



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

# Instituto Tecnológico de Durango

División de Estudios de Posgrado e Investigación



TESIS

**“Predicción de la alcalinidad en un biodigestor instrumentado  
usando Redes Neuronales Artificiales”**

COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE:

**Maestro en Sistemas Ambientales**

Presenta

**Victor José Velázquez González**

Victoria de Durango, Dgo.

Agosto de 2025







Predicción de la alcalinidad en un biodigestor instrumentado usando  
Redes Neuronales Artificiales


**Presenta:**

Victor José Velázquez González

**COMITÉ TUTORIAL**

Dr. Felipe Samuel Hernández Rodarte <hr/> Director(a)	 <hr/> Firma
Dr. Luis Armando de la Peña Arellano <hr/> Codirector(a) o asesor(a)	 <hr/> Firma
Dr. Roberto Valencia Vázquez <hr/> Asesor(a)	 <hr/> Firma
Dr. Sergio Valle Cervantes <hr/> Asesor(a)	 <hr/> Firma

  
C. Tania Montoya García  
Coordinadora de la Maestría en  
Sistemas Ambientales

  
C. Francisco Javier Godínez  
García  
Jefe de la División de Estudios de  
Posgrado e Investigación

Durango, Dgo. México

Mayo 2025



Victoria de Durango, Dgo., a **11 / Junio / 2025.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 387 / 2025.

**ASUNTO:** Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

**C. VÍCTOR JOSÉ VELÁZQUEZ GONZÁLEZ**  
**No. DE CONTROL G12041048**  
**PRESENTE.**

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Sistemas Ambientales**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

**“Predicción de la alcalinidad en un biodigestor instrumentado usando Redes Neuronales Artificiales”**

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE.**

*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*“La Técnica al Servicio de la Patria”*

**C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



FJGG/ammc.





Victoria de Durango, Dgo., a **11 / Junio / 2025.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI/ C / 386 / 2025.

**ASUNTO:** Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

**C. VÍCTOR JOSÉ VELÁZQUEZ GONZÁLEZ**  
No. DE CONTROL G12041048  
**PRESENTE.**

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Sistemas Ambientales** cuyo título es:

**“Predicción de la alcalinidad en un biodigestor instrumentado usando Redes Neuronales Artificiales”**

**CONTENIDO:**

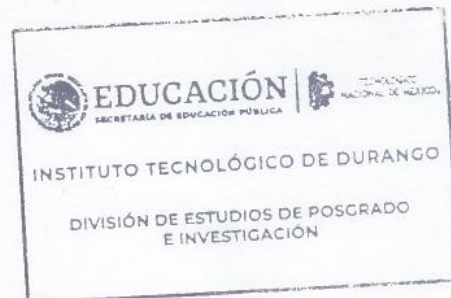
	RESUMEN
	ABSTRACT
CAPÍTULO I.	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO II.	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III.	MATERIALES Y MÉTODOS
CAPÍTULO IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
CAPÍTULO V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFÍA

Sin otro asunto en particular, quedo de Usted.

**A T E N T A M E N T E .**

*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*“La Técnica al Servicio de la Patria”*

**C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA**  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.



**2025**  
Año de  
**La Mujer**  
**Indígena**



**LICENCIA DE USO OTORGADA POR VICTOR JOSÉ VELÁZQUEZ GONZÁLEZ**, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en Calle Ilinio #402, Fraccionamiento Luis Echeverría, Durango, Dgo., en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor de la tesis denominada **“PREDICCIÓN DE LA ALCALINIDAD EN UN BIODIGESTOR INSTRUMENTADO USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES”** en adelante **“LA OBRA”** quien para todos los fines del presente documento se denominará **“EL AUTOR Y/O EL TITULAR”**, a favor del Instituto Tecnológico de Durango del Tecnológico Nacional de México, y con fundamento en lo dispuesto en los artículos 5, 18, 24, 25, 27, 30, 32 y 148 de la Ley Federal de Derechos de Autor, se establecen las cláusulas siguientes:

**PRIMERA –OBJETO: “EL AUTOR Y/O TITULAR”**, mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico de Durango del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de **“LA OBRA”**, para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

**SEGUNDA - TERRITORIO:** La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

**TERCERA -ALCANCE:** La presente licencia contempla la autorización para formato uso de **“LA OBRA”** en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (red), mensaje de datos o similar conocido por conocerse.

**CUARTA – EXCLUSIVIDAD:** La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico de Durango; por lo tanto, **“EL AUTOR Y/O TITULAR”** conserva los derechos patrimoniales y morales de **“LA OBRA”**, objeto del presente documento.

**QUINTA – CRÉDITOS:** El Instituto Tecnológico de Durango y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que el **“AUTOR Y/O TITULAR”** es el único, primigenio y perpetuo titular de los derechos morales sobre **“LA OBRA”**; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

**SEXTA – AUTORÍA: “EL AUTOR Y/O TITULAR”** manifiesta ser el único titular de los derechos de autor que derivan de **“LA OBRA”** y declara que el material objeto del presente fue realizado por él, sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el único responsable.

