



Universidad  
Nacional  
de Loja

*Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables*

---

## CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

### **Redes neuronales aplicadas a imágenes satelitales de LANDSAT como herramienta de detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja**

### **Neural networks applied to LANDSAT satellite images as a tool for detecting soil desertification in the province of Loja**

Linea de investigación: Inteligencia Artificial

PROYECTO DE TITULACIÓN EN INGENIERÍA EN SISTEMAS.
--

***Autor:***

- ◇ ORCID, Angel Steven Martinez Chamba, angel.martinez@unl.edu.ec

***Tutor:***

- Pablo F. Ordoñez-Ordoñez, Mg.Sc.

***Cotutor especialista:***

- Roberth Gustavo Figueroa Díaz, Mg.Sc



Carrera de Ingeniería en  
Sistemas / Computación

LOJA - ECUADOR

2022



## Certificación de Tutoría

En calidad de Tutor y Cotutor del Proyecto de Trabajo de Titulación PTT, certificamos la tutela a Angel Steven Martinez Chamba, con el tema **Redes neuronales aplicadas a imágenes satelitales de LANDSAT como herramienta de detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja - Neural networks applied to LANDSAT satellite images as a tool for detecting soil desertification in the province of Loja**, quien ha cumplido con todas las observaciones requeridas. Es todo cuanto puedo decir en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso de la presente, así como el trámite de pertinencia del presente proyecto.

Loja, 22 de septiembre de 2022

Atentamente,  
Pablo F. Ordoñez-Ordoñez, Mg.Sc.  
**TUTOR**

Roberth Gustavo Figueroa Díaz, Mg.Sc  
**COTUTOR**

## Certificación de Autoría del Proyecto

Yo Angel Steven Martinez Chamba, estudiante de la Universidad Nacional de Loja, declaro en forma libre y voluntaria que el presente Proyecto de Trabajo de Titulación que versa sobre **Redes neuronales aplicadas a imágenes satelitales de LANDSAT como herramienta de detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja- Neural networks applied to LANDSAT satellite images as a tool for detecting soil desertification in the province of Loja**, así como la expresiones vertidas en la misma son autoría del compareciente, quien ha realizado en base a recopilación bibliográfica primaria y secundaria. En consecuencia asumo la responsabilidad de la originalidad de la misma y el cuidado al remitirse a las fuentes bibliográficas respectivas para fundamentar el contenido expuesto.

Atentamente,  
Angel Steven Martinez Chamba

---

# Índice general

<b>1. Problemática</b>	<b>1</b>
1.1. Situación Problemática . . . . .	1
1.2. Problema de Investigación . . . . .	3
<b>2. Justificación</b>	<b>4</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>5</b>
3.1. General . . . . .	5
3.2. Específicos . . . . .	5
<b>4. Alcance</b>	<b>6</b>
<b>5. Marco Teórico</b>	<b>7</b>
5.1. Marco teórico . . . . .	7
5.1.1. Desertificación . . . . .	7
5.1.2. Índices de Vegetación . . . . .	7
5.1.3. Severidad de la desertificación . . . . .	8
5.1.4. Teledetección . . . . .	8
5.1.4.1. Componentes de un sistema de teledetección . . . . .	8
5.1.5. Imágenes Satelitales . . . . .	9
5.1.5.1. Tipos de imágenes satelitales . . . . .	9
5.1.5.1.1. Imágenes pancromáticas . . . . .	10
5.1.5.1.2. Imágenes multiespectrales o multibanda . . . . .	10
5.1.5.1.3. Imágenes hiperespectrales . . . . .	10
5.1.5.1.4. Imágenes radar . . . . .	10
5.1.6. Satélites de teledetección . . . . .	10
5.1.6.1. Satélite Landsat-7 . . . . .	11
5.1.6.2. Satélite Landsat-8 . . . . .	11
5.1.6.2.1. Características . . . . .	13
5.1.6.2.2. Instrumentos de Landsat-8 . . . . .	14
5.1.6.2.3. Sensor OLI . . . . .	15
5.1.6.2.4. Sensor TIRS . . . . .	16
5.1.6.2.5. Nomenclatura . . . . .	17
5.1.7. Clasificación de imágenes satelitales . . . . .	18
5.1.7.1. Clasificación no supervisada . . . . .	18
5.1.7.2. Clasificación supervisada . . . . .	18

5.2. Librerías principales . . . . .	19
5.2.1. TensorFlow . . . . .	19
5.2.2. Keras . . . . .	19
5.3. Metodología Extreme Programming . . . . .	19
5.3.1. Características de Extreme Programming . . . . .	20
5.3.2. Fases de Extreme Programming . . . . .	20
5.3.3. ¿Por qué Extreme Programming? . . . . .	21
5.4. Trabajos Relacionados . . . . .	21
<b>6. Metodología</b>	<b>26</b>
<b>7. Cronograma</b>	<b>27</b>
<b>8. Presupuesto</b>	<b>28</b>
8.1. Recursos Humanos . . . . .	28
8.2. Recursos Tecnológicos . . . . .	28
8.3. Recursos Materiales . . . . .	29
8.4. Servicios . . . . .	29
8.5. Presupuesto General . . . . .	30
<b>Bibliografía</b>	<b>31</b>
<b>Lista de Acrónimos y Abreviaturas</b>	<b>34</b>
<b>A. Anexo I</b>	<b>35</b>
A.1. Entrevista Propuesta al Experto . . . . .	35
<b>B. Anexo II</b>	<b>37</b>
B.1. Resultado: Entrevista Experto . . . . .	37

---

# Índice de figuras

5.1. Satélite Landsat-8, [1]	11
5.2. Bandas Landsat 8, [2]	12
5.3. Instrumentos del LDCM, [3]	14
5.4. Sensor OLI en el satélite LDCM, [3]	15
5.5. Sensor TIRS en el satélite LDCM, [3]	16

# Índice de tablas

5.1.	Características de Landsat 8 . . . . .	13
5.2.	Rangos espectrales y tamaños de pixel de bandas en el sensor OLI . . .	16
5.3.	Rangos espectrales y tamaños de pixel de bandas en el sensor TIRS . .	17
5.4.	Convención de nomenclatura en productos de archivos comprimidos . .	17
5.5.	Trabajos relacionados . . . . .	21
6.1.	Metodología del PTT . . . . .	26
7.1.	Cronograma del PTT . . . . .	27
8.1.	Recursos Humanos . . . . .	28
8.2.	Recursos Técnicos y Tecnológicos . . . . .	28
8.3.	Recursos Materiales . . . . .	29
8.4.	Servicios . . . . .	29
8.5.	Presupuesto General . . . . .	30



**Redes neuronales aplicadas a  
imágenes satelitales de LANDSAT  
como herramienta de detección de  
la desertificación del suelo en la  
provincia de Loja**

**Neural networks applied to  
LANDSAT satellite images as a tool  
for detecting soil desertification in  
the province of Loja**

Linea de investigación: Inteligencia Artificial

---



# 1. Problemática

## 1.1. Situación Problemática

Según la Convención de las Naciones Unidas para Lucha contra la Desertificación, la desertificación es “la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y seco-subhúmedas resultante de varios factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas”. Se trata de un problema global, en el que más de 1500 millones de personas se ven afectadas directamente por la pérdida de productividad del territorio, incluyendo los lugares más pobres y vulnerables del planeta. Como sostiene la definición, la causa es doble. Por un lado, las variaciones climáticas, en forma de sequías o lluvias torrenciales (cuestión acentuada por el cambio climático), y por otro, la intervención humana como la deforestación, la sobreexplotación de recursos o el sobrepastoreo, [4].

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se entrevistó a la “Ing. Jessica Armijos” con título de “Geóloga”, otorgado por la UNL, menciona que “la degradación del suelo afecta a grandes áreas, por lo que a nivel socio ambiental y socioeconómico conlleva a pérdidas de gran magnitud y avanza, aunque de manera lenta, pero considerablemente abarca grandes zonas”, siendo así la gran importancia de desarrollar soluciones innovadoras con el fin de detectar de manera temprana la desertificación del suelo, la cual se da por dos causas principales: “El factor climático como la lluvia poco constante o los climas semiáridos” y “El calentamiento global”, mientras que dentro antrópico se destacan los incendios forestales, deforestación sobrepastoreo, actividad minera, erosión del suelo y la sobreexplotación de la tierra o la explotación excesiva de los recursos vegetales.

Debido a este problema y mediante la entrevista realizada, se manifiestan las principales causas y consecuencias por la desertificación como la alteración de los recursos naturales, destacando así la escasez o ausencia del agua, la disminución de la producción agrícola, lo que conlleva a una amplia inseguridad alimentaria por la notable disminución de cultivos debido al agotamiento de nutrientes de la tierra, migración de la población hacia zonas fértiles y productivas. Mientras que las causas más habituales de la desertificación en zonas cercanas a centros poblados es la deforestación para la extracción de la madera a gran escala, el mal manejo de una adecuada remediación ambiental posterior a actividades mineras, el pastoreo y la explotación de la tierra, ya que no se la trata adecuadamente para que se evite la pérdida de nutrientes; mientras

que en zonas donde hay ausencia del ser humano la causa más común es lo ambiental como la disminución de las precipitaciones y las variadas temperaturas en zonas semi-áridas o áridas.

