



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ciencias y Sistemas

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LAS  
DIFERENCIAS DE PRECISIÓN Y TIEMPO DE PROCESAMIENTO ENTRE LOS  
ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES DE LAS PRINCIPALES  
PLATAFORMAS DE SERVICIOS EN LA NUBE**

**Nelson Jair González Pérez**

Asesorado por el Ing. Eduardo Esteban Barrios Leal

Guatemala, febrero de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LAS  
DIFERENCIAS DE PRECISIÓN Y TIEMPO DE PROCESAMIENTO ENTRE LOS  
ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES DE LAS PRINCIPALES  
PLATAFORMAS DE SERVICIOS EN LA NUBE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**NELSON JAIR GONZÁLEZ PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. EDUARDO ESTEBAN BARRIOS LEAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Marlon Francisco Orellana López
EXAMINADOR	Ing. Nefalí de Jesús Calderón Méndez
EXAMINADOR	Ing. Gabriel Alejandro Díaz López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LAS  
DIFERENCIAS DE PRECISIÓN Y TIEMPO DE PROCESAMIENTO ENTRE LOS  
ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES DE LAS PRINCIPALES  
PLATAFORMAS DE SERVICIOS EN LA NUBE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado, con fecha de 25 de septiembre de 2022.

**Nelson Jair González Pérez**







**EEPFI-PP-1813-2022**

Guatemala, 10 de noviembre de 2022

**Director**  
**Carlos Gustavo Alonzo**  
**Escuela De Ingenieria En Sistemas**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Alonzo**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE PRECISIÓN Y TIEMPO DE PROCESAMIENTO ENTRE LOS ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES DE LAS PRINCIPALES PLATAFORMAS DE SERVICIOS EN LA NUBE**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Diseño y análisis de experimentos**, presentado por el estudiante **Nelson Jair González Pérez** carné número **200412956**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Estadística Aplicada.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

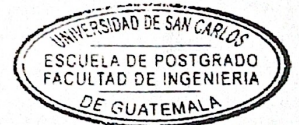
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Eduardo Esteban Barrios Leal**  
Ingeniero en Sistemas de Información  
y Ciencias de la Computación  
Colegiado No. 19662

Mtro. Eduardo Esteban Barrios Leal  
Asesor(a)

Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP-EICS-1463-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria En Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE PRECISIÓN Y TIEMPO DE PROCESAMIENTO ENTRE LOS ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES DE LAS PRINCIPALES PLATAFORMAS DE SERVICIOS EN LA NUBE**, presentado por el estudiante universitario **Nelson Jair González Pérez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Gustavo Alonzo  
Director  
Escuela De Ingenieria En Sistemas

Guatemala, noviembre de 2022



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.169.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LAS DIFERENCIAS DE PRECISIÓN Y TIEMPO DE PROCESAMIENTO ENTRE LOS ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES DE LAS PRINCIPALES PLATAFORMAS DE SERVICIOS EN LA NUBE**, presentado por: **Nelson Jair González Pérez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1. Contexto general .....	9
3.2. Descripción del problema .....	10
3.3. Formulación del problema .....	10
3.4. Delimitación del problema .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1. General .....	15
5.2. Específicos .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Estadística .....	19

7.2.	Pruebas de normalidad .....	27
7.3.	Prueba de Kruskal Wallis . .....	28
7.4.	Pruebas post hoc para ANOVA.. .....	29
7.5.	Pruebas post hoc para Kruskal-Wallis .....	31
7.6.	Reconocimiento de imágenes mediante inteligencia artificial .....	32
7.7.	Algoritmos de reconocimiento de imágenes de las principales plataformas de servicios en la nube .....	33
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	39
9.	METODOLOGÍA.....	41
9.1.	Características del estudios .....	41
9.2.	Unidades de análisis.....	41
9.3.	Operativización de variables .....	42
9.4.	Fases del estudio .....	42
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	49
11.	CRONOGRAMA .....	51
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	53
13.	REFERENCIAS .....	57
14.	APÉNDICE.....	61

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Gráfico Q-Q .....	27
2.	Etiquetado de imágenes en Google API Vision .....	34
3.	Etiquetado de imágenes en Amazon Rekognition .....	36
4.	Ejemplo de etiquetado de características en Azure .....	37
5.	Flujograma del proceso de investigación .....	44

### TABLAS

I.	Planteamiento de un análisis de varianza de un factor .....	24
II.	Análisis de varianza .....	25
III.	Variables del estudio .....	42
IV.	Evaluación de la normalidad de los datos obtenidos .....	45
V.	Aplicación del análisis de varianza para la precisión .....	45
VI.	Aplicación del análisis de varianza para el tiempo de procesamiento ...	46
VII.	Aplicación del análisis de varianza para el tipo de imagen .....	46
VIII.	Cronograma .....	51
IX.	Presupuesto .....	54



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
%	Porcentaje
Q	Quetzal (moneda guatemalteca)





## GLOSARIO

<b>Algoritmo</b>	Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.
<b>API</b>	Interfaz de programación de aplicaciones.
<b>Biblioteca</b>	Pieza de software programada para resolver un problema específico.
<b>Nube</b>	Espacio de almacenamiento y procesamiento de datos y archivos ubicado en Internet, al que puede acceder el usuario desde cualquier dispositivo.
<b>OCR</b>	Reconocimiento óptico de caracteres.
<b>REST</b>	Es un estilo de arquitectura software para sistemas hipermedia distribuidos.
<b>Software</b>	Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.



## RESUMEN

En esta investigación se estudia el tema: *Diseño experimental aplicado a la estimación de las diferencias de precisión y tiempo de procesamiento entre los algoritmos de reconocimiento de imágenes de las principales plataformas de servicios en la nube*. Se introduce el trabajo y se presentan los antecedentes, después se ahonda en lo relacionado con el planteamiento del problema y la justificación. Posteriormente se presentan los objetivos y se comentan también las necesidades a cubrir.

En el capítulo 7 se expone marco teórico, con los conceptos básicos sobre el tema abordado. Después de este marco, se presenta el índice de contenidos, la metodología y las técnicas de análisis de la información recabada, considerando, además, el cronograma y los detalles que hacen factible el proyecto. Por último, se enumeran las referencias utilizadas.



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en una sistematización del proceso estadístico de comparación de las métricas producidas por los algoritmos de procesamiento pictórico obtenidas de las principales plataformas en la nube (Amazon Web Services, Google Cloud Platform y Microsoft Azure), para evaluar sus diferencias en cuanto a precisión de los resultados y tiempo de procesamiento.

En los últimos años, han surgido múltiples empresas de tecnología en la nube que prestan servicios de análisis de datos mediante inteligencia artificial, entre estos servicios se encuentran los algoritmos de reconocimiento de imágenes. Al existir esta variedad de proveedores, se plantea el problema de seleccionar el más apropiado para un contexto en particular. Por ejemplo, según la naturaleza del proyecto donde se desean implementar estos algoritmos, puede valorarse más la precisión que el tiempo de procesamiento de las imágenes, o viceversa.

Este trabajo es de importancia puesto que la elección de una plataforma que provee algoritmos de análisis pictórico influirá en el rendimiento y funcionalidad de un sistema que implemente el reconocimiento de imágenes en la nube.

En cuanto a la metodología de investigación que se utilizará en este trabajo, se trata de un estudio de tipo experimental que tendrá un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo correlacional.

Este trabajo pretende servir de guía para los arquitectos y desarrolladores de software en el proceso de selección de proveedores de servicios de análisis de imágenes en la nube, para que puedan elegir el servicio más adecuado para un contexto en particular.

Para alcanzar los objetivos propuestos, primero se recabarán los resultados obtenidos al analizar imágenes en las tres principales plataformas de servicios en la nube. Los datos obtenidos de cada plataforma se compararán mediante el análisis de varianza, o su equivalente no paramétrico, para determinar si existe una diferencia significativa en la precisión de los resultados obtenidos a través de cada servicio. Luego, en caso de haber diferencias significativas, se realizarán pruebas *post hoc* para determinar qué plataforma provee los algoritmos de análisis más precisos.

La realización de este estudio es factible porque se cuenta con los recursos humanos, tecnológicos y financieros necesarios para la realización de la investigación. Los costos de la investigación serán cubiertos en su totalidad por el investigador.

Este trabajo será presentado en 4 capítulos, como se detalla a continuación:

- Capítulo I: marco de referencia, donde se incluye la información recabada de estudios previos relacionados con esta investigación.
- Capítulo II: en donde se detallan las bases teóricas de la investigación.

- Capítulo III: presentación de resultados, donde se muestran los resultados obtenidos como producto del análisis estadístico de los datos obtenidos.
- Capítulo IV: discusión de resultados, donde se analizan los resultados estadísticos y sus implicaciones.