Dado en la Ciudad de Durango, Dgo., a los ventidos días del mes de mayo de 2025.

**“EL AUTOR Y/O TITULAR”**



VICTOR JOSÉ VELÁZQUEZ GONZÁLEZ

Durango, Dgo. a 21 de mayo de 2025

Por este conducto se hace constar que la tesis, denominada "Predicción de la alcalinidad en un biodigestor instrumentado usando Redes Neuronales Artificiales", del alumno(a) **Victor José Velázquez González**, con número de control **12041048**, estudiante de la Maestría en Sistemas Ambientales, revisada por primera vez, se sometió al software Turnitin Similarity para ser examinado, en donde el reporte del software mencionado mostró un porcentaje de 14% de similitud general.

En base al reporte de Turnitin, al criterio ético y profesional del director de tesis y al área del programa, se considera que cumple con los criterios de originalidad.

En base a lo anterior se emite el siguiente dictamen.

*Tesis. Se autoriza dar inicio a los trámites de obtención de grado.*

Atentamente,

Dr. Felipe Samuel Hernández Rodarte

Director de la Tesis

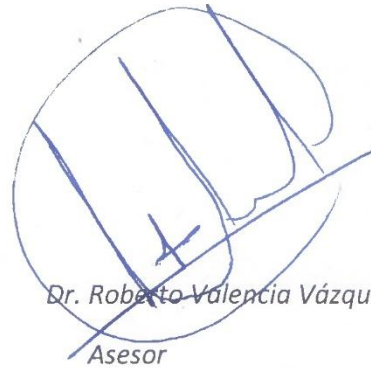
Vo.Bo.

Dr. Luís Armando de la Peña Arellano

Asesor

Dr. Sergio Valle Cervantes

Asesor



Dr. Roberto Valencia Vázquez

Asesor

Cp

Alumno

Coordinación del programa

## Resumen

La alcalinidad es la capacidad de un medio de neutralizar los iones de hidrógeno que se generan durante el proceso de digestión anaerobia de residuos orgánicos y, la cual, ha sido recomendada como indicador de control en dicho proceso, pues la bibliografía reporta su uso como un estado mucho más aproximado de la acidez en dicho biodigestor.

La obtención de este valor se realiza de manera manual tomando muestras y llevando a cabo un método de titración potenciométrica manual. Adicionalmente, los analizadores electrónicos de alcalinidad disponibles en el mercado tienen precios elevados y, además, no es posible integrarlos en un futuro sistema de control.

Una forma de aproximación al problema consiste en obtener un modelo matemático para predecir los valores de la alcalinidad del medio en base a otras variables de control del proceso; sin embargo, existe el inconveniente de que los valores de alcalinidad presentan un comportamiento no lineal. De este modo, se optó por programar un algoritmo matemático de red neuronal artificial. Este modelo es la base de la inteligencia artificial y es adecuado para describir procesos con comportamientos altamente no lineales, pues su capacidad de aprendizaje ofrece una predicción cercana al proceso real que se pretende emular, pudiendo obtener predicciones hasta 90% cercanas al valor real.

En el presente proyecto se elaboró una arquitectura de red neuronal artificial usando los valores de 4 parámetros de entrada (pH, ORP, EC y temperatura) y el valor de la alcalinidad como parámetro de salida para obtener un modelo que se ajuste al comportamiento real de un proceso de digestión anaerobia de residuos. Este modelo servirá de base para un futuro proceso de control que pueda ser aprovechado para regular los valores de la alcalinidad del proceso y reducir la acidez del medio.

## Abstract

Alkalinity is a characteristic that occurs in anaerobic digestion processes and has been recommended as a control parameter, since it is a more approximate indicator of the real state of the biodigester. Obtaining this value is done manually by taking samples and performing various tests. types of studies. Currently there is no sensor that can give the value of alkalinity in real time in a biodigestion, so thinking about an automated control is not possible at the moment.

One of the ways to approach the problem would be to obtain a mathematical model to predict the alkalinity based on other variables that also occur in the process, with the drawback that it will have a non-linear behavior. In this way, a mathematical model of artificial neural network has been chosen, a model that is the basis of current artificial intelligence and is suitable for processes with highly non-linear behaviors, since its learning capacity manages to give a prediction quite close to the real process. that it is intended to emulate.

This project will deal with obtaining an artificial neural network architecture using 4 input parameters (pH, ORP, EC and temperature) and alkalinity as output to obtain a model that adjusts to the real behavior of a biodigestion, this model will serve as a basis for a future control process that can take advantage of it to regulate the alkalinity of the process and reduce the acidity of the medium, thus helping to obtain a higher rate of methane production.