Además, la principal característica de un terreno desertificado es la ausencia de la cobertura vegetal, ya sea por algunas de las causas mencionadas anteriormente, así mismo se puede observar grietas en el mismo, ausencia de agua y erosión in situ. Teniendo en cuenta, que la desertificación es un proceso complejo, si cumple con todos los factores necesarios, tanto climáticos como antrópicos puede llevar muy poco tiempo, pero, por el contrario, si solo cuenta con pocos factores, este proceso puede tardar muchos años y con una detección temprana puede remediarse y detener la erosión del suelo haciendo que este recupere sus nutrientes. Así pues, para realizar una correcta identificación de la desertificación se debe realizar pruebas y análisis que indiquen el nivel de nutrientes y fertilidad del suelo, indicando a que nivel de desertificación se ha llegado y si es posible de esta manera invertir la erosión y recuperarlo.

Por último, menciona que "al detectar a tiempo este problema se puede implementar planes de contingencia para frenar este proceso como reforestar el área afectada, realizar remediaciones ambientales en todas las zonas para que se pueda recuperar el suelo fértil y no haya disminución de los recursos naturales". Igualmente, para realizar una detección temprana se debe realizar una investigación de zonas que sean sometidas a pastoreo continuo, cultivos en toda época del año, zonas con sequías prolongadas y altas temperaturas y lugares donde se realice o se haya realizado una extracción minera tanto metálica como no metálica y verificar si ha existido una correcta remediación del mismo al finalizar cada etapa. En resumen, esta investigación y recolección de información, conlleva el análisis de imágenes satelitales antiguas y recientes para su posterior comparación y estudio de las mismas y poder determinar el nivel de desertificación del suelo.

---

## 1.2. Problema de Investigación

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se evidencia que la desertificación del suelo, es un problema que afecta a miles de personas alrededor del mundo y en la ciudad de Loja no es la excepción, por lo cual se plantea el siguiente trabajo de titulación **"Redes neuronales aplicadas a imágenes satelitales de LANDSAT como herramienta de detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja"**, surgiendo así la pregunta de investigación:

¿Como realizar la detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja mediante el uso de redes neuronales y técnicas de visión por computador?

---

## 2. Justificación

El presente Proyecto de Trabajo de Titulación se enmarca a nivel internacional a los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS N.º 9 “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación” y N.º 15 “Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad”, propuesto por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), [5]. Por otra parte, la UNL se encuentra en las posibilidades de brindar el apoyo necesario para que se lleve a cabo este trabajo; lo más importante es la oportunidad de contar con docentes del **área de Ingeniería Minas**, para conjuntamente construir la propuesta que permite aplicar los conocimientos adquiridos durante los cinco años de formación profesional, aportando al campo científico y social con una solución innovadora sobre el problema detectado, con el fin de fomentar el uso de las Tics.

La puesta en marcha del presente proyecto constituye un aporte valioso a la UNL, se justifica en pilares fundamentales como el científico porque promueve la investigación bibliográfica de técnicas, y algoritmos de inteligencia artificial aplicables en la detección y clasificación de imágenes; en el campo académico porque aporta en la evaluación, reconocimiento y clasificación de imágenes lo cual ayuda a clasificar y detectar incendios; en el aspecto social, ya que la detección de incendios forestales facilitara la intervención de organismos de ayuda en este caso bomberos; en el aspecto técnico-tecnológico, ya que actualmente estamos en una época donde la tecnología es muy importante para la optimización de procesos; en el aspecto ambiental, ya que fortalece el cuidado del medio ambiente al tomar acciones tempranas en caso de incendio forestal; Por otra parte, aporta económicamente, ya que el proceso de detección manualmente implica el uso de personal humano que significa el gasto monetario.

## 3. Objetivos

### 3.1. General

Implementar un prototipo para la detección de la desertificación del suelo mediante imágenes satelitales Landsat de la provincia de Loja a través de redes neuronales

Implement a prototype for the detection of soil desertification using Landsat satellite images of the province of Loja through neural networks

### 3.2. Específicos

- Construir la arquitectura del modelo de red neuronal mediante el conjunto de datos necesario sobre imágenes satelitales para la detección de la desertificación del suelo

Build the architecture of the neural network model using the required data set on satellite images for soil desertification detection

- Desarrollar un prototipo de software para la arquitectura del modelo de red neuronal utilizando la metodología Extreme programming (XP)

To develop a software prototype for the neural network model architecture using Extreme programming methodology (XP)

- Evaluar la detección de la desertificación del suelo utilizando el prototipo de software bajo un entorno real o simulado y laboratorio académico

Evaluate soil desertification detection using the software prototype under real or simulated environment and academic laboratory.

## 4. Alcance

El presente proyecto de titulación contempla el desarrollo del proyecto **”Redes neuronales aplicadas a imágenes satelitales de LANDSAT como herramienta de detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja”**, considerando el presupuesto y cronograma analizados en las secciones siguientes.

A continuación, se detalla el alcance por cada objetivo específico planteado:

### **FASE 1:** Empatía y Definición.

- a) Establecer métricas para la selección del conjunto de imágenes satelitales.
- b) Diseñar la arquitectura de red neuronal para la detección de la desertificación del suelo.
- c) Entrenar el modelo de red neuronal para la detección de la desertificación del suelo.
- d) Validar y mejorar el entrenamiento del modelo en caso de que los resultados generados se alejen de la percepción del experto.

### **FASE 2:** Ideación y Prototipado.

- a) Elaborar historias de usuario del prototipo de software para la detección de la desertificación del suelo.
- b) Modelar la arquitectura del software empleando la notación UML haciendo uso de la herramienta Lucidchart.
- c) Diseñar las diferentes interfaces del prototipo de acuerdo a los requerimientos establecidos.
- d) Desarrollar el prototipo de software para la detección de desertificación del suelo.

### **FASE 3 :** Evaluación del prototipo.

- a) Definición de escenarios de prueba.
- b) Ejecución de pruebas del prototipo con el experto.
- c) Evaluación y socialización de resultados.



# 5. Marco Teórico

## 5.1. Marco teórico

### 5.1.1. Desertificación

Actualmente, la desertificación y la sequía afectan a una gran parte de los países del mundo. Algunos de los problemas relacionados a este supuesto son la pérdida de la productividad biológica y económica del suelo, así como también el deterioro de la salud tanto de quienes habitan las zonas afectadas, como la de aquellos que se abastecen o se sirven de las mismas. El suelo es la fuente de alimento para todas las personas y gran parte de los seres vivos del planeta. Es el recurso crucial para la humanidad y, mediante técnicas de desarrollo sustentable, puede lograr evitarse su degradación con la consiguiente caída de la productividad que antecede al empobrecimiento de las condiciones de vida en sociedad, [6].

La desertificación es la degradación de la tierra en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas por causa de la actividad humana y las variaciones climáticas. Este proceso se debe a la vulnerabilidad de los ecosistemas de zonas secas (que cubren un tercio de la superficie del planeta y buena parte de Ecuador), a la sobreexplotación y al uso inadecuado de la tierra. La pobreza, la inestabilidad política, la deforestación, el sobrepastoreo y las malas prácticas de riego son ejemplos de aspectos que afectan negativamente a la productividad del suelo, por lo que tenemos que ponerles freno, [4].

### 5.1.2. Índices de Vegetación

Los índices de vegetación, o índices verdes, son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen. El desarrollo de estos índices obedeció a la observación de la consistencia de la respuesta a la reflectancia de la luz roja e infrarroja de la vegetación verde: a mayor cantidad de clorofila, mayor absorción de la luz incidente roja; a mayor volumen foliar, mayor reflectancia de la luz infrarroja cercana. Considerando que pueden existir otras coberturas con alta reflectancia en el infrarrojo, u otras con alta absorción en el rojo, el empleo de solo una banda puede conducir a errores. Sin embargo, solo la vegetación viva produce invariablemente ambas respuestas, de modo que si se calcula el cociente de la reflectancia infrarroja por la roja, o su diferencia, como la primera siempre aumenta conforme la segunda disminuye, el

cociente (o diferencia) será mayor cuanta más vegetación haya, por el efecto aditivo que una mayor abundancia de vegetación produce.

### **5.1.3. Severidad de la desertificación**

La severidad de la desertificación, por lo general, es considerada como un factor decisivo para la ONU en su "Convención de lucha contra la desertificación". La tierra se está degradando rápidamente en todo el mundo. Garantizar la seguridad alimentaria para una población mundial en crecimiento requiere recursos terrestres saludables y ecosistemas florecientes, [7].

