



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

Programa de Doctorado en Ingeniería y Producción Industrial

ELABORACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE PERMITA EL ANALISIS DE LA EFICACIA DE LA ÓSMOSIS INVERSA EN EL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE PLOMO, HIERRO Y MANGANESO EN FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA ALTA CUENCA ALTA DEL RÍO GUADALQUIVIR EN BOLIVIA Y SU APORTE AL CRECIMIENTO DE LA OFERTA DE AGUA Y LA DISPONIBILIDAD SOSTENIBLE DE AGUA POTABLE A LARGO PLAZO

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Esteban Manuel Villena Martínez

Dirigida por:

Juan Ignacio Torregrosa Lopez

Vanesa Gladis Lo Iacono Ferreira

Jaime Lora García

Alcoy, septiembre de 2022

RESUMEN

La alta cuenca del río Guadalquivir ubicada en el departamento de Tarija, Bolivia, alberga al municipio de la ciudad capital de Tarija; siendo la zona urbana más poblada del departamento. Durante las últimas décadas el departamento ha tenido grandes ingresos económicos, producto de la explotación hidrocarburífera, trayendo consigo un crecimiento poblacional e inmobiliario desproporcionado; originando un proceso de contaminación y degradación ambiental, producto de actividades antrópicas como la disposición de aguas residuales con poco o nulo proceso de tratamiento, desechos sólidos en las orillas del río, y sobreexplotación de áridos. En consecuencia, varias fuentes de abastecimiento de agua se encuentran paralizadas.

Durante los últimos años, la problemática ambiental e hídrica ha sido objeto de un permanente debate, sin encontrar soluciones sostenibles en el corto plazo, ocasionando que la degradación ambiental permanezca activa con altos riesgos para la salud pública.

Siendo necesario conocer el estado actual de los recursos hídricos en la cuenca, se realizaron dos trabajos iniciales; se modeló el balance hídrico de la cuenca para establecer la disponibilidad de agua. Para este proceso se realizó una investigación de apoyo destinada a clasificar y determinar las propiedades de los suelos en la cuenca para lograr una menor incertidumbre en los resultados de la modelación hidrológica. Los resultados determinaron que existe un déficit de agua, principalmente en las épocas de estiaje. Un segundo estudio ha sido destinado a conocer la calidad del agua mediante un monitoreo de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable.

La investigación a las fuentes primarias de agua en la cuenca de estudio identificó la presencia de metales pesados tóxicos para la salud que exceden los límites permisibles para el agua potable. Se identificó plomo, manganeso y hierro presente en los embalses de San Jacinto y Huacata; mientras que el Pb excede en un 50% de lo establecido en la Normativa, el Mn y el Fe superan hasta 800% la norma actual.

El trabajo estudia la ósmosis inversa (OI) para eliminar el Pb, Mn y Fe en distintas concentraciones. La principal contribución de esta investigación es el desarrollo y construcción de un modelo matemático novedoso basado en el modelo de concentración de polarización de Spiegler-Kedem. El modelo ha sido desarrollado utilizando diferentes concentraciones de Pb, Mn y Fe. La selección de las concentraciones se basa en construir un modelo que permita el diseño de instalaciones con alta conversión (>80%). Con ello será posible optimizar el proceso desde el punto de vista de eficiencia energética en futuros trabajos. El modelo incluye además, un factor

de ajuste de temperatura tipo Arrhenius que permite una predicción precisa del rendimiento del proceso.

La experimentación se llevó a cabo en una planta piloto de OI utilizando una membrana compuesta de poliamida de configuración en espiral tipo ULP 2540 Marca Keensen de procedencia China. La validación del modelo se ajusta correctamente con un error relativo máximo entre los flujos experimental y teórico de 5,4%, 18% y 7.6% para el Pb, Mn y Fe respectivamente.

Entre los principales beneficios del estudio, permite garantizar el rechazo de metales superior al 99%, incluso a bajas presiones, garantizando agua segura a la población de Tarija.

Como un aporte final se propone un análisis de las partes interesadas en la cuenca, logrando identificar, clasificar y relacionar los diferentes actores con poder e interés en el proyecto.