## 2. ANTECEDENTES

A continuación, se detallan los estudios que se tomaron como base para el desarrollo de este trabajo:

Zamorano (2018) usó la biblioteca Scikit-learn para aprendizaje de máquina en el lenguaje de programación Python, la cual posee gran cantidad de algoritmos para clasificación y que se comportan de distinta forma, dependiendo de la cantidad y distribución de los datos proporcionados. De estos algoritmos se extrajeron métricas que fueron usadas para llevar a cabo una comparación y un análisis gráfico.

En este trabajo se pueden encontrar comparaciones gráficas de los resultados, sin embargo, hace falta un análisis estadístico de estos. Puede implementarse para la comparación un análisis de varianza.

Fagiani (2018) elaboró un diseño experimental y análisis de varianza para caracterizar el comportamiento de un reactor electrolítico de diseño usual y encontrar las condiciones a las que funciona generando flujos máximos de gases.

Del mismo modo, Carvajal (2018) utilizó el análisis de varianza para comparar los resultados de los estudiantes de diez carreras en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los trabajos de Fagiani y Carvajal resultan de utilidad por la metodología que utilizaron para la realización de los análisis de varianza y pruebas *post hoc*. Por lo tanto, se utilizarán como guía en los análisis de varianza de este trabajo.

Grenz (2019) desarrolló una metodología que permite conocer el grado de confianza y precisión de diferentes plataformas que utilicen los servicios de la nube para la clasificación de emociones en expresiones faciales. Sin embargo, la metodología utilizada por Grenz carece de técnicas estadísticas que permitan analizar las varianzas para cada grupo de resultados. Pudo observarse que el listado de proveedores analizados en dicho trabajo abarca a los proveedores que se analizarán en el presente estudio.

Estudios previos confirman que las principales plataformas de servicios en la nube que ofrecen servicios de análisis de imágenes son, al momento del presente estudio, Amazon Web Services Rekognition, Google Cloud Vision y Azure Compute Vision. Por ejemplo, Jung, An, Kwak, Salminen y Jansen (2018) mencionan cuatro herramientas ampliamente utilizadas para el reconocimiento de rostros, entre las cuales se mencionan Microsoft Azure y AWS Rekognition.

Además, Cota, Gutiérrez, Ortega y Sierra (2020) afirman que “en el caso de las técnicas de reconocimiento de imágenes, existen modelos pre-entrenados que las principales plataformas en la nube nos ofrecen. Algunos ejemplos son AWS Rekognition, Google Cloud Vision API y Azure Computer Vision API” (p. 2).

Del mismo modo, Muhammed y Ucuz (2020) aseveran que Microsoft Azure, Amazon Web Services y Google Cloud son los principales proveedores de servicios de Internet de las cosas.

Con base en los estudios anteriores, para este trabajo de investigación se seleccionaron como objeto de estudio los algoritmos de reconocimiento de imágenes provistos por Amazon, Google y Microsoft en sus plataformas en la nube.

Por otro lado, Balbuena y Jara (2021) compararon los servicios de infraestructura computacional en la nube provistos por Amazon Web Services, Google Cloud Platform e IBM Cloud y, en sus recomendaciones para estudios posteriores, aconsejan realizar estudios comparativos de los servicios que proveen plataformas y software como servicio.

Para el presente estudio, según la recomendación de Balbuena y Jara, se eligió comparar el servicio de software que permite analizar una imagen mediante inteligencia artificial.

En 2017, Heras creó un clasificador de imágenes de frutas basándose en inteligencia artificial. Heras (2017) menciona que las imágenes pueden clasificarse como bitonales, si están compuestas por dos colores; en escala de grises, si están compuestas por una gama de 256 niveles de grises; imágenes a color, si están compuestas de tres matrices monocromáticas (rojo, verde y azul) con 256 niveles de representación.

Para este trabajo de investigación se utilizará la misma clasificación de imágenes utilizada por Heras para analizar las diferencias obtenidas al analizar imágenes según su tipo.

Al analizar las notas estudiantiles de una carrera de ingeniería, Bolaños (2018) verificó que los datos a analizar no eran normales, por tanto, utilizó técnicas de análisis estadístico no paramétricas.

Del mismo modo que hizo Bolaños, en este estudio se verificará la normalidad de los datos obtenidos y, de ser necesario, se utilizarán las técnicas no paramétricas que utilizó Bolaños.

Las fuentes mencionadas anteriormente se utilizarán en este trabajo, en primer lugar, para seleccionar qué proveedores de servicios en la nube son los más utilizados y, por ende, en cuáles enfocar el estudio para abarcar a un mayor número de beneficiarios.

En segundo lugar, se utilizarán las herramientas estadísticas de análisis de varianza y pruebas *post hoc* del mismo modo que las utilizó Fagiani. En caso de que los datos no sean normales se aplicará la metodología utilizada por Bolaños para el análisis estadístico no paramétrico.

Además, como se recomienda en una de las fuentes citadas, el principal objetivo de este trabajo es comparar una parte de los servicios de software provistos por las plataformas en la nube más ampliamente utilizadas.

## **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **3.1. Contexto general**

El reconocimiento de imágenes es un proceso ejecutado por un software de inteligencia artificial capaz de reconocer imágenes utilizando algoritmos matemáticos complejos.

El enorme desarrollo que está viviendo la tecnología asociada a la inteligencia artificial está dando lugar en los últimos tiempos a nuevas herramientas y aplicaciones. Tal es el caso de las herramientas de reconocimiento de imágenes, pues existen muchas herramientas que permiten su implementación en diversos escenarios.

Una de las tareas más complejas a la hora de abordar proyectos que integren técnicas avanzadas de inteligencia artificial es el desarrollo de los modelos y la puesta en producción de estos. En el caso de las técnicas de reconocimiento de imágenes, una alternativa muy interesante es buscar apoyo en los modelos ya entrenados que ofrecen las principales plataformas en la nube.

Los servicios de reconocimiento de imágenes de cada proveedor de servicios en la nube difieren en funcionalidad y características, lo que hace difícil elegir la solución que mejor se adapte al proyecto.

### **3.2. Descripción del problema**

Cada vez que se analiza una imagen a través de un servicio de inteligencia artificial, se obtienen entre los resultados métricas que pueden analizarse estadísticamente. Una de estas métricas es la precisión, la cual representa la probabilidad de que el resultado del análisis sea correcto.

Si se toman las funcionalidades comunes de cada proveedor de servicios de reconocimiento de imágenes y se comparan las métricas de sus resultados, se desconoce si existe una diferencia significativa entre las medias de las precisiones obtenidas. Tampoco se conoce si existen diferencias significativas entre los tiempos de procesamiento de cada algoritmo.

Asimismo, se desconoce si la precisión y el tiempo de procesamiento de cada algoritmo se ve afectado por el tipo de imagen analizada y, de ser así, no se sabe qué plataforma ofrece la menor varianza entre las métricas obtenidas al analizar distintos tipos de imágenes.

### **3.3. Formulación del problema**

- Pregunta central

¿Qué plataforma en la nube ofrece los algoritmos de reconocimiento de imágenes con los resultados más precisos y eficientes entre las más utilizadas?

- Preguntas auxiliares
  - ¿Cuál plataforma en la nube, de entre las más utilizadas, ofrece los algoritmos de reconocimiento de imágenes más precisos?

- Entre los proveedores de servicios en la nube más conocidos, ¿cuál ofrece los algoritmos de reconocimiento de imágenes más eficientes?
- ¿Qué efecto tienen los diferentes tipos de imágenes en la exactitud de los algoritmos para el reconocimiento de las plataformas en la nube más utilizados?

### **3.4. Delimitación del problema**

El problema abarca tres de las principales plataformas en la nube que ofrecen servicios de reconocimiento de imágenes: Google, a través de los servicios de la plataforma Google Cloud Vision; Microsoft Azure, que brinda servicios de inteligencia artificial por medio de su plataforma Azure Cognitive Services; y Amazon, a través de la plataforma de servicios Amazon Rekognition.

Además, entre los servicios provistos por cada plataforma en la nube se seleccionaron las funcionalidades de reconocimiento de imágenes más comunes: identificación de objetos, identificación de rostros y análisis de emociones.





## 4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación del problema planteado es el diseño y análisis de experimentos, pues se requiere la ejecución de pruebas controladas aplicadas al análisis y reconocimiento de imágenes, lo cual es una aplicación de la inteligencia artificial.

Esta investigación es de importancia debido a la dificultad que existe para seleccionar un proveedor de servicios de inteligencia artificial de entre todas las plataformas en la nube existentes.

Además, para el autor de este trabajo, es muy valioso contar con una guía del comportamiento de los algoritmos provistos por los distintos proveedores de tecnologías en la nube, debido a su participación en el desarrollo de proyectos informáticos en los que se implementará el análisis de imágenes.