Los objetivos de la UNCCD para la NDT incluyen:

- Mantener o mejorar la prestación sostenible de los servicios ecosistémicos
- Mantener o mejorar la productividad de la tierra para mejorar la seguridad alimentaria mundial
- Aumentar la resiliencia de la tierra y de las poblaciones que dependen de ella
- Buscando sinergias con otros objetivos sociales, económicos y ambientales
- Reforzar y promover una gobernanza de la tierra responsable e inclusiva

### **5.1.4. Teledetección**

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. Esta técnica se basa en propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con la superficie terrestre. La teledetección se considera una técnica adecuada para determinar la severidad de la deforestación y desertificación, [8].

#### **5.1.4.1. Componentes de un sistema de teledetección**

La teledetección se define como la técnica de adquisición y posterior tratamiento de datos de la superficie terrestre de sensores instalados en plataformas espaciales, en virtud de la interacción electromagnética existente entre la Tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación, ya sea proveniente del sol (teledetección pasiva) o del propio sensor (teledetección activa). Los componentes básicos de un sistema de teledetección son: la escena, el sensor y el tratamiento de la información, con los siguientes elementos, [9].

---

- Fuente de energía: es el “origen del flujo energético que es captado por el sensor. Existe dos tipos de fuente de energía pasiva y activa, la primera es un sensor externo, la segunda es emitida por un haz energético”.
- Cubierta terrestre: está formado por agua, suelo, vegetación y construcciones del ser humano, los cuales emiten e irradian la señal energética según las cualidades físicas.
- Sensor remoto o Sistema sensor: Atrae la energía de la cubierta terrestre y envía al sistema de recepción.
- Sistema de recepción: La información es recibida a través de plataformas y luego se distribuye a los usuarios.
- Interprete: Encargado de analizar la información de forma visual o digital en el área de estudio.
- Usuario final: Persona delegada en examinar el documento previo a la interpretación para obtener mapas temáticos.

### 5.1.5. Imágenes Satelitales

Hoy en día, las imágenes de satélite constituyen una fuente de información muy importante en varios campos, como el urbanismo, la planificación de territorios, la cartografía, la evolución de la vegetación y otros muchos. Además, cada vez existen más sensores en más bandas y resoluciones. Esta gran disponibilidad bajo política de datos abiertos es el germen de este trabajo de investigación para la detección de cambios. Las imágenes obtenidas desde satélite presentan varias ventajas en comparación con otros medios como la fotografía aérea, estudios de campo o mapas. En primer lugar, se producen adquisiciones repetibles en las mismas condiciones de iluminación y en formato digital, que permite su procesamiento automático. Las observaciones tienen carácter global y se puede acceder a archivos históricos que permiten una evaluación a largo plazo de la dinámica terrestre, [10].

#### 5.1.5.1. Tipos de imágenes satelitales

Las imágenes de satélite se pueden clasificar de acuerdo con el número de bandas espectrales y la naturaleza de los sensores con los cuales fueron adquiridas. Distinguiamos imágenes pancromáticas, multiespectrales, hiperespectrales, de múltiples sensores e imágenes de radar.

---

**5.1.5.1.1. Imágenes pancromáticas** Se obtienen a partir del registro de la radiación en el visible en un rango de longitud de onda comprendido aproximadamente entre 0,4 y 0,7  $\mu\text{m}$ . Aunque estas imágenes son menos ricas desde el punto de vista de la resolución espectral, ofrecen una resolución espacial muy buena. En las imágenes de MAR, el efecto de paralaje es difícil de corregir con los métodos de corrección geométrica utilizados habitualmente para imágenes de resolución media

**5.1.5.1.2. Imágenes multispectrales o multibanda** Se obtienen a partir de un conjunto de bandas espectrales correspondientes a diferentes rangos de longitudes de onda, cuyo número máximo de bandas no suele exceder de diez. Las imágenes ópticas de resolución media o alta (30 m a 5 m) dan una idea del alcance de los cambios y su distribución sin detalle a nivel de edificio, los siguientes estudios utilizaron las imágenes multispectrales para el estudio de detección de cambios. Su ventaja es proporcionar información en un área geográfica amplia. La selección de las bandas de las imágenes multispectrales se basa en la firma espectral a estudiar. Si el fenómeno a analizar se caracteriza por un cambio en la respuesta de reflectividad o emisividad a una cierta longitud de onda, el estudio de esa banda será de gran utilidad.

**5.1.5.1.3. Imágenes hiperespectrales** Se obtienen a partir de un conjunto elevado de bandas espectrales (a partir de 20) obtenidas en diferentes longitudes de onda. Estas imágenes proporcionan mucha información sobre las propiedades físicas de los objetos observados. Actualmente, no hay ningún sensor hiperespectral embarcado en satélite, pero hay varias misiones previstas, que contemplan entre 210 y 249 bandas espectrales y una resolución espacial entre 8 y 30 m. El resto de sensores hiperespectrales son aerotransportados y permiten una resolución espacial variable dependiendo de la altitud del vuelo (de 30 m a aproximadamente 1 m de resolución).

**5.1.5.1.4. Imágenes radar** Se obtienen a partir de la retrodispersión de la superficie terrestre cuando una onda electromagnética polarizada (Horizontal H o Vertical V) en el espectro de microondas incide sobre ella de forma oblicua. Estas imágenes tienen una gran ventaja sobre las ópticas en que pueden adquirirse de día o de noche, independientemente de las condiciones climáticas. Las imágenes de radar de resolución media son, por lo tanto, una valiosa ayuda para la evaluación rápida de cambios que afectan a grandes áreas.

## **5.1.6. Satélites de teledetección**

Los satélites centrados en la teledetección giran alrededor de nuestro planeta en un intervalo establecido, registrando y proporcionando datos casi en tiempo real. La información obtenida permite analizar no solo el estado actual de las cosas, sino también los antecedentes históricos, [11].

---

#### 5.1.6.1. Satélite Landsat-7

El satélite Landsat-1 fue lanzado el 07 de marzo de 1972, con esto se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces. Este satélite dotado de sensores empleados en teledetección, fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. La serie de satélites Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 7, desde el año 1972 da una de las mejores series históricas de la evolución de planeta, [12].

#### 5.1.6.2. Satélite Landsat-8

Landsat 8 (anteriormente llamada Landsat Data Continuity Mission) es una misión conjunta de la NASA y el Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) y es el octavo satélite de la serie Landsat. El observatorio consiste en el bus de la nave espacial y su carga de juego de dos sensores de observación de la Tierra, el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS). OLI y TIRS recopilan datos de forma conjunta para proporcionar imágenes coincidentes de la superficie y global, incluidas las regiones costeras, el hielo polar, las islas y las áreas continentales, [1].



**Figura 5.1:** Satélite Landsat-8, [1]

Landsat 8 es un satélite de observación de la Tierra construido, lanzado y operado en la colaboración de la NASA con el USGS. El estudio de los datos se realiza mediante dos sensores principales. El satélite opera en luz visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico (de onda larga). Las bandas de Landsat 8 están configuradas en 11 diferentes con base en la longitud de onda de su visión, [2].

Uno de los sensores del Landsat 8, Operational Land Imager (OLI), usa 9 bandas en el espectro de la luz visible y el infrarrojo cercano. Otro de los sensores del Landsat 8, Thermal InfraRed Sensor (TIRS), opera en el rango de infrarrojos de onda larga (Longwave InfraRed Light). El satélite proporciona imágenes con una resolución moderada que varía en diferentes bandas desde 15 m por píxel en la más precisa hasta 100 m en el infrarrojo de onda larga, donde la precisión no es vital.

