88
B.1.3.	Límite de detección	90
B.1.4.	Otros criterios	90
B.1.4.1.	Sensibilidad	91

B.1.4.2.	Método de adición estándar	91
B.1.4.3.	Robustez	91
B.1.4.4.	Incertidumbre	91
Anexo C.	Conceptos estadísticos complementarios	92
C.1.	Información complementaria sobre la prueba t	92
C.2.	Deducción regresores lineales	93
C.3.	Definiciones útiles	93
Anexo D.	Información complementaria metodología	98
D.1.	Diseño experimental	98
Anexo E.	Información complementaria resultados estudios experimentales	100
E.1.	Información complementaria resultados del estudio de los efectos fijos individuales de los interferentes	100
E.1.1.	Resultados estudio efecto sulfato de sodio	101
E.1.1.1.	Análisis exploratorio de datos	101
E.1.1.2.	Ajuste lineal	103
E.1.2.	Resultados estudio efecto espumante	104
E.1.2.1.	Análisis exploratorio de datos	104
E.1.2.2.	Ajuste lineal	106
E.1.3.	Resultados estudio efecto cloruro de potasio	107
E.1.3.1.	Análisis exploratorio de datos	107
E.1.3.2.	Ajuste lineal	109
E.1.4.	Resultados estudio efecto cloruro de calcio	110
E.1.4.1.	Análisis exploratorio de datos	110
E.1.4.2.	Ajuste lineal	112
E.1.5.	Resultados estudio efecto bicarbonato de sodio	113
E.1.5.1.	Análisis exploratorio de datos	113
E.1.5.2.	Ajuste lineal	115
E.1.6.	Selección de los modelos	116
E.2.	Información complementaria resultados del estudio de los efectos variables individuales de los interferentes	117
E.2.1.	Resultados estudio del efecto variable del sulfato de sodio	118
E.2.1.1.	Análisis exploratorio de datos	118
E.2.1.2.	Ajuste lineal	119
E.2.2.	Resultados estudio del efecto variable del espumante	120
E.2.2.1.	Análisis exploratorio de datos	120
E.2.2.2.	Ajuste lineal	121
E.2.3.	Resultados estudio del efecto variable del cloruro de potasio	122
E.2.3.1.	Análisis exploratorio de datos	122
E.2.3.2.	Ajuste lineal	123
E.2.4.	Resultados estudio del efecto variable del cloruro de calcio	124
E.2.4.1.	Análisis exploratorio de datos	124
E.2.4.2.	Ajuste lineal	125
E.2.5.	Resultados estudio del efecto variable del bicarbonato de sodio	126
E.2.5.1.	Análisis exploratorio de datos	126
E.2.5.2.	Ajuste lineal	127

E.2.6. Selección de los modelos	128
E.3. Información complementaria resultados del estudio de los efectos conjuntos de las especies interferentes	129
E.4. Variación pH soluciones batch	131