El aporte principal de esta investigación es proveer una guía de selección de proveedores de servicios de análisis pictórico en la nube. La comparación de las funcionalidades de reconocimiento de imágenes que ofrecen las principales plataformas de nube contribuirá a la tarea de elección del proveedor apropiado al contexto en que se utilice.

De este modo, los arquitectos y los desarrolladores de software contarán con una guía para la selección de proveedores de servicios de reconocimiento de imágenes en la nube, según las funcionalidades que desean implementar en sus proyectos.

En el ambiente laboral, las empresas que deseen incluir procesos de análisis de imágenes podrán acudir a este trabajo para determinar cuál plataforma de servicios en la nube es la más apropiada para utilizar en su contexto y, de este modo, ahorrar recursos en su proceso de desarrollo de software.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar un experimento para la estimación de las diferencias de precisión y tiempos de procesamiento entre los algoritmos de reconocimiento de imágenes de las principales plataformas de servicios en la nube.

### **5.2. Específicos**

1. Estimar, mediante un análisis de varianza, las diferencias entre las medias de la precisión de los algoritmos de reconocimiento de imágenes provistos por las principales plataformas de servicios en la nube, para seleccionar el proveedor más apropiado.
2. Estimar, mediante un análisis de varianza, las diferencias entre las medias de los tiempos de procesamiento de los algoritmos de reconocimiento de imágenes provistos por las principales plataformas de servicios en la nube, para proporcionar una guía de selección del proveedor más adecuado.
3. Diagnosticar el efecto que tiene, sobre la precisión de los distintos algoritmos de reconocimiento pictórico, el tipo de imagen procesada, a través de un análisis de varianza para elegir el proveedor apropiado según el tipo de aplicación donde se desea implementar.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN**

Se pretende cubrir la necesidad de elegir el proveedor del servicio de reconocimiento de imágenes en la nube más adecuado, según el contexto en el que se implemente el servicio.

Se seleccionará un conjunto de imágenes de forma aleatoria y se clasificarán en función del tipo de imagen. Estas imágenes serán analizadas a través de los servicios proporcionados por las plataformas más utilizadas. Se compararán los resultados obtenidos y se evaluarán sus diferencias mediante un análisis de varianza.

Los resultados obtenidos al procesar imágenes a través de los proveedores del servicio de análisis de imágenes contienen métricas que pueden compararse. Estas métricas abarcan la precisión de los resultados y el tiempo utilizado para procesar cada imagen. Se compararán estos resultados según los tipos de imágenes, las cuales serán clasificadas según ciertas características, por ejemplo, el color (blanco y negro o color).

Luego de la recolección de datos, a través de la ejecución del experimento, se procederá a evaluar la normalidad de los resultados mediante el gráfico Q-Q y la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Si se observa que existe normalidad en los resultados de precisión obtenidos del análisis de cada imagen, se evaluará si existe alguna relación entre la precisión de los resultados del análisis pictórico y la plataforma utilizada, a través de un análisis de varianza de tres factores en que cada nivel

corresponderá a un proveedor del servicio de análisis de imágenes en la nube, y cada observación corresponderá a la métrica de precisión obtenida en los resultados del análisis de cada imagen.

Si, por medio del análisis de varianza, se concluye que existe diferencia entre las medias de precisión, se aplicará la prueba Tukey como prueba *post hoc* para diagnosticar cuál proveedor da los resultados más precisos.

Por lo contrario, si se concluye que los resultados no son paramétricos, se ejecutará una prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medianas de los diferentes grupos. Estos grupos corresponden a cada proveedor y cada observación corresponderá a la métrica de precisión obtenida en los resultados del análisis de cada imagen.

Si se hallaran diferencias en las medianas a través de la prueba de Kruskal-Wallis, se procederá a aplicar la prueba de Nemenyi para evaluar cuál proveedor da resultados con mayor precisión.

Del mismo modo que con la precisión, se aplicarán las mismas pruebas para el tiempo de procesamiento de cada algoritmo, con el fin de hallar con cuál proveedor se obtienen resultados de forma más rápida.

Finalmente, para evaluar si el tipo de imagen analizada afecta el tiempo o la precisión de los resultados, se formarán grupos de imágenes clasificadas según cierta característica, como, por ejemplo, el color, y se aplicarán las mismas pruebas de varianza en cada grupo.

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Estadística

Sobre el concepto de estadística, Salazar y Del Castillo (2018) afirman que “es la ciencia que se encarga de la recolección, ordenamiento, representación, análisis e interpretación de datos generados en una investigación sobre hechos, individuos o grupos de los mismos, para deducir de ello conclusiones precisas o estimaciones futuras” (p. 13).

Según Samuels, Witmer y Schaffner (2012): “estadística es la ciencia de la interpretación de los datos y de la toma de decisiones en entornos de variabilidad e incertidumbre” (p. 1). Además, Samuels *et al.* (2012) mencionan que “los métodos estadísticos se utilizan para analizar los datos y extraer la máxima información, identificando además la fiabilidad de dicha información” (p.1).

Mendenhall, Beaver y Beaver (2010) aseveran que “la estadística es una rama de las matemáticas (...) una poderosa herramienta para el análisis de datos en numerosos campos de aplicación diferentes” (p. 3).

La estadística puede subdividirse, según sus técnicas, en dos grandes áreas: la estadística descriptiva y la estadística inferencial.



- Estadística descriptiva

Según Ross (2014): “la parte de la estadística relacionada con la descripción y la clasificación de los datos se conoce con el nombre de estadística descriptiva”.

Además, Mendenhall *et al.* (2010) afirman que “la rama de la estadística que presenta técnicas para describir conjuntos de mediciones se denomina estadística descriptiva” (p. 4).

Walpole *et al.* (2012), hablando sobre el concepto de estadística descriptiva, mencionan que, a veces, “sólo se desea obtener una clase de resumen de un conjunto de datos representados en la muestra” (p. 3). Este conjunto de datos incluye información del punto medio de los datos, cómo varían y la forma en que se distribuyen (Walpole, 2012).

Con respecto a estos datos, Samuels *et al.* (2012) indican que “generalmente, los estadísticos descriptivos de una muestra se calculan para proporcionar información sobre una población de interés” (p. 39).

Las medidas de tendencia central más utilizadas son la media y la mediana (Samuels *et al.*, 2012).

- Estadística inferencial

Según Mendenhall *et al.* (2010): “la estadística inferencial está formada por procedimientos empleados para hacer inferencias acerca de características poblacionales, a partir de información contenida en una muestra sacada de esta población” (p. 4).

La estadística inferencial abarca un conjunto de procedimientos que se utilizan para llegar a conclusiones tomando en cuenta la incertidumbre y la posible variabilidad de los datos (Walpole, 2012).

“El objetivo de la estadística inferencial es hacer inferencias (es decir, sacar conclusiones, hacer predicciones, tomar decisiones) acerca de las características de una población a partir de información contenida en una muestra” (Mendenhall *et al.*, 2010, p. 4).

- Diseño de experimentos

Un experimento se refiere a:

Un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. (Fleiss, 2013; O'Brien, 2009 y Green, 2003, como se citó en Hernández *et al.*, 2014, p. 129)

Se realiza un experimento cuando se desea verificar que, al modificar deliberadamente el valor de un conjunto de variables independientes, las cuales se consideran la causa, se tiene un efecto en un conjunto de variables dependientes. Para obtener la evidencia de la relación causal, el investigador manipula las variables independientes y observa si las dependientes se ven afectadas (Hernández *et al.*, 2014).

- Requisitos que debe cumplir un experimento

Para que un experimento sea válido, debe medirse el efecto que tienen en las variables dependientes las variaciones de las variables independientes. Las mediciones que se realizan en la variable dependiente deben ser confiables, válidas y adecuadas al contexto (Hernández *et al.*, 2014).

Asimismo, si se desea llevar a cabo un experimento es indispensable que exista control sobre las condiciones de este. Se debe poder garantizar que los efectos en las variables dependientes sean causados por las variables independientes sin interferencia de otras posibles causas (Hernández *et al.*, 2014).

- Definiciones

A continuación, se presentan varias definiciones importantes:

- Unidad experimental

Mendenhall *et al.* (2010) afirman que “una unidad experimental es el objeto en el que se toma una medición (o mediciones)” (p. 448).

- Factor

Según Mendenhall *et al.* (2010), “un factor es una variable independiente cuyos valores son controlados y variados por el experimentador” (p. 448).

- Nivel

Mendenhall *et al.* (2010) definen un nivel como “el escenario de intensidad de un factor” (p. 448).

- Tratamiento

La definición que dan Mendenhall *et al.* (2010) del tratamiento es “una combinación específica de niveles de factor” (p. 448).

- Respuesta

Mendenhall *et al.* (2010) afirman que “la respuesta es la variable que es medida por el experimentador” (p. 448).