Sensor	Spectral Band	Use Area	Wavelength	Resolution
OLI	Band 1	Coastal/Aerosol	0.433 – 0.453 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 2	Blue	0.450 – 0.515 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 3	Green	0.525 – 0.600 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 4	Red	0.630 – 0.680 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 5	Near Infrared	0.845 – 0.885 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 6	Short Wavelength Infrared (SWIR 1)	1.560 – 1.660 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 7	Short Wavelength Infrared (SWIR 2)	2.100 – 2.300 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 8	Panchromatic	0.500 – 0.680 $\mu\text{m}$	15 m
OLI	Band 9	Cirrus	1.360 – 1.390 $\mu\text{m}$	30 m
OLI	Band 10	Long Wavelength Infrared	10.30 – 11.30 $\mu\text{m}$	100 m
OLI	Band 11	Long Wavelength Infrared	11.50 – 12.50 $\mu\text{m}$	100 m

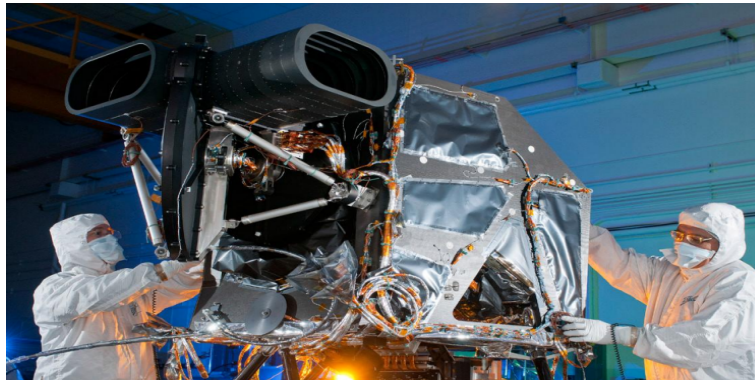
**Figura 5.2:** Bandas Landsat 8, [2]

**5.1.6.2.1. Características** El satélite Landsat-8, se encuentra en estado operativo a pesar de la falla del corrector de línea de escaneo (SLC) 31 de mayo de 2003, cuenta con dos sensores OLI y TIRS, está ubicado a 705 km de elevación de la superficie del planeta Tierra[13], consta de un sistema de Referencia Mundial-2 (WRS-2), Sistema Path/Row y su órbita es polar, heliosíncrona, además cuenta con una cobertura repetida cada 16 días su vida útil es mínimo de 5 años, registra antecedentes de estado sólido de 3,14 terabit, [14].

**Tabla 5.1:** Características de Landsat 8

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Participantes	NASA DOI USGS Bus Espacial: Orbital Science Corp, Sensor Operational Land Imager (OLI): Ball Aerospace Technologies Corp Sensores Thermal Infrared: Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA
Fecha de lanzamiento	11 de febrero de 2013
Vehículo	Cohete Atlas-V
Lugar	Base de la Fuerza Aérea Vandenberg, California
Nave	Registrador de datos de estado sólido de 3.14 terabit Energía suministrada por un único panel solar de 9 x 0,4 metros y una batería de 125 Amperios-Hora (Ahr) de Níquel-Hidrógeno (NiH2). Peso: 2,071 kg (4,566 lb) completamente cargado de combustible (sin instrumentos) Longitud: 3 m (9.8 ft) Diámetro: 2.4 m (7.9 ft)
Comunicaciones	Conexión Directa con grabadoras de estado sólido (SSR) Velocidad de transmisión de datos: 384 Mbps en la frecuencia de la banda X; 260,92 Mbps en la frecuencia de la banda S
Sensores	OLI TIRS

**5.1.6.2.2. Instrumentos de Landsat-8** Los dos instrumentos a bordo del LDCM, Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo (TIRS) representan avances evolutivos en la tecnología de sensores remotos y en su rendimiento 5.3. OLI y TIRS miden la superficie terrestre en el visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, e infrarrojo térmico con una resolución moderada entre 49 y 328 pies (15 y 100 metros) dependiendo de la longitud de onda espectral. La distribución de la energía observada en estas longitudes de onda revela información sobre la reflexión y emisión de superficies, [3].



**Figura 5.3:** Instrumentos del LDCM, [3]

---



**5.1.6.2.3. Sensor OLI** El sensor Operational Land Imager (OLI) avanza en la tecnología de sensores Landsat, utilizando un enfoque demostrado ya por el sensor Advanced Land Imager. El cual utiliza un sensor del tipo "pushbroom" compuesto por una serie de baterías larga de detectores, con más de 7.000 detectores por banda espectral, alineados en su plano focal en su respectivo ancho de banda. El diseño del "pushbroom" lo hace un instrumento más sensible, proporcionando una mejor información de la superficie terrestre con menos partes móviles.



**Figura 5.4:** Sensor OLI en el satélite LDCM, [3]

Todas las bandas del sensor OLI, se puede obtener en 12 bits de resolución radiométrica, 8 bandas serán de 30 metros y una banda pancromática de 15 metros.

**Tabla 5.2:** Rangos espectrales y tamaños de pixel de bandas en el sensor OLI

Banda	Nombre	Longitud de onda ( m)	Resolución (m)	Aplicación
1	Aerosol costero	0.43 – 0.45	30	Estudios costeros y de aerosoles
2	Azul	0.45 – 0.51	30	Cartografía batimétrica, que distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la vegetación de coníferas
3	Verde	0.53 – 0.59	30	Destaca los picos de máxima vegetación, que son útiles para evaluar el vigor de las plantas
4	Roja	0.63 – 0.67	30	Distingue las laderas de vegetación
5	Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 – 0.88	30	Destaca el contenido de biomasa y las costas
6	Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1.57 – 1.65	30	Distingue la humedad del suelo y de la vegetación; penetra a través de nubes finas
7	Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2.11 – 2.29	30	Mejora de la lectura de la humedad del suelo y la vegetación y la penetración a través de nubes finas
8	Pan	0.50 – 0.68	15	Resolución de 15 metros, definición de imagen más nítida
9	Cirrus	1.36 – 1.38	30	Detección mejorada de la contaminación por cirros

**5.1.6.2.4. Sensor TIRS** El sensor térmico infrarrojo (TIRS) fue añadido a la carga útil del LDCM cuando se hizo evidente que los gestores de los recursos hídricos se basaban en las mediciones de alta precisión de la energía térmica de la tierra obtenidas por los predecesores del LDCM – el TM del satélite Landsat 5 y Enhanced Thematic Mapper – Plus ETM+ del Landsat 7 – con el fin de hacer un seguimiento del uso de la tierra y el agua.

**Figura 5.5:** Sensor TIRS en el satélite LDCM, [3]

Los satélites Landsat anteriores miden la temperatura superficial del suelo utilizando

una sola banda térmica para detectar longitudes de onda largas de la luz emitida por la superficie de la tierra. Los QWIPs en el TIRS, sin embargo, detectan dos segmentos del espectro infrarrojo térmico, ambos incluidos dentro de una ventana de transmisión atmosférica, con el fin de producir mejores estimaciones de la temperatura superficial.

**Tabla 5.3:** Rangos espectrales y tamaños de pixel de bandas en el sensor TIRS

BANDA	NOMBRE	LONGITUD DE ONDA( m)	RESOLUCIÓN (m)	APLICACIONES
10	TIRS 1	10.60 – 11.19	30 (100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo
11	TIRS 2	11.50 – 12.51	30 (100)	Resolución de 100 metros, mapeo térmico y humedad estimada del suelo

**5.1.6.2.5. Nomenclatura** A continuación, se representa cada uno de los componentes agrupados, [3]:

**Tabla 5.4:** Convención de nomenclatura en productos de archivos comprimidos

Identificador	Descripción
L	Nombre de misión: Landsat
s	Tipo de Sensor: O = OLI, T = TIRS, C = Combinado TIRS y OLI Indica con qué sensor se tomaron los datos para este producto
8	Numero de misión Landsat
ppp	Localización de la órbita satelital en referencia global al path del producto: System-2 (WRS-2)
rrr	Localización de la órbita satelital en referencia global al row del producto: System-2 (WRS-2)
YYYY	Año de adquisición de la imagen
DDD	Día del año de adquisición
GGG	ID de la estación terrena
VV	Versión
.FT	Tipo de archivo, donde FT es igual a: (Archivo comprimido)
.ext	Extensión del archivo, donde. TIF equivale a archivos de extensión GeoTIFF, y .txt a extensión de texto.

### 5.1.7. Clasificación de imágenes satelitales

El propósito de los procedimientos de clasificación de imágenes de satélite es categorizar automáticamente todos los píxeles en una o diversas clases temáticas. Esta información categorizada se utiliza posteriormente para generar mapas temáticos. En este caso, el patrón espectral presente dentro de la información de cada pixel se usa como una base numérica para la categorización; es por ello que diferentes tipos de objetos presentan diferentes combinaciones de ND (números digitales) basados en su inherente reflectancia espectral y propiedades de emisividad. Existen diferentes tipos de patrones que permiten la categorización de los píxeles de una imagen, como ser patrones espectrales, temporales y espaciales.

Los métodos de clasificación se dividen usualmente en dos tipos, en función de la manera en la que se obtienen las estadísticas de las categorías definidas durante la fase de entrenamiento: métodos supervisados y métodos no supervisados. Independientemente del método usado, es importante que la clasificación tenga las siguientes características: a) fiable, b) reproducible por otros, dadas las mismas variables de entrada, c) robusta, no sensible a pequeños cambios en las condiciones de entrada, d) objetiva, que no esté marcado por las decisiones del intérprete, [15].

#### 5.1.7.1. Clasificación no supervisada

En la clasificación no supervisada, primero se agrupa los píxeles en grupos con propiedades similares «clusters». Y luego, se le asigna a cada clúster una clase de cobertura terrestre. Es un clasificador que usa algoritmos para agregar píxeles en grupos naturales o clúster con características espectrales similares presentes en la imagen. En este tipo de proceso, el analista no interviene en el proceso de clasificación y no existen áreas de entrenamiento. Aunque los resultados son poco exactos, es un paso obligado porque sirve para que el intérprete pueda asociar tipos de coberturas a los clústeres generados con información auxiliar.

#### 5.1.7.2. Clasificación supervisada

Se requiere del conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por la realización de un trabajo de campo. Es decir, que el intérprete debe tener una gran familiaridad con el área de interés, para poder interpretar y delimitar sobre la imagen, áreas suficientemente representativas, denominadas áreas o regiones de interés (ROI por sus siglas en inglés), de cada una de las categorías representadas y que forman parte de la leyenda. Los pasos básicos para realizar una clasificación supervisada son los siguientes:

- Etapa de entrenamiento: en esta etapa el intérprete identifica áreas de entrenamiento representativas, y genera una descripción numérica de los atributos espectrales de cada categoría de cobertura de la tierra por escena.
-

- Etapa de clasificación: Cada píxel es categorizado y asociado a una determinada categoría de la leyenda de acuerdo a su mayor semejanza. En el caso de que el píxel sea insuficientemente similar, este se catalogará como “desconocido”.
- Etapa de análisis de precisión y verificación de resultados: La estimación de la exactitud de una clasificación es el grado de concordancia entre las clases asignadas por el clasificador y los datos tomados en el terreno, obteniendo una estimación más realista de los errores siempre y cuando la muestra de píxeles sea lo suficientemente

## 5.2. Librerías principales

### 5.2.1. TensorFlow

TensorFlow es un sistema de Deep Learning que funciona a gran escala y en entornos heterogéneos. Con esta librería se construyen y entrenan redes neuronales para detectar correlaciones y descifrar patrones análogos al aprendizaje y razonamiento usados por los humanos. Esto es muy conveniente a la hora de cumplir el objetivo de esta aplicación, ya que lo que se quiere es que la red neuronal aprenda a reconocer patrones de techos de viviendas, para que así pueda posteriormente identificarlos en el mapa que se le entregue. Varios servicios de Google utilizan TensorFlow en producción, entre otras razones, porque ellos lanzaron esta librería como un proyecto de código abierto que se ha utilizado ampliamente para la investigación del Machine Learning [16].

### 5.2.2. Keras

Keras es una biblioteca de Python de alto nivel, compacta y fácil de aprender, para el aprendizaje profundo que puede ejecutarse sobre TensorFlow. Permite a los desarrolladores centrarse en los conceptos principales del aprendizaje profundo, como la creación de capas para las redes neuronales, al tiempo que se ocupa de los detalles esenciales de los tensores, sus formas y sus detalles matemáticos. TensorFlow tiene que ser el back end de Keras. Puedes usar Keras para aplicaciones de aprendizaje profundo sin interactuar con el relativamente complejo TensorFlow [17].

## 5.3. Metodología Extreme Programming

XP es una metodología que permite que los clientes tengan más comunicación con el equipo de trabajo, esto ayuda cuando requieran aplicar cambios en el software durante el desarrollo, el equipo de trabajo toma en cuenta esos cambios y los aplica durante los ciclos de iteraciones. Además, se centra en potenciar las relaciones interpersonales del equipo de desarrollo como clave del éxito mediante el trabajo en equipo, el aprendizaje

---

continuo y el buen clima de trabajo. Su fuerte es la retroalimentación continua entre cliente y el equipo de desarrollo, es perfecta para proyectos con requisitos imprecisos y muy cambiantes, mientras ayuda que los clientes tengan más comunicación con el equipo de desarrollo para cuando requieran aplicar cambios en el software durante el desarrollo, permitiendo que el equipo de desarrollo pueda aplicar cambios durante los ciclos de iteraciones [18].

### 5.3.1. Características de Extreme Programming

La metodología XP posee algunas características esenciales como: el enfoque práctico, el mismo que se adapta y respeta las realidades que ocurren al desarrollar un aplicativo, puede ser la posibilidad de aplicar cambios, como también la ocurrencia de errores que se pueden presentar. Conocer sus requerimientos desde el principio, ya que esta metodología se centra en lo que el cliente necesita y las mantiene presentes en todo el proceso de desarrollo del proyecto. Retroalimentación o Feedback temprana, debido a que gracias a los ciclos extremadamente cortos de desarrollo se puede obtener resultados continuos y concretos. Enfoque de planificación incremental, este consigue obtener un plan global rápido, su funcionalidad de forma extremadamente flexible, esto ayuda en respuesta a los cambios en las necesidades del negocio, el uso de tesis automatizadas escritas por programadores y clientes para monitorizar el progreso del desarrollo, esta característica permite que evolucione el sistema y pueda detectar errores de forma temprana

### 5.3.2. Fases de Extreme Programming

El ciclo de vida de la Programación Extrema está compuesta de seis fases que son: exploración, planificación de la entrega, iteraciones, producción, mantenimiento y muerte del proyecto.

- **Planificación:** toma como referencia la identificación de la historia del usuario con pequeñas versiones que se irán revisando en periodos cortos con el fin de obtener un software funcional.
  - **Diseño:** trabaja el código orientado a objetivos y, sobre todo, usando los recursos necesarios para que funcione.
  - **Codificación:** se refiere al proceso de programación organizada en parejas, estandarizada y que resulte en un código universal entendible.
  - **Pruebas:** consiste en un testeo automático y continuo en el que el cliente tiene voz para validar y proponer. Es, en pocas palabras, la prueba de aceptación.
-

### 5.3.3. ¿Por qué Extreme Programming?

Cuando se opta por el Extreme Programming, se tiene la certeza de que el proyecto se ejecutará de manera óptima, se reducen costos y se cumplen fechas de entrega. Además, el equipo de trabajo se encuentra motivado y comprometido, lo cual redundará en un mejor producto.

A continuación se detalla sus beneficios:

- La capacidad de responder a las necesidades cambiantes del cliente.
- La colaboración y comunicación entre el cliente y el equipo de desarrollo.
- La mejora continua de la calidad.
- La rapidez en la entrega de soluciones.

## 5.4. Trabajos Relacionados

Mediante la revisión bibliográfica realizada, en el Ecuador existen pocos proyectos relacionados con Redes neuronales aplicadas a imágenes satelitales de LANDSAT como herramienta de detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja, si bien existen trabajos relacionados enfocados a varios campos de prevención de incendios. A continuación, en la tabla 5.5 se presenta trabajos relacionados encontrados en el presente trabajo de titulación.

**Tabla 5.5:** Trabajos relacionados

Título	Resumen
El control y detección de incendios forestales para las fuerzas militares y organismos de gestión de riesgos en el ecuador apoyado en la visión artificial	El incremento de las temperaturas globales ha propiciado a que cada vez y con mayor frecuencia se presenten incendios forestales en el mundo en general y, por lo tanto, el Ecuador está inmerso en esta realidad. Por otra parte, se ha identificado que determinadas unidades militares del Ejército Ecuatoriano al menos dedican un 70% de sus actividades a realizar actividades de apoyo a la gestión de riesgos y entre ellas el control de incendios forestales, [19].

**Tabla 5.5 continuación de la página anterior**

<p>Detección de incendios mediante identificación de humo con visión artificial en condiciones de iluminación variable</p>	<p>La detección de humo en áreas abiertas representa una gran dificultad para los medios convencionales para detección de incendios. Mientras que la mayoría de los dispositivos utilizados para monitorear la presencia de fuego, están diseñados para trabajar en contacto con alguno producto de la combustión, como la temperatura o la concentración de humo en el aire, las herramientas basadas en Visión Artificial aprovechan las características ópticas del fuego o del humo, permitiendo realizar el monitoreo y la detección de incendios a mayor distancia. El presente proyecto se enfoca en presentar una propuesta de algoritmo para detección de humo mediante Visión Artificial que afronta el problema de la variación en las detecciones debida a los cambios de iluminación ambiental, [20].</p>
<p>Agente de visión artificial para la detección de fuego dentro de un establecimiento cerrado de la ciudad de Trujillo</p>	<p>La presente investigación busca, a través de fundamentos de visión artificial, poder encontrar una manera de implementar los objetivos de este proyecto. Uno de los objetivos específicos será llevar a cabo una implementación de software para detectar incidencias de fuego en ambientes cerrados y así los incendios en establecimientos comerciales puedan evitarse de manera eficiente. La mayoría de las víctimas del fuego sucumben al humo y a los gases tóxicos antes que, a las quemaduras, [21].</p>
<p>Sistema de detección visual de columnas de humo</p>	<p>Este trabajo presenta un método para la detección de columnas de humo analizando secuencias de imágenes visuales. Una vez detectada la columna de humo se realizan estimaciones sobre algunas características de la columna de humo, necesarias para llevar a cabo estrategias de extinción de incendios forestales y validar modelos. La metodología que aquí se presenta está basada en un sistema de procesamiento de imágenes digitales utilizando técnicas Wavelet y técnicas de obtención del Flujo Óptico, [22].</p>