- Análisis de varianza

Un procedimiento común cuando se desean probar hipótesis de  $k$  medias que provienen de  $k$  poblaciones se denomina análisis de varianza (ANOVA) (Walpole, 2012).

Mendenhall *et al.* (2010) mencionan al respecto que “en un análisis de varianza, se divide la variación total de las mediciones de respuesta en partes que pueden ser atribuidas a varios factores de interés para el experimentador” (p. 449).

- Análisis de varianza de un factor

Se seleccionan de k poblaciones k muestras aleatorias de tamaño n, y estas muestras se clasifican según un criterio específico. Se supone que las k poblaciones son independientes y se distribuyen según la normal con medias y varianzas conocidas e iguales. Si se cumplen estas suposiciones, la hipótesis nula a verificar es que las k medias son iguales, mientras que la hipótesis alterna afirma que al menos una media es diferente (Walpole, 2012).

Si se tienen  $\alpha$  niveles, los datos pueden disponerse como se muestra a continuación:

Tabla I. **Planteamiento de un análisis de varianza de un factor**

TRATAMIENTO	OBSERVACIONES						TOTALES	PROMEDIOS
Nivel 1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	...	$y_{1n}$	$y_{1 \cdot}$	$\bar{y}_{1 \cdot}$
Nivel 2	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$	...	$y_{2n}$	$y_{2 \cdot}$	$\bar{y}_{2 \cdot}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Nivel $\alpha$	$y_{\alpha 1}$	$y_{\alpha 2}$	$y_{\alpha 3}$	$y_{\alpha 4}$	...	$y_{\alpha n}$	$y_{\alpha \cdot}$	$\bar{y}_{\alpha \cdot}$
							$y_{\cdot \cdot}$	$\bar{y}_{\cdot \cdot}$

Fuente: Fagiani (2018). *Diseño experimental y análisis de varianza aplicados a la producción de hidrógeno y oxígeno de un reactor electrolítico, modificando temperatura y composición química, para estimar sus condiciones óptimas de funcionamiento.*

Donde:

$$y_{i \cdot} = \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad \bar{y}_{i \cdot} = \frac{y_{i \cdot}}{n} \quad i = 1, 2, 3, \dots, \alpha \quad (\text{Ec. 01})$$

$$y_{\cdot \cdot} = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad \bar{y}_{\cdot \cdot} = \frac{y_{\cdot \cdot}}{N} \quad N = \alpha \cdot n \quad (\text{Ec. 02})$$

Según Fagiani (2018): “el objetivo es conocer si la variación deliberada del factor posee un efecto significativo sobre la variable respuesta, o su distribución es solo causada por los factores no controlados y el azar” (p. 32).

Como indica Fagiani (2018), en el análisis de varianza de un factor se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_\alpha$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para al menos un par } (i, j)$$

Esto puede interpretarse como la verificación de si al menos un par de promedios de diferente nivel son distintos.

Los cálculos del análisis de varianza suelen ser presentados como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II. **Análisis de varianza**

<b>Fuente</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Estadístico F</b>
Tratamientos	$k - 1$	SSA	$S_1 = \frac{SSA}{k - 1}$	$F = \frac{S_1}{S_2}$
Error	$n(k - 1)$	SSE	$S_2 = \frac{SSE}{nk - k}$	
Total	$nk - 1$	SST		

Fuente: Bolaños (2018). *Análisis estadístico del rendimiento académico en los cursos profesionales de los estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años 2010 A 2015.*

Donde:

La suma de cuadrados total se define por la siguiente ecuación:

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{T^2_{..}}{nk} \quad (\text{Ec. 03})$$

La suma de cuadrados de los tratamientos es:

$$SSA = \frac{\sum_{i=1}^n T_i^2}{n} - \frac{T^2_{..}}{nk} \quad (\text{Ec. 04})$$

La suma de los cuadrados del error es:

$$SSE = SST - SSA \quad (\text{Ec. 05})$$

$k$  es la cantidad de muestras.

$T_i$  es la suma de las observaciones de la  $i$ -ésima muestra.

$T_{..}$  es la suma de todas las observaciones.

$n$  es el tamaño de cada una de las muestras.

$N$  es la cantidad total de datos, si las muestras son iguales.

“La hipótesis nula  $H_0$  es rechazada a un nivel determinado de confianza si el valor calculado de  $F$  es mayor que el valor especificado por la tabla” (Bolaños, 2018, p.10).

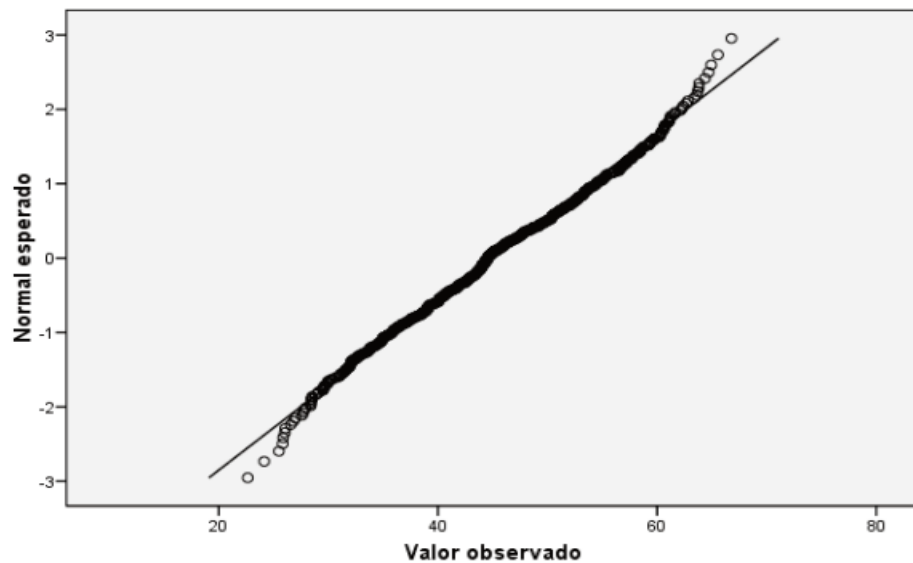
## 7.2. Pruebas de normalidad

A continuación, se explica cada prueba:

- Prueba del gráfico Q-Q

Es un método gráfico que permite diagnosticar diferencias entre la distribución de probabilidad de una población y otra distribución utilizada para la comparación.

Figura 1. **Gráfico Q-Q**



Fuente: Romero (2016). *Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal.*

- Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba de normalidad se basa en las diferencias en las frecuencias relativas acumuladas de una distribución teórica dada, la cual puede ser la



distribución normal, y las frecuencias acumuladas obtenidas de una muestra (Siegel y Castellan, 1995, como se citó en Carvajal, 2018, p. 130).

El procedimiento de la prueba es el siguiente: se determina la diferencia entre las frecuencias relativas acumuladas teóricas esperadas y las frecuencias relativas acumuladas observadas en valor absoluto, se escoge la mayor de dichas diferencias y se compara con un valor teórico de referencia. (Carvajal, 2018, p.130)

Las diferencias se expresan con la siguiente ecuación para el estadístico D:

$$D = \max |F_0(x_i) - S_N(x_i)| \quad i = 0,1,2 \dots, N \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde:

$F_0(x_i)$  es la frecuencia teórica esperada y  $S_N(x_i)$  es la frecuencia observada en la muestra de tamaño  $N$ .

Indica Bolaños (2018): “la hipótesis nula  $H_0$  en esta prueba consiste en el supuesto de que la muestra ha sido extraída de la distribución teórica especificada” (p. 53), en este caso la distribución normal.

La hipótesis nula se rechaza cuando el valor  $D$  obtenido supera el valor especificado en la tabla de referencia para la prueba (Bolaños, 2018).

### **7.3. Prueba de Kruskal-Wallis**

Con respecto a esta prueba no paramétrica, Quispe señala lo siguiente:

Es un estadístico no paramétrico para probar si un grupo de datos proviene de la misma población. Se utiliza para varias muestras independientes, es idéntico al ANOVA con los datos reemplazados por categorías. Es una extensión de la prueba de la U de Mann-Whitney para 3 o más grupos, la prueba de Kruskal-Wallis no asume la normalidad en los datos, en oposición al tradicional ANOVA. (Quispe, 2019, p. 28)

La fórmula para el estadístico de Kruskal-Wallis es:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (\text{Ec. 07})$$

Donde:

$N$  es la cantidad total de observaciones.

$n_i$  es el número de observaciones en la  $i$ -ésima muestra.

$R_i$  es la suma de los rangos de la  $i$ -ésima muestra.

Las hipótesis que se plantean para las medianas en esta prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_\alpha$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para al menos un par } (i, j)$$

#### **7.4. Pruebas *post hoc* para ANOVA**

Se describen a continuación:

- Prueba de Tukey

Esta prueba se utiliza para comparar pares de medias para hallar sus diferencias. “El método se basa en la distribución del rango estudentizado. El punto apropiado del percentil es una función de  $\alpha$ ,  $k$  y  $\nu =$  grados de libertad para  $s^2$ ” (Walpole *et al.*, 2012, como se citó en Carvajal, 2018, p. 25).

En la prueba de Tukey se compara el valor absoluto de cada diferencia entre pares de medias con el criterio de Tukey (Carvajal, 2018). Este criterio se calcula como se muestra a continuación:

$$T = q_{\alpha, n-c} \sqrt{\frac{CME}{r}} \quad (\text{Ec. 08})$$

Donde:

$q_{\alpha, n-c}$  es el valor del criterio de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha$  y  $n - c$  grados de libertad.

$CME$  es el error cuadrático medio.

$r$  es el número de observaciones por cada tratamiento.

Si el valor absoluto de las diferencias obtenidas con la prueba de Tukey es mayor que el criterio de Tukey, entonces la medias son distintas. De lo contrario, se acepta la hipótesis de que las medias son iguales (Carvajal, 2018).

- Prueba de Duncan

Es una prueba similar a la prueba de Tukey pero, en vez de comparar un solo valor se incluyen varios rangos (Carvajal, 2018).

Los rangos de comparación de Duncan se calculan a partir de la siguiente ecuación:

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{CME}{n}} \quad (\text{Ec. 09})$$

Donde:

$r_p$  es el valor del criterio de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha$  y  $n - c$  grados de libertad.

$CME$  es el error cuadrático medio.

$n$  es el número de observaciones por cada tratamiento.

De forma parecida a la prueba de Tukey, si las diferencias de medias son mayores que el rango de Duncan calculado, las medias son distintas. De lo contrario se concluye que las medias son iguales (Carvajal, 2018).

## **7.5. Pruebas *post hoc* para Kruskal-Wallis**

Estas pruebas se comentan a continuación:

- Prueba de Nemenyi

Del mismo modo que con las pruebas *post hoc* paramétricas, aquí se comparan las diferencias absolutas entre dos rangos medios. Si la diferencia es significativamente mayor que la diferencia mínima se concluye que los tratamientos son estadísticamente diferentes (Núñez-Colín, 2018).

La fórmula utilizada en la prueba de Nemenyi es:

$$Nem = q_{\alpha, \infty, k} \sqrt{\frac{k(N+1)}{12}} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$N$  es la cantidad total de datos a evaluar.

$k$  es la cantidad de tratamientos que se comparan.

$q_{\alpha, \infty, k}$  es el valor del criterio de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha$  y  $\infty$  grados de libertad y  $k$  tratamientos.

## 7.6. Reconocimiento de imágenes mediante inteligencia artificial

En los siguientes puntos se desarrolla este tema:

- Inteligencia artificial

Tratando el tema del concepto de inteligencia artificial, Russel y Norvig (2010) la presentan como la automatización de actividades que un humano

realizaría aplicando la capacidad de resolver problemas mediante la toma de decisiones y la inteligencia. La presentan también como el arte de crear máquinas que realizan procesos que requieren de la inteligencia humana. Y, hablando específicamente de computadoras, mencionan que puede verse la inteligencia artificial como el estudio de las técnicas para hacer que una computadora haga lo que actualmente el humano hace de forma más eficaz.

- Reconocimiento de imágenes

Indican Reyes-Ortiz, Mejía y Useche-Castelblanco (2019): “se observa cómo el procesamiento digital de imágenes ha mejorado al implementar diferentes técnicas de inteligencia artificial” (p. 191).

En los últimos años, las técnicas más utilizadas para procesar imágenes son las redes neuronales, los sistemas difusos y los algoritmos evolutivos (Ali *et al.*, 2015, como se citó en Reyes-Ortiz *et al.*, 2019).

### **7.7. Algoritmos de reconocimiento de imágenes de las principales plataformas de servicios en la nube**

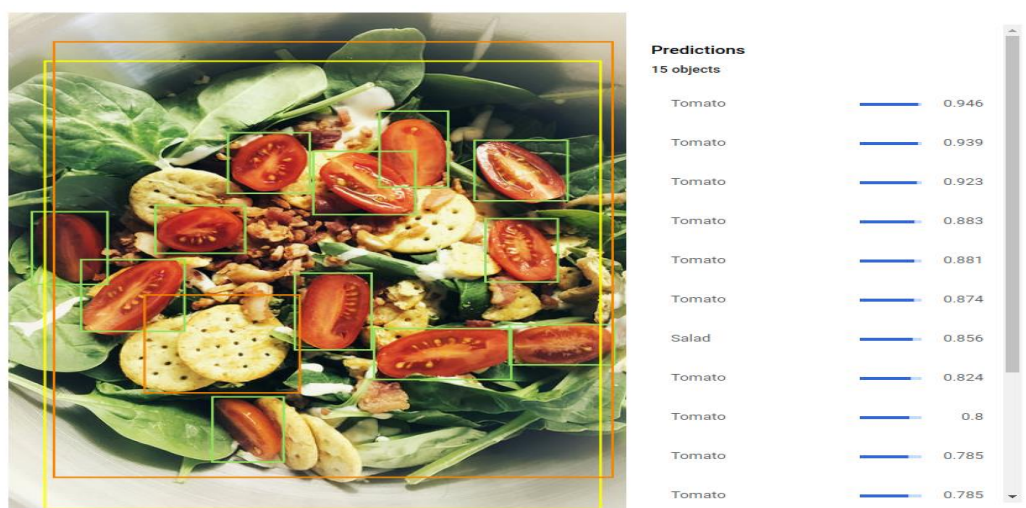
Actualmente existen diversas herramientas para el procesamiento digital de imágenes. Algunas de estas herramientas son accesibles como un servicio provisto a través de Internet por empresas tales como Google, Amazon y Microsoft. A continuación, se detalla cómo se procesan las imágenes en las plataformas Google Cloud Vision, Amazon Rekognition y Microsoft Cognitive Services.

- Google Vision API

Google Cloud Platform ofrece dos productos de análisis pictórico: AutoML Vision y la API de Vision. AutoML permite crear y entrenar modelos de análisis de imágenes por medio de aprendizaje de máquina. Estos modelos se entrenan mediante la carga de imágenes por parte del usuario (Google Cloud, s.f.).

Por otro lado, la API de Vision ofrece potentes modelos entrenados previamente, listos para utilizarse a través de una APIs REST. Cada vez que se analiza una imagen a través de la API de Vision, se obtiene como resultado un conjunto de etiquetas que permiten clasificar una imagen según un conjunto de categorías predefinidas por Google. Además, a través de este servicio se pueden detectar rostros y puntos de referencia, reconocer caracteres por OCR, ubicar objetos e identificar contenido explícito (Google Cloud, s.f.).

Figura 2. **Etiquetado de imágenes en Google API Vision**



Fuente: Google Cloud (s.f.). *Etiquetado de imágenes.*

- Amazon Rekognition Image

Amazon Web Services, Inc. (2018) indica que Rekognition Image es un servicio de reconocimiento de imágenes que utiliza complejos modelos de redes neuronales que “detecta objetos, escenas y rostros; extrae texto, reconoce a personas famosas e identifica contenido inapropiado en imágenes” (s.p.).

Los resultados obtenidos mediante los servicios de análisis pictórico de Amazon Rekognition incluyen una puntuación de confianza que va de 0 a 100, la cual indica la probabilidad de que los resultados sean correctos (Amazon Web Services, 2018).

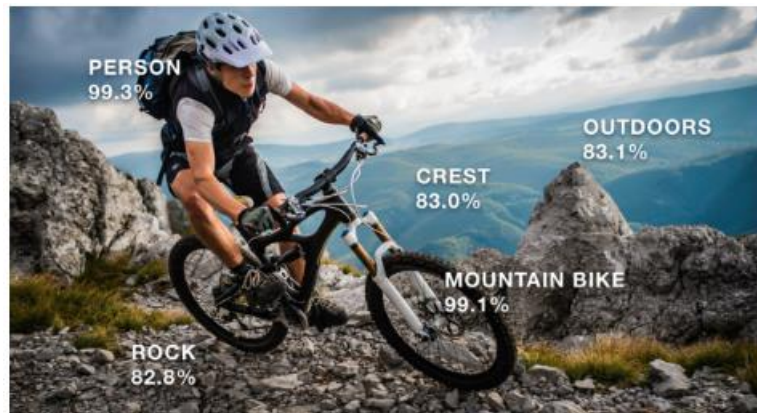
A continuación, se enumeran algunas de las funciones disponibles en esta plataforma.

- Etiquetado de imágenes

El algoritmo de etiquetado de imágenes de Amazon es capaz de identificar objetos y escenas en una imagen, además de detectar actividades (Amazon Web Services, 2022).