**Tabla 5.5 continuación de la página anterior**

<p>Algoritmo Semiautomático para Mapear Incendios Forestales y Estimar la Recuperación Vegetal Mediante Imágenes Landsat-8</p>	<p>Este estudio propone una metodología reproducible para la identificación, semi automática, de grandes incendios forestales y la estimación de la recuperación vegetal mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8 (OLI), y el análisis de la información obtenida del cálculo de índices espectrales. Para ello se desarrolló un algoritmo utilizando información de servidores de geo información y paquetes de análisis espacial del software R, [23].</p>
<p>Análisis de incendios forestales a partir de imágenes sentinel en las palmas de gran canaria en agosto de 2019</p>	<p>En este trabajo se analiza los incendios forestales ocurridos el 17 de agosto de 2019, que arrasaron 9.636,40 hectáreas (según datos oficiales), para ello se ha usado Google Earth Engine (GEE) y las imágenes Sentinel-2, con el propósito de evaluar la zona afectada por el fuego (severidad), la pérdida de cobertura vegetal y detectar su recuperación. Los resultados obtenidos muestran una superficie total quemada de 85.3 km<sup>2</sup>, con una severidad moderada baja de 25.42 km<sup>2</sup>. Se afectaron 9 municipios, 6 áreas protegidos y los bosques de coníferas y la vegetación esclerófilas fueron las más afectadas y finalmente para el año 2021 hubo una alta recuperación, [24].</p>
<p>Entrenamiento de drones para la monitorización de incendios mediante aprendizaje por refuerzo</p>	<p>Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo estudiar la viabilidad de un sistema de monitorización de incendios haciendo uso de drones. Se ha optado por el uso de una arquitectura basada en comportamientos en donde en vez de codificar el sistema global se codifican módulos más sencillos que al ser interconectados logran conductas más complejas al sistema. Además, para la codificación de estos comportamientos se han utilizado técnicas de aprendizaje por refuerzo para la obtención de funcionamientos más elaborados, [25].</p>

**Tabla 5.5 continuación de la página anterior**

<p>Enjambres de drones aplicados al mapeo de áreas rurales y la prevención de incendios</p>	<p>Este Trabajo Fin de Grado consiste en el diseño y creación en Unity de un entorno de simulación para un enjambre de drones que sobrevuelen un terreno realista y fotografiar obtengan información útil para la asignación de riesgo de cara a la prevención de incendios mediante la toma de vías desde el aire que se deben fusionar en una única imagen compuesta y analizar en función de su densidad de vegetación y la inclinación del terreno. Los drones siguen rutas de vuelo calculadas por la estación base, un ordenador remoto encargado de la obtención de puntos a recorrer por cada dron, la altura a la que deben sobrevolar cada punto para tomar fotografías adecuadas para la fusión de imágenes, la fusión de imágenes y el tratamiento visual de la composición final. de riesgo para el terreno, [26].</p>
<p>Automatización de procesamiento de imágenes satelitales para delimitación de incendios forestales</p>	<p>La siguiente investigación contiene la metodología empleada para delimitar áreas forestales quemadas en la zona sur del Ecuador (provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe). Los datos empleados corresponden a registros de incendios forestales ocurridos desde el año 2000 hasta el año 2017 y datos satelitales (Landsat TM 7 y 8, Sentinel 2), descargados en las fechas seleccionadas para el estudio. La delimitación de áreas quemadas está basada en técnicas de discriminación como índices espectrales que permiten detectar las áreas afectadas por el fuego, según los cambios en la vigorosidad de la cobertura vegetal, [27].</p>

**Tabla 5.5 continuación de la página anterior**

<p>Modelación espacial de la susceptibilidad a incendios forestales en la región Junín utilizando el algoritmo Random Forest</p>	<p>La presente investigación tuvo como objetivo general modelar la susceptibilidad a incendios forestales en la región Junín, para lo cual se utilizó una serie de variables predictoras (de acceso, físicas, biofísicas, climáticas, de suelo y de vegetación), algunas de ellas fueron procesadas previamente en el software QGIS 3.10.11, para posteriormente subirlas y procesarlas en la plataforma en la nube de Google Earth Engine. En la modelación se utilizó el algoritmo Random Forest, previamente se realizó un proceso de optimización de parámetros, siendo el número de árboles (ntree) 500 y el número de factores (mtry) 4 los valores optimizados, concluyendo que las variables con mayor importancia significativa, en orden decreciente, son el índice de sequía de multibanda normalizado (NMDI), altitud, temperatura de la superficie terrestre, distancia a ríos, pendiente, distancia a centros poblados, el índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI), la distancia a vías, la velocidad del viento, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el aspecto de la pendiente, la curvatura del Plano, la radiación solar y la precipitación, así mismo se evidencia que la región Junín presenta un área de 262 100 hectáreas de muy alta susceptibilidad y un área de 654 577 hectáreas de alta susceptibilidad a incendios forestales, [28].</p>
--	---

Mediante los siguientes trabajos relacionados se logró determinar parte de los objetivos, alcance y marco teórico del presente "Trabajo de Titulación", pues en los presentes se emplean imágenes satelitales mediante satélites sentinel y landsat en sus distintas versiones, con lo cual aporta al presente trabajo como fuente de investigación y conocimiento de las tecnologías a emplear.

## 6. Metodología

Tabla 6.1: Metodología del PTT

OBJETIVOS	ALCANCE	PRODUCTO	MÉTODOS	MATERIALES/TECN.	LUGAR	RESPONSABLE
<b>OB1:</b> Construir la arquitectura del modelo de red neuronal mediante el conjunto de datos necesario sobre imágenes satelitales para la detección de la desertificación del suelo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Establecer métricas para la selección del conjunto de imágenes satelitales.</li> <li>2. Diseñar la arquitectura de red neuronal para la detección de la desertificación del suelo.</li> <li>3. Entrenar el modelo de red neuronal para la detección de la desertificación del suelo.</li> <li>4. Validar y mejorar el entrenamiento del modelo en caso de que los resultados generados se alejen de la percepción del experto.</li> </ol>	<p>Conjunto de imágenes satelitales</p> <p>Arquitectura de red neuronal</p> <p>Modelo entrenado con el conjunto de imágenes</p> <p>Documentar Resultados</p>	Analítico Extreme programming	Computadora Navegador Web Google Colab Git	CIS-UNL	Steven Martínez
<b>OB2:</b> Desarrollar un prototipo de software para la arquitectura del modelo de red neuronal utilizando la metodología Extreme programming (XP)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elaborar historias de usuario del prototipo de software para la detección de la desertificación del suelo.</li> <li>2. Modelar la arquitectura del software empleando la notación UML haciendo uso de la herramienta Lucidchart.</li> <li>3. Diseñar las diferentes interfaces del prototipo de acuerdo a los requerimientos establecidos.</li> <li>4. Desarrollar el prototipo de software para la detección de desertificación del suelo.</li> </ol>	<p>Modelo de predicción de desertificación</p> <p>Prototipo de Software</p> <p>Interfaces de Software</p>	Investigativo Experimental Estudio de Casos Extreme programming	Computadora Historias de Usuario Diagrama de Arquitectura Google Colab Python, Fast Api Visual Studio Code	CIS-UNL	Steven Martínez
<b>OB3:</b> Evaluar la detección de la desertificación del suelo utilizando el prototipo de software bajo un entorno real o simulado y laboratorio académico	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definición de escenarios de prueba.</li> <li>2. Ejecución de pruebas del prototipo con el experto.</li> <li>3. Evaluación y socialización de resultados.</li> </ol>	<p>Escenarios de prueba</p> <p>Documentación de resultados</p>	Analítico Cuantitativo Encuesta Experimental Extreme programming	Computadora Navegador WEB	CIS-UNL	Steven Martínez

## 7. Cronograma

El proyecto de trabajo de titulación, denominado **”Redes neuronales aplicadas a imágenes satelitales de LANDSAT como herramienta de detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja”**, requiere de una planificación adecuada del tiempo que conlleva realizar cada una de las actividades propuestas, por tanto, en la tabla 7.1 se presenta la planificación de cronograma a fin de evitar retrasos en la entrega del producto final.

**Tabla 7.1:** Cronograma del PTT

OBJETIVO	ACTIVIDAD	MESES																			
		1				2				3				4				5			
1	Establecer métricas para la selección del conjunto de imágenes satelitales	x	x																		
	Diseñar la arquitectura de red neuronal para la detección de la desertificación del suelo		x	x																	
	Entrenar el modelo de red neuronal para la detección de la desertificación del suelo			x	x	x															
	Validar y mejorar el entrenamiento del modelo en caso de que los resultados generados se alejen de la percepción del experto						x	x	x												
2	Elaborar historias de usuario del prototipo de software para la detección de la desertificación del suelo							x	x												
	Modelar la arquitectura del software empleando la notación UML haciendo uso de la herramienta Lucidchart								x	x											
	Diseñar las diferentes interfaces del prototipo de acuerdo a los requerimientos establecidos									x	x	x									
	Desarrollar el prototipo de software para la detección de desertificación del suelo											x	x	x	x						
3	Definición de escenarios de prueba													x	x	x					
	Ejecución de pruebas del prototipo con el experto															x	x	x			
	Evaluación y socialización de resultados																	x	x	x	

Para el desarrollo del presente “Proyecto de Trabajo de Titulación (PTT)”, el cual tiene una duración de 5 meses correspondientes a un periodo académico, se estima el tiempo empleado por actividad de cada objetivo en semanas, dando así el cumplimiento del trabajo de titulación en el plazo establecido por la Universidad Nacional de Loja.