Figura 3. **Etiquetado de imágenes en Amazon Rekognition**



Fuente: Amazon Web Services (2022). Etiquetado de imágenes.

- Comparación y búsqueda de rostros

Los servicios de análisis de imágenes de Amazon permiten determinar el grado de similitud de dos rostros en imágenes diferentes (Amazon Web Services, 2022).

- Azure Computer Vision

Azure brinda acceso a diversos algoritmos de procesamiento de imágenes que retornan información de las características que interesan al usuario. Según Microsoft (2022), estos servicios incluyen el reconocimiento de caracteres en imágenes, detección de rostros en imágenes, el análisis de imágenes que “extrae muchas características visuales de las imágenes, como objetos, caras, contenido para adultos y descripciones de texto generadas automáticamente” (s.p.).

A continuación se enumeran algunas de las funciones disponibles en esta plataforma:

- Etiquetado de características visuales

Consiste en la identificación de objetos, paisajes o acciones en una imagen (Microsoft, 2022).

Figura 4. **Ejemplo de etiquetado de características en Azure**



Fuente: Microsoft (2022). *Etiquetado de imágenes.*

- Detección de rostros

Además de detectar la posición de caras dentro de una imagen, es posible utilizar servicios de identificación facial y de detección de poses (Microsoft, 2022).



## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estadística

2.1.1 Definición

2.1.2 Tipos de estadística

2.1.2.1 Estadística descriptiva

2.1.2.2 Estadística inferencial

2.2 Diseños experimentales

2.2.1 Definiciones

2.2.1.1 Unidad experimental

2.2.1.2 Factor

2.2.1.3 Nivel

2.2.1.4 Tratamiento

2.2.1.5 Respuesta

2.2.2 Análisis de varianza

- 2.2.2.1 Análisis de varianza de un factor
- 2.2.2.2 Pruebas *post hoc*
- 2.2.2.3 Prueba de Tukey
- 2.2.2.4 Prueba de Duncan
- 2.2.3 Prueba de Kruskal-Wallis
  - 2.2.3.1 Prueba de Nemenyi
- 2.3 Reconocimiento de imágenes mediante inteligencia artificial
  - 2.3.1 Inteligencia artificial
  - 2.3.2 Reconocimiento de imágenes
- 2.4 Algoritmos de análisis de imágenes de las principales plataformas en la nube
  - 2.4.1 Google Vision API
  - 2.4.2 Amazon Rekognition Image
  - 2.4.3 Azure Computer Vision

### 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

A continuación, se detalla la metodología a utilizar en el presente trabajo de investigación.

### **9.1. Características del estudio**

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo porque se analizan variables numéricas. Además, es de tipo descriptivo correlacional, debido a que se busca describir y correlacionar las variables de estudio. El diseño adoptado es experimental porque se manipularán variables y se analizará su efecto en la precisión de los resultados de análisis pictórico. Se evaluará el efecto que tiene en la precisión de los resultados el cambiar el tipo de imagen analizada en cada plataforma en la nube.

El alcance de este trabajo de investigación es descriptivo-correlacional. Es descriptivo porque se busca especificar las métricas (precisión y tiempo) obtenidas al analizar imágenes en cada plataforma en la nube. Además, este estudio es correlacional porque correlaciona variables.

### **9.2. Unidades de análisis**

La población que se estudiará es infinita y está compuesta por todas las imágenes que pueden ser analizadas por los distintos algoritmos de procesamiento de imágenes provistos por las plataformas de servicios en la nube más utilizadas. De esta población se obtendrá una muestra de imágenes de distintos tipos seleccionadas aleatoriamente y se clasificarán por su tipo.

Estas imágenes se obtendrán de repositorios públicos de imágenes accesibles en Internet.

### 9.3. Operativización de variables

Se explica en la siguiente tabla:

Tabla III. **Variabes del estudio**

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Escala</b>
<b>Precisión (variable dependiente)</b> <b>(Pc)</b>	Probabilidad de que el resultado del análisis de una imagen sea correcto.	Es el valor de confianza para el resultado del análisis, el cual se incluye en los resultados obtenidos al procesar una imagen con un algoritmo de análisis pictórico.	De razón
<b>Tiempo en milisegundos (variable dependiente)</b> <b>(t)</b>	Tiempo de procesamiento de una imagen por un algoritmo de inteligencia artificial.	El tiempo transcurrido desde que se envía la petición de análisis de una imagen a un servicio de análisis pictórico.	De razón
<b>Tipo de imagen (variable independiente)</b> <b>(Ti)</b>	Categoría de una imagen clasificada por características como color, inclusión de personas, dibujo o fotografía.	Categoría que se asigna una imagen en el diseño experimental para evaluar los resultados de análisis por tipo.	Nominal

Fuente: elaboración propia.

### 9.4. Fases del estudio

A continuación, se describe cada fase:

- Fase 1: revisión de información documental

En esta fase se realizará la búsqueda de libros y otros documentos científicos que permitan sentar las bases teóricas para el siguiente trabajo, entre ellas, las técnicas estadísticas apropiadas para este estudio.

Asimismo, se investigará, en la documentación de los servicios de análisis pictórico que proveen las plataformas de servicios en la nube seleccionadas, el proceso que debe seguirse para analizar una imagen y obtener el resultado. Este proceso incluye el protocolo para el intercambio de información entre el usuario y el servicio.

- Fase 2: recolección de los datos

Durante esta fase, como primer paso, se seleccionarán los conjuntos de imágenes que se van a utilizar para las pruebas de análisis. Luego, se procesará cada imagen con los algoritmos provistos por las plataformas en la nube seleccionadas. Los resultados obtenidos cada vez que una imagen sea analizada se almacenarán en una base de datos para su posterior análisis.

Para agilizar este proceso se construirá una herramienta de software que se encargará del envío de datos a los servicios en la nube y creará registros en una base de datos que contendrán los resultados provistos por los algoritmos de análisis pictórico.

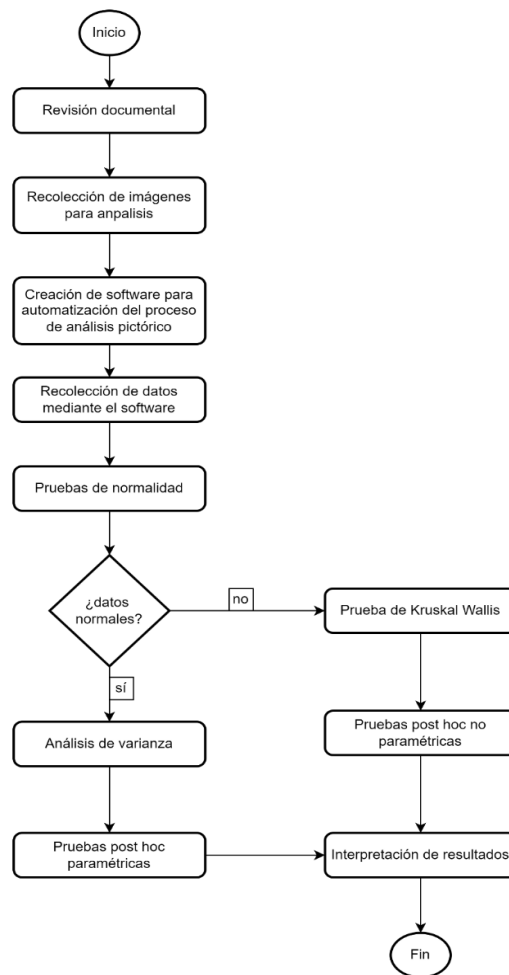
- Fase 3: análisis de los datos

Después de completar la recolección de datos se procederá a analizarlos mediante técnicas estadísticas apropiadas. La elección de estas técnicas



dependerá del comportamiento de los datos. Si los datos son normales, se aplicarán técnicas de estadística paramétrica, de lo contrario se deberá recurrir a técnicas no paramétricas.

Figura 5. **Flujograma del proceso de investigación**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

Así, inmediatamente después de la recolección de datos, se aplicarán dos técnicas para la evaluación de la normalidad: el gráfico Q-Q y la prueba de Kolmogorv-Smirnov.

Tabla IV. **Evaluación de la normalidad de los datos obtenidos**

<b>Variables a la que se aplicará las pruebas</b>	Precisión (Pc), Tiempo (t)
<b>Distribución con la que se comparará</b>	Normal
<b>Técnicas estadísticas</b>	Gráfico Q-Q, prueba Kolmogorov-Smirnov

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar las diferencias de precisión y tiempos de procesamiento se utilizará el análisis de varianza, o su equivalente no paramétrico: la prueba de Kruskal Wallis.

Tabla V. **Aplicación del análisis de varianza para la precisión**

<b>Tratamientos</b>	Se usarán 3 niveles que corresponderán a los algoritmos provistos por cada plataforma en la nube: Amazon, Google, Azure.
<b>Observaciones</b>	Valores de precisión obtenidos al analizar cada imagen.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Aplicación del análisis de varianza para el tiempo de procesamiento**

<b>Tratamientos</b>	Se usarán 3 niveles que corresponderán a los algoritmos provistos por cada plataforma en la nube: Amazon, Google, Azure.
<b>Observaciones:</b>	Medición del tiempo procesamiento de cada imagen.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Aplicación del análisis de varianza para el tipo de imagen**

<b>Tratamientos</b>	Se usarán 2 niveles: imagen a color en imagen en blanco y negro.
<b>Observaciones:</b>	Valores de precisión obtenidos al analizar cada imagen.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, después de la aplicación de las pruebas de varianza, se aplicarán pruebas *post hoc* para evaluar las diferencias entre la precisión y el tiempo de procesamiento por pares.

En el caso de que los datos sean normales, se aplicará la prueba de Tukey, de lo contrario, se utilizará la prueba de Nemenyi.

- Fase 4: interpretación de los resultados del análisis estadístico

A partir de los resultados obtenidos al analizar los datos, se procederá a concluir qué servicio de análisis de imágenes en la nube es el más recomendable para utilizar según sea el caso. Se concluirá cuál plataforma presta los servicios más precisos y de forma más rápida, en función del tipo de imagen analizada.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se utilizaron las siguientes técnicas:

- Pruebas de normalidad

Se verificará la normalidad de los datos obtenidos a través de la observación con pruebas de normalidad, tanto de forma gráfica, usando el gráfico Q-Q, como por métodos numéricos como la prueba de Kolmogorv-Smirnov. En función de los resultados obtenidos en las pruebas de normalidad se decidirá si se deben aplicar técnicas paramétricas o no paramétricas para el análisis de la información.

- Análisis de varianza de un factor

Esta prueba se utilizará para determinar si existen diferencias significativas en las medias entre los resultados de precisión de los análisis de las imágenes analizadas en cada plataforma. La variable independiente será de tipo categórica, cuyos niveles corresponderán al proveedor del algoritmo de análisis pictórico utilizado, mientras que las variables dependientes serán el tiempo de procesamiento y el nivel de confianza de los resultados.

- Análisis de varianza en una vía de Kruskal-Wallis

Es la prueba no paramétrica equivalente al análisis de varianza de un factor, el cual se utilizará para determinar si existen diferencias significativas en las medias de los resultados de precisión de los análisis de las imágenes

analizadas en cada plataforma. Se utilizará esta prueba en vez del análisis de varianza de un factor en caso de que los datos obtenidos no sean normales.

- Pruebas *post hoc* para ANOVA

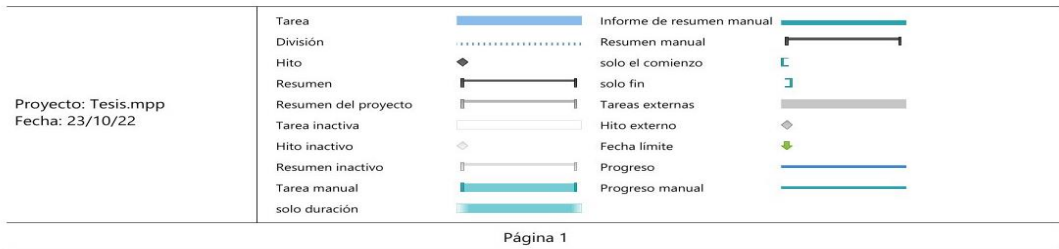
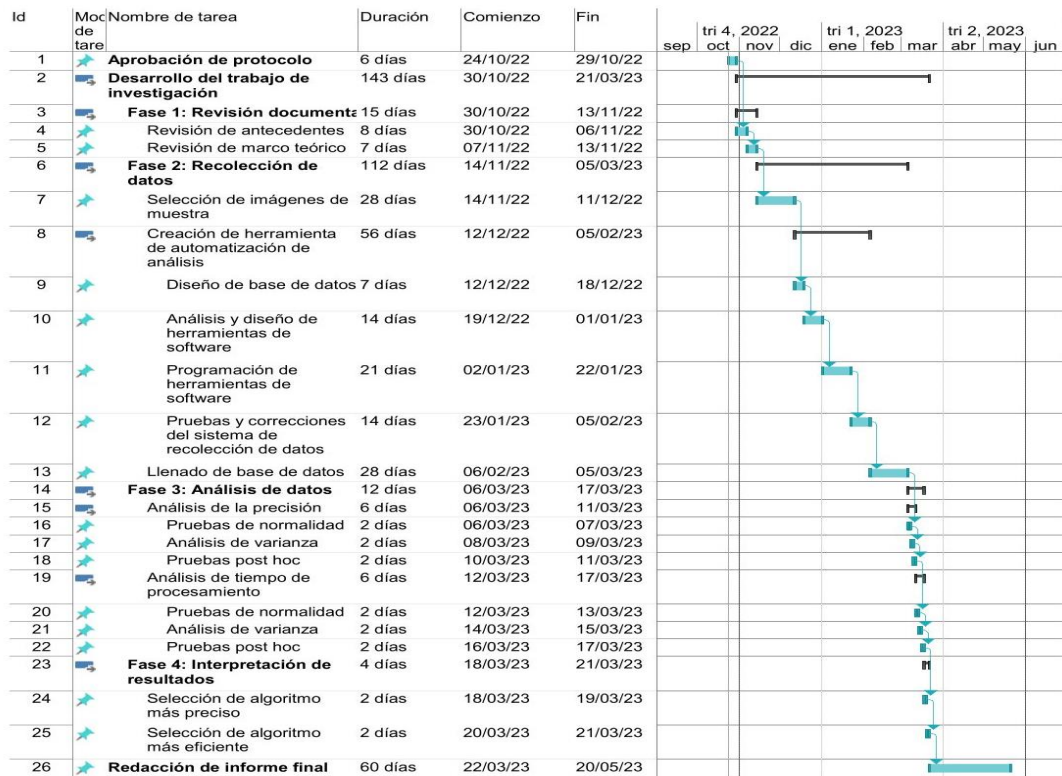
Si a través del análisis de varianza, se detectan diferencias significativas en las medias de los resultados, se aplicarán pruebas *post hoc* para detectar qué medias difieren de otras. Se aplicará la prueba de Tukey y la prueba de Dunnett para el análisis *post hoc* en caso de que los datos sean normales.

- Pruebas *post hoc* para la prueba de Kruskal-Wallis

Si, a través de la prueba de Kruskal-Wallis, se detectan diferencias significativas en las medias de los resultados, se utilizará la prueba *post hoc* de Nemenyi para detectar qué medias difieren de otras.

# 11. CRONOGRAMA

Tabla VIII. Cronograma



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Project.





## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se considera que el presente estudio es factible debido a que se cuenta con los recursos requeridos para cumplir los objetivos de investigación. El autor financiará todos los gastos que se realicen durante la misma.

- Recurso humano

Son las personas que realizarán las tareas de investigación, para este estudio se incluye al autor de la investigación y a su asesor.

- Recursos financieros

Abarcan todos los gastos en que se incurra para el desarrollo de este trabajo de investigación. Todos los gastos serán cubiertos por el autor.

En la siguiente tabla se detalla el presupuesto de los gastos necesarios para llevar a cabo la investigación:

Tabla IX. **Presupuesto**

<b>No.</b>	<b>Recurso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Monto Unitario</b>	<b>Monto total</b>
1	Humano	Honorarios del investigador	1	Q 25,000.00	Q 25,000.00
2	Tecnológico	Análisis de una imagen en el servicio de Amazon Rekognition	3000	Q 0.008	Q 24.00
3	Tecnológico	Análisis de una imagen en el servicio de Azure Cognitive Services	3000	Q 0.0075	Q 22.50
4	Tecnológico	Análisis de una imagen en el servicio de Google Cloud Vision	3000	Q 0.008	Q 24.00
5	Tecnológico	Servicio de Internet residencial por mes	6	Q 300.00	Q 1,800.00
6	Tecnológico	Licencias para el uso de herramientas de desarrollo de software		-	-
7	Tecnológico	Licencia de uso de motor de base de datos	1	-	-
8	Tecnológico	Licencia anual de Microsoft Office	1	Q 450.00	Q 450.00
9	Otros	Gastos varios	1	Q 1,000.00	Q 1,000.00
				<b>Total</b>	<b>Q 28,320.50</b>

Fuente: elaboración propia.

- Recursos tecnológicos

Son las herramientas tecnológicas necesarias para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Para el desarrollo de software se utilizará el entorno de desarrollo .Net 4.7 y, como base de datos, se utilizará Microsoft SQL Server. Las herramientas de análisis de datos que se utilizarán son: Power Bi, Microsoft Excel, R Studio, Jamovi e Infostat.