## 8. Presupuesto

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación (TT), se requiere de algunos recursos, entre estos se encuentra el económico, por lo que se propone el siguiente presupuesto que está dado por algunas categorías, como son: Talento Humano, Recursos Técnicos y Tecnológicos, Recursos Materiales y Servicios.

### 8.1. Recursos Humanos

**Tabla 8.1:** Recursos Humanos

Responsable	Horas	Valor (H)	Subtotal
1 Estudiante	400	\$14	\$5.600
1 Tutor	200	\$20	\$4.000
<b>Total</b>			<b>\$9.600</b>

### 8.2. Recursos Tecnológicos

**Tabla 8.2:** Recursos Técnicos y Tecnológicos

Recurso	Cantidad	Valor Unitario	Subtotal
Mendeley	1	\$0	\$0
Computadora	1	\$1.400	\$1.400
Gestor de Versiones	1	\$0	\$0
<b>Total</b>			<b>\$1.400</b>

## 8.3. Recursos Materiales

**Tabla 8.3:** Recursos Materiales

Material	Cantidad	Valor Unitario	Subtotal
Resma de Papel	1	\$5	\$5
Esferos	5	\$0,50	\$2,5
Utensilios de oficina	5	\$1	\$5
Empastado	1	\$30	\$30
<b>Total</b>			<b>\$42,5</b>

## 8.4. Servicios

**Tabla 8.4:** Servicios

Servicio	Meses	Valor/Mes	Subtotal
Internet Fijo	5	\$40	\$200
Internet Móvil	5	\$10	\$50
Transporte	5	\$20	\$100
Impresión	5	\$30	\$150
<b>Total</b>			<b>\$500</b>

## 8.5. Presupuesto General

**Tabla 8.5:** Presupuesto General

Recurso/Servicio	Costo
Recursos Humanos	\$9.600
Recursos Técnicos/Tecnológicos	\$1.400
Recursos Materiales	\$42,5
Servicios	\$500
Subtotal	\$11.542,50
Imprevistos 5% (Subtotal)	\$577,12
<b>Total</b>	<b>\$12.119,62</b>

Para el desarrollo del presente "Proyecto de Trabajo de Titulación (PTT)", se estima el costo de **\$12.119,62**. En el presupuesto se estima un valor de 10% del subtotal para gastos imprevistos, de esta manera se aclara que los gastos presupuestados corren por parte del tesista, además se aclara que los gastos que demanda el director y el docente responsable del PTT, los asume la institución en tal caso la Universidad Nacional de Loja.

---



# Bibliografía

- [1] T. Jami and J. Carlos, “Desarrollo de un método para la clasificación automatizada de imágenes landsat 8 mediante redes neuronales artificiales,” 2018.
- [2] K. Petro, “Bandas del landsat 8: Funcionamiento y combinaciones,” *Earth Observing System*, 6 2021.
- [3] A. Ariza and E. Posada, “Descripción y corrección de productos landsat 8 ldcm (landsat data continuity mission) versión 1.0,” p. 47, 04 2018.
- [4] F. Cristina, F. Teresa, and V. José, “Cumulative effects of salvage logging and slash removal on erosion, soil functioning indicators and vegetation in a severely burned area in nw spain,” *Geoderma*, vol. 393, p. 115004, 2021.
- [5] J. Ibujés Villacís and A. Franco Crespo, “Objetivos y metas de desarrollo sostenible - desarrollo sostenible,” 2021.
- [6] M. Adriel, “Desertificación, sequía y degradación del suelo,” *Universidad de Belgrano - Facultad de Derecho y Ciencias Sociales - Abogacía esES*, 2021.
- [7] S. Kripal and K. Tewari Shri, “Land degradation neutrality | unccd,” *ONU*, 2021.
- [8] A. Andreu, E. Carpintero, and M. González, “¿qué es la teledetección?,” *Centro Nacional de Información Geográfica*, p. 6, 2018.
- [9] O. Bustos, “Introducción a los procesos markovianos en el análisis y procesamiento de imágenes,” 08 2022.
- [10] A. Soufiane Abdelaziz and A. V. Pantaleoni, “Técnicas de detección de cambios mediante teledetección para el desarrollo sostenible y la desertificación,” *Universitat Politècnica de València*, 3 2019.
- [11] K. Petro, “Teledetección: Tipos y aplicaciones de los sensores remotos,” *Earth Observing System*, 2021.
- [12] C. Gonzaga Aguilar, “Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales landsat 7 etm+ y aster para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de loja, ecuador,” 2019.

- 
- [13] K. Petro, "El satélite landsat 8: Imágenes, descripción y características," *Earth Observing System - Landsat 8*, 2 2018.
- [14] C. Neigh, "Landsat 8 | landsat science," *Landsat 8 Ciencia*, 2018.
- [15] L. Isis Gómez, "Técnicas de clasificación de imágenes en la teledetección," *Teledetección*, 7 2020.
- [16] M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, and X. Zheng, "Tensorflow : Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems," 01 2018.
- [17] M. Navin Kumar, *Understanding and working with Keras*. Springer, 2018.
- [18] J. Villa Lopez, "Estudio comparativo sobre las metodologías open up y xp como modelos ágiles para el desarrollo de software,"
- [19] H. Carrillo Cruz, "El control y detección de incendios forestales para las fuerzas militares y organismos de gestión de riesgos en el ecuador, apoyado en la visión artificial," *Revista de la Academia de Guerra del Ejército Ecuatoriano*, vol. 11, no. 1, pp. 5–5, 2018.
- [20] L. Nieto González José, "Detección de incendios mediante identificación de humo con visión artificial en condiciones de iluminación variable," 2018.
- [21] C. Tumba Jurek and M. Tumba Víctor, "Agente de visión artificial para la detección de fuego dentro de un establecimiento cerrado de la ciudad de trujillo," 2019.
- [22] F. Gómez Rodríguez and B. Arrue, "Sistema de detección visual de columnas de humo," *Sea*, vol. 2, no. 1, p. 4, 2019.
- [23] J. Bladimir Zhiminaicela, J. Quevedo Guerrero, M. León Salto, and C. Mora Encalada, "Algoritmo semiautomático para mapear incendios forestales y estimar la recuperación vegetal mediante imágenes landsat-8: Semi-automatic algorithm to map forest fires and estimate vegetation recovery using landsat-8 images," *Revista Tecnológica-ESPOL*, vol. 32, no. 2, pp. 35–42, 2020.
- [24] I. Soukaina, "Análisis de incendios forestales a partir de imágenes sentinel en las palmas de gran canaria en agosto de 2019," 2021.
- [25] A. Cirugeda Pablos, "Entrenamiento de drones para la monitorización de incendios mediante aprendizaje por refuerzo," B.S. thesis, 2021.
- [26] J. Ferrándiz San José, "Enjambres de drones aplicados al mapeo de áreas rurales y la prevención de incendios," B.S. thesis, 2021.
-

- 
- [27] K. Luzuriaga Abad, “Automatización de procesamiento de imágenes satelitales para delimitación de incendios forestales,” B.S. thesis, 2021.
- [28] B. Yarupaita Echevarria, “Modelación espacial de la susceptibilidad a incendios forestales en la región junín utilizando el algoritmo random forest,” 2021.
-

# Lista de Acrónimos y Abreviaturas

<b>CIS</b>	Carrera de Ingenieria en Sistemas.
<b>LDCM</b>	Landsat Data Continuity Mission.
<b>ODS</b>	Objetivos Desarrollo Sostenibles.
<b>OLI</b>	Operational Land Imager.
<b>ONU</b>	Organización de Naciones Unidas.
<b>PTT</b>	Proyecto Trabajo de Titulacion.
<b>TIRS</b>	Thermal Infrared Sensor.
<b>TT</b>	Trabajo de Titulación.
<b>UNL</b>	Universidad Nacional de Loja.
<b>XP</b>	Extreme Programming.