- Acceso a información y permisos

Para este trabajo de investigación se utilizará un conjunto de imágenes públicas, por lo cual no hay restricción para su acceso y utilización.

Asimismo, los proveedores de servicios en la nube seleccionados para este estudio permiten crear gratuitamente cuentas de usuario para acceder a sus servicios computacionales.

- Equipo e infraestructura

Para ejecutar todas las tareas de esta investigación se requiere una computadora personal, portátil o de escritorio, con al menos 8 GB de memoria RAM, con acceso a Internet y, al menos, 20 GB de espacio libre en su disco duro, el cual puede ser mecánico o de estado sólido, aunque se prefiere este último.



### 13. REFERENCIAS

1. Amazon Web Services. (2022). *Análisis de imágenes y vídeos con machine learning*. Recuperado de <https://aws.amazon.com/es/rekognition/>.
2. Balbuena Caballero, C. y Jara Rodríguez, M. (2021). Comparación de servicios IaaS de proveedores de computación en la nube. *FPUNE Scientific*, 1(15). Recuperado de <http://servicios.fpune.edu.py:83/fpunescientific/index.php/fpunescientific/article/view/210>.
3. Bolaños, L. (2018). *Análisis estadístico del rendimiento académico en los cursos profesionales de los estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante los años 2010 A 2015* (trabajo de graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
4. Carvajal, M. (2018). *Análisis estadístico del rendimiento académico en los cursos profesionales de los estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad De San Carlos De Guatemala, durante los años 2010 A 2015* (trabajo de graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
5. Cota, A., Gutiérrez, F., Ortega, C. y Sierra, M. (2020). Reconocimiento de la denominación de billetes a través de una aplicación móvil con reconocimiento de imagen. *ReCIBE. Revista electrónica de*

*Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 9(1), 1-16.  
Recuperado de  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=512267930001>

6. Fagiani, W. (2018). *Diseño experimental y análisis de varianza aplicados a la producción de hidrógeno y oxígeno de un reactor electrolítico, modificando temperatura y composición química, para estimar sus condiciones óptimas de funcionamiento* (trabajo de graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
7. Google Cloud (s.f). *Vision AI*. Recuperado de:  
<https://cloud.google.com/vision>.
8. Grenz, H. (2019). *Un estudio comparativo del desempeño en la clasificación de emociones en imágenes de rostros realizada por diferentes servicios en la nube* (trabajo de graduación). Universidad Jesuita de Guadalajara, Jalisco, México.
9. Gutiérrez, P. y Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México D.F.: McGraw-Hill.
10. Heras, D. (2017). Clasificador de imágenes de frutas basado en inteligencia artificial. *Revista Killkana Técnica*, 1(2), 21-30.  
Recuperado de  
[https://killkana.ucacue.edu.ec/index.php/killkana\\_tecnico/article/view/79](https://killkana.ucacue.edu.ec/index.php/killkana_tecnico/article/view/79).
11. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.

12. Jung, S., An, J., Kwak, H., Salminen, J. y Jansen, B. J. (2018). *Assessing the Accuracy of Four Popular Face Recognition Tools for Inferring Gender, Age, and Race*. *Actas de la Duodécima Conferencia Internacional AAAI sobre Web y Redes Sociales (ICWSM 2018)*. Recuperado de <https://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/ICWSM18/paper/view/17839/17066>.
13. Mendenhal, W., Beaver, R. y Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*. México D.F.: Cengage Learning.
14. Microsoft. (2022). *Computer Vision*. Recuperado de <https://azure.microsoft.com/es-mx/products/cognitive-services/computer-vision>.
15. Muhammed, A. y Ucuzy, D. (2020). *Comparison of the IoT Platform Vendors, Microsoft Azure, Amazon Web Services, and Google Cloud, from Users' Perspectives*. doi: 10.1109/ISDFS49300.2020.9116254.
16. Núñez-Colín, C. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(3), 69-79. Recuperado de <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/55/97>.
17. Quispe, A., Calla, K., Yangali, J., Rodríguez, J., Pumacayo, I. (2019). *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, Minitab y Excel*. Bogotá, Colombia: EIDEC.
18. Reyes-Ortiz, O., Mejía, M., y Useche-CastelBlanco, J. (2019). Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su



aplicación en el análisis de pavimentos. *Revista EIA*, 16(31), p.189-207. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v16n31/1794-1237-eia-16-31-189.pdf>.

19. Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 105-114. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>.
20. Ross, S. (2014). *Introducción a la estadística*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
21. Rusel, S. y Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence a modern approach*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
22. Salazar, C. y Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*. Quito: Autores.
23. Samuels, M., Witmer, J. y Schaffner, A. (2012). *Fundamentos de estadística para las ciencias de la vida*. Madrid: Pearson Education.
24. Walpole, R., Myers, R. y Myers, S. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México D.F.: Pearson Education.
25. Zamorano, J. (2018). *Comparativa y análisis de algoritmos de aprendizaje automático para la predicción del tipo predominante de cubierta arbórea*. Facultad de Informática (trabajo de graduación). Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, Universidad Complutense de Madrid, España.

# 14. APÉNDICE

## Apéndice 1. Matriz de coherencia

ELEMENTOS	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Problema estadístico	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS	RESULTADOS A PRESENTAR	METODOLOGÍA
<b>GENERAL O CENTRAL</b>	Se desconocen las diferencias de precisión y tiempos de procesamiento de los algoritmos de reconocimiento de imágenes entre las principales plataformas de servicios en la nube.	¿Entre las plataformas de nube más utilizadas, cuál ofrece los algoritmos de reconocimiento de imágenes con los resultados más precisos y eficientes?	Diseñar un experimento para la estimación de las diferencias de precisión y tiempos de procesamiento entre los algoritmos de reconocimiento de imágenes de las principales plataformas de servicios en la nube.	Estimación de media por intervalos de confianza. Análisis de varianza. Pruebas post hoc.	Intervalo de confianza para la media de la precisión y del tiempo de procesamiento Verificación de hipótesis de igualdad de medias	Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo porque se analizan variables numéricas. Además, es de tipo descriptivo correlacional, debido a que se busca describir y correlacionar las variables de estudio.
<b>ESPECÍFICOS O AUXILIARES</b>	No se conocen las medias de la precisión de los algoritmos de reconocimiento de imágenes provistos por las principales plataformas de servicios en la nube.	¿Cuál plataforma en la nube, de entre las más utilizadas, ofrece los algoritmos de reconocimiento de imágenes más precisos?	Estimar, mediante un análisis de varianza, las diferencias entre las medias de la precisión de los algoritmos de reconocimiento de imágenes provistos por las principales plataformas de servicios en la nube para poder seleccionar el proveedor más apropiado.	Estimación de media por intervalos de confianza. Análisis de varianza. Pruebas post hoc.	Intervalo de confianza para la media de la precisión Verificación de hipótesis de igualdad de medias	El diseño adoptado es experimental porque se manipularán variables y se analizará su efecto en la precisión de los resultados de análisis pictórico. Se evaluará el efecto que tiene en la precisión de los resultados el cambiar el tipo de imagen analizada en cada plataforma en la nube.
	Se desconocen las medias de los tiempos de procesamiento de los algoritmos de reconocimiento de imágenes provistos por las principales plataformas de servicios en la nube.	¿Entre los proveedores de servicios en la nube más conocidos, cuál ofrece los algoritmos de reconocimiento de imágenes más eficientes?	Estimar, mediante un análisis de varianza, las diferencias entre las medias de los tiempos de procesamiento de los algoritmos de reconocimiento de imágenes provistos por las principales plataformas de servicios en la nube para proporcionar una guía de selección del proveedor más adecuado.	Estimación de media por intervalos de confianza. Análisis de varianza. Pruebas post hoc.	Intervalo de confianza para la media de la precisión Verificación de hipótesis de igualdad de medias	

Continuación del apéndice 1.

ELEMENTOS	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Problema estadístico	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS	RESULTADOS A PRESENTAR	METODOLOGIA
	Se desconoce el efecto que tiene sobre la precisión de los algoritmos de reconocimiento el tipo de imagen analizada.	¿Qué efecto tienen los diferentes tipos de imágenes en la exactitud de los algoritmos para el reconocimiento de las plataformas en la nube más utilizados?	Diagnosticar el efecto que tiene sobre la precisión de los distintos algoritmos de reconocimiento de imágenes el tipo de imagen analizada, a través de un análisis de varianza, para poder elegir el proveedor apropiado en función de la naturaleza de las imágenes que se desean analizar.	Análisis de varianza.  Pruebas post hoc.	Verificación de hipótesis de igualdad de medias	El alcance de este trabajo de investigación es descriptivo correlacional. Es descriptivo porque se busca especificar las métricas (precisión y tiempo) obtenidas al analizar imágenes en cada plataforma en la nube. Además, este estudio es correlacional porque correlaciona variables.

Fuente: elaboración propia.