## A. Anexo I

### A.1. Entrevista Propuesta al Experto

Entrevistadores	Ángel Steven Martínez Chamba
Entrevistado	
Cargo del entrevistado	
Fecha de entrevista	
Hora de entrevista:	
Canal de Comunicación	

1. ¿Es la desertificación del suelo en la provincia de Loja es uno de los mayores problemas en la actualidad?
2. ¿Qué es la desertificación del suelo?
3. ¿Cuáles son las causas de la desertificación del suelo, en la provincia de Loja?
4. ¿Cuáles son las consecuencias de la desertificación del suelo?
5. ¿Qué relación existe entre la desertificación, deforestación y escasez de agua?
6. ¿Qué función cumple el cambio climático en el proceso de desertificación?
7. ¿Es un factor determinante la desertificación del suelo o tiene mayor peso la actividad humana?
8. ¿Cuáles suelen ser las causas más habituales de la desertificación del suelo?

9. ¿Qué características presenta un terreno desertificado?
10. ¿Cómo se identifica la desertificación del suelo?
11. ¿Cómo se produce el proceso de desertificación? ¿Puede llevar muchos años o, por el contrario, avanza rápido?
12. ¿Qué consecuencias puede tener la desertificación, tanto a nivel ecológico como socioeconómico?
13. ¿Considera usted que la detección temprana de la desertificación del suelo, ayude en la toma de decisiones sobre el manejo del área detectada?
14. ¿Cree usted que una solución por computadora facilite la detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja, mediante el uso de imágenes satelitales?
15. ¿Cree usted que una solución por computadora, optimice el tiempo de detección de manera tradicional por medio de la comparación de imágenes satelitales en periodos de tiempo determinados?
16. ¿Tiene usted alguna sugerencia o recomendación a fin de detectar la desertificación del suelo en la provincia de Loja?

Nombre	Cargo	Firma

## **B. Anexo II**

### **B.1. Resultado: Entrevista Experto**



Universidad  
Nacional  
**de Loja**

---

## UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no  
Renovables

# Planificación de Instrumentos para la Problemática

Angel Steven Martinez Chamba  
angel.martinez@unl.edu.ec

Loja, Ecuador  
30 de agosto de 2022



# 1. Instrumentos

## 1.1. Entrevista Experto

Entrevistadores	Ángel Steven Martínez Chamba
Entrevistado	Jessica Alexandra Armijos A.
Cargo del entrevistado	Ingeniera Geologa
Fecha de entrevista	08/07/2022
Canal de Comunicación	Zoom

1. **¿Es la desertificación del suelo en la provincia de Loja es uno de los mayores problemas en la actualidad?**

Si, ya que esta degradación del suelo afecta a grandes áreas, por lo que a nivel socio ambiental y socioeconómico conlleva a pérdidas de gran magnitud y avanza, aunque de manera lenta, pero considerablemente abarca grandes zonas.

2. **¿Qué es la desertificación del suelo?**

La desertificación es la degradación del suelo por factores climáticos o antrópicos, el cual da como resultado en la mayoría de los casos la infertilidad del suelo.

3. **¿Cuáles son las causas de la desertificación del suelo, en la provincia de Loja?**

Principalmente, se da por dos causas como se lo menciono anteriormente. El factor climático como la lluvia poco constante o los climas semiáridos y el calentamiento global, mientras que dentro de lo antrópico se destacan los incendios forestales, deforestación sobrepastoreo, actividad minera, erosión del suelo y la sobreexplotación de la tierra o la explotación excesiva de los recursos vegetales.

4. **¿Cuáles son las consecuencias de la desertificación del suelo?**

Existen varias consecuencias por la desertificación como la alteración de los recursos naturales, destacando así la escasez o ausencia del agua, la disminución de la producción agrícola, lo que conlleva a una amplia inseguridad alimentaria por la notable disminución de cultivos debido al agotamiento de nutrientes de la tierra; migración de la población hacia zonas fértiles y productivas.

5. **¿Qué relación existe entre la desertificación, deforestación y escasez de agua?**

Estas tres palabras están estrechamente relacionadas, ya que al producirse una sobreexplotación de la madera se produce la deforestación, la cual puede ser masiva, lo con el tiempo sin una adecuada reforestación se pierde la cobertura vegetal, lo que conlleva a la desertificación del suelo provocando daños graves al mismo el cual da como una de las consecuencias la disminución del recurso agua en zonas que se han visto afectadas por lo ya mencionado.

**6. ¿Qué función cumple el cambio climático en el proceso de desertificación?**

El cambio climático agudiza la desertificación debido a los cambios de temperatura y la radiación solar que en los últimos tiempos se ha alterado notablemente, así mismo los vientos y las precipitaciones que producen la erosión del suelo, la disminución de la cobertura vegetal, haciéndolo más propenso a que pequeñas zonas se desertifiquen y en conjunto se manifieste en aumento en conjunto con otros factores.

**7. ¿Es un factor determinante la desertificación del suelo o tiene mayor peso la actividad humana?**

El factor antrópico tiene mayor peso, ya que si no hubiera la deforestación, la explotación de recursos, el daño hacia el suelo agrícola, los incendios forestales, el suelo no se vería con gran afectación, ya que esto acelera el proceso no solo a nivel local sino de forma masiva en todo el mundo.

**8. ¿Cuáles suelen ser las causas más habituales de la desertificación del suelo?**

Las causas más habituales de la desertificación en zonas cercanas a centros poblados es la deforestación para la extracción de la madera a gran escala, el mal manejo de una adecuada remediación ambiental posterior a actividades mineras, el pastoreo y la explotación de la tierra, ya que no se la trata adecuadamente para que se evite la pérdida de nutrientes; mientras que en zonas donde hay ausencia del ser humano la causa más común es lo ambiental como la disminución de las precipitaciones y las variadas temperaturas en zonas semiáridas o áridas.

**9. ¿Qué características presenta un terreno desertificado?**

La principal característica de un terreno desertificado es la ausencia de la cobertura vegetal, ya sea por algunas de las causas mencionadas anteriormente, así mismo se puede observar grietas en el mismo, ausencia de agua y erosión in situ.

10. **¿Cómo se identifica la desertificación del suelo?**  
Para realizar una correcta identificación de la desertificación se debe realizar pruebas y análisis que indiquen el nivel de nutrientes y fertilidad del suelo, indicando a que nivel de desertificación se ha llegado y si es posible de esta manera invertir la erosión y recuperarlo.
11. **¿Cómo se produce el proceso de desertificación? ¿Puede llevar muchos años o, por el contrario, avanza rápido?**  
Es un proceso complejo. Si cumple con todos los factores necesarios, tanto climáticos como antrópicos puede llevar muy poco tiempo, pero, por el contrario, si solo cuenta con pocos factores, este proceso puede tardar muchos años y con una detección temprana puede remediarse y detener la erosión del suelo haciendo que este recupere sus nutrientes.
12. **¿Qué consecuencias puede tener la desertificación, tanto a nivel ecológico como socioeconómico?**  
A nivel ecológico las principales consecuencias son la degradación del ecosistema, disminución de los recursos naturales como la escasez del agua, así como el aumento del calentamiento global; mientras que a nivel socioeconómico se destaca la migración de comunidades hacia tierras fértiles, escasez de alimentos por ausencia de cultivos, limitaciones hacia el acceso del agua como recurso natural, disminución de fuentes de trabajo conllevando a desempleos, desnutrición y pobreza.
13. **¿Considera usted que la detección temprana de la desertificación del suelo, ayude en la toma de decisiones sobre el manejo del área detectada?**  
Si ya que al detectar a tiempo este problema se puede implementar planes de contingencia para frenar este proceso como reforestar el área afectada, realizar remediaciones ambientales en todas las zonas para que se pueda recuperar el suelo fértil y no haya disminución de los recursos naturales.
14. **¿Cree usted que una solución por computadora, facilite la detección de la desertificación del suelo en la provincia de Loja, mediante el uso de imágenes satelitales?**  
Si, ya que una solución informática puede, agilizar el trabajo en zonas amplias como lo es la provincia de Loja.
15. **¿Cree usted que una solución por computadora, optimice el tiempo de detección de manera tradicional por medio de la comparación de imágenes satelitales en periodos de tiempo**

**determinados?**

Si, ya que al comparar imágenes satelitales en dos periodos (pasado - presente), se puede evidenciar el deterioro del suelo y cuanto este a sido afectado por la presencia de la desertificación, lo cual conlleva a una optimización del tiempo empleado de manera tradicional en la detección de la desertificación.

**16. ¿Tiene usted alguna sugerencia o recomendación a fin de detectar la desertificación del suelo en la provincia de Loja?**

Mi sugerencia para una detección temprana es realizar una investigación de zonas que sean sometidas a pastoreo continuo, cultivos en toda época del año, zonas con sequías prolongadas y altas temperaturas y lugares donde se realice o se haya realizado una extracción minera tanto metálica como no metálica y verificar si ha existido una correcta remediación del mismo al finalizar cada etapa. Esta investigación y recolección, información, sería más eficiente al realizar recorridos personales a estos sectores, como el análisis de imágenes satelitales antiguas y recientes para su posterior comparación.