



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA
DE LA INFORMACIÓN

Tesis

Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Tecnología de la Información

Autor:

Ing. Jorge Raul Navarro Cabrera
<https://orcid.org/0000-0002-7369-4459>

Asesor:

Ing. Dr. Miguel Angel Valles Coral
<https://orcid.org/0000-0002-8806-2892>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA
DE LA INFORMACIÓN

Tesis

Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Tecnología de la Información

Autor:

Ing. Jorge Raul Navarro Cabrera
<https://orcid.org/0000-0002-7369-4459>

Asesor:

Ing. Dr. Miguel Angel Valles Coral
<https://orcid.org/0000-0002-8806-2892>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA
DE LA INFORMACIÓN

Tesis

Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Tecnología de la Información


Presentado por

Ing. Jorge Raul Navarro Cabrera

Sustentado y revisado el 16 de setiembre del 2024 por los siguientes jurados:



Presidente de Jurado
Ing. Dr. Alberto Alva Arévalo



Secretario de Jurado
Lic. M.Sc. Edwin Augusto
Hernández Torres



Vocal de Jurado
Ing. Dr. Juan Orlando Riascos Armas



Asesor
Ing. Dr. Miguel Angel Valles Coral

Tarapoto, Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Tesis, modo presencial, presentado por:

Bach. Jorge Raul Navarro Cabrera

Con el asesoramiento del Dr. Miguel Ángel Valles Coral.

"Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios"

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos: **APROBADO**


MUY BUENO

Con el calificativo (*)


DIECIOCHO(18)


En consecuencia, queda en condición de ser considerado **APTO** por el Consejo Universitario y recibir el Grado Académico de **Maestro en Ciencias con mención en Tecnología de la Información**, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 30° del Reglamento de Tesis de la Escuela de Posgrado de la UNSM.

Tarapoto, 16 de setiembre de 2024.


Dr. Alberto Alva Arévalo
Presidente


Dr. Edwin Augusto Hernández Torres
Secretario


Dr. Juan Orlando Riascos Armas
Miembro


Dr. Miguel Ángel Valles Coral
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 40° del Reglamento General de Ciencia, Tecnología e Innovación (RG - CTI) la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, estas deberán ser calificadas con términos de: BUENO, MUY BUENO, EXCELENTE, también considerar la nota

© Jorge Raul Navarro Cabrera 2024

Todos los derechos reservados



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN TECNOLOGÍA
DE LA INFORMACIÓN

Tesis

Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Tecnología de la Información

Los suscritos declaran que el presente trabajo de tesis es original, en su
contenido y forma

Autor

Jorge Raul Navarro Cabrera

Asesor

Dr. Miguel Angel Valles Coral

Tarapoto, Perú

2024

Declaratoria de autenticidad

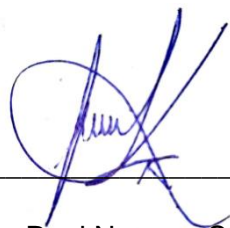
Jorge Raul Navarro Cabrera, identificado con DNI N° 71483373, egresado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Martín, con la tesis titulada: “Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios.

Declaro bajo juramento que:

- 1) La tesis presentada es de mi autoría.
- 2) He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
- 3) La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- 4) Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 16 de setiembre del 2024



Jorge Raul Navarro Cabrera

DNI N° 71483373

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios.</p>	<p>Área de investigación: Ingeniería y Tecnología Línea de investigación: Ciencias de la Computación Sublínea de investigación: Inteligencia Artificial y Recuperación de Información Grupo de investigación: Grupo de Investigación de IA Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Ing. Jorge Raul Navarro Cabrera</p>	<p>Escuela de Posgrado Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática Programa de Maestría en Ciencias con mención en Tecnología de la Información https://orcid.org/0000-0002-7369-4459</p>
<p>Asesor: Ing. Dr. Miguel Angel Valles Coral</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática Unidad o Laboratorio Ingeniería de Sistemas e Informática https://orcid.org/0000-0002-8806-2892</p>

Dedicatoria

Este logro personal está dedicado con profundo agradecimiento a mis padres, Carlos Navarro y Bessy Cabrera, cuyo apoyo inquebrantable y aliento constante han sido pilares fundamentales en mi desarrollo profesional. A mis queridos hermanos, Deysi y Enrique, les agradezco por ser un recordatorio constante de la importancia de perseverar y seguir superándonos en la búsqueda de nuestros objetivos. A mis abuelitos, Bessy Pizarro, quien ha sido una parte esencial en mi crecimiento individual, y Raúl Cabrera, quien ahora descansa en la paz del señor, pero cuyo legado perdura como mi inspiración más grande para alcanzar el éxito en esta vida. Finalmente, a mi compañera de vida, Gaudy Monsalve, quien ha sido mi soporte en cada etapa, motivándome siempre a buscar la excelencia continua y nunca conformarme con lo que tenemos.

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Miguel Angel Valles Coral, coordinador del Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial, por su invaluable mentoría y por brindarme la oportunidad de participar en la ejecución del proyecto de investigación "HemotupunaApp", del cual se deriva esta tesis. Además, reconozco a los profesores de la Maestría en Ciencias con Mención en Tecnología de la Información por compartir sus conocimientos y emplear metodologías de enseñanza efectivas en nuestra formación profesional. Por último, expreso mi sincero agradecimiento al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados - PROCIENCIA, por su apoyo financiero a esta tesis, bajo el Contrato N° PE501085712-2023-PROCIENCIA, en el marco del concurso de "Tesis de Pregrado y Postgrado en Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica".

Índice general

Ficha de identificación	7
Dedicatoria	8
Agradecimientos.....	9
Índice general.....	10
Índice de tablas	12
Índice de figuras	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación	20
2.2. Fundamentos teóricos	22
2.2.1. Variable independiente.....	22
2.2.2. Variable dependiente	27
2.3. Definición de términos básicos	29
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación.....	30
3.1.1 Contexto de la investigación.....	30
3.1.2 Periodo de ejecución.....	30
3.1.3 Autorizaciones y permisos	30
3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	30
3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales.....	31
3.2. Sistema de variables	31
3.2.1 Variables principales	31
3.2.2 Variables secundarias.....	32
3.3 Procedimientos de la investigación.....	32
3.3.1 Objetivo específico 1.....	33

	11
3.3.2 Objetivo específico 2.....	33
3.3.3 Objetivo específico 3.....	34
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Resultado específico 1	35
4.2. Resultado específico 2	42
4.3. Resultado específico 3	49
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS	63

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Descripción de variables por objetivo general</i>	31
Tabla 2 <i>Métricas de rendimiento de los modelos de visión artificial</i>	49

Índice de figuras

Figura 1 <i>Representación gráfica de tipos de aprendizaje automático</i>	22
Figura 2 <i>Estructura general de una neurona artificial</i>	24
Figura 3 <i>Arquitectura CNN</i>	25
Figura 4 <i>Modelo propuesto</i>	34
Figura 5 <i>Método para la toma de muestras</i>	37
Figura 6 <i>Muestra aleatoria de imágenes preprocesadas</i>	39
Figura 7 <i>Matriz de correlación de síntomas y parámetros clínicos en la detección de anemia</i>	41
Figura 8 <i>Aplicación de la función ImageDataGenerator al set de imágenes</i>	43
Figura 9 <i>Evolución del entrenamiento del modelo InceptionV3</i>	44
Figura 10 <i>Matriz de confusión del modelo InceptionV3</i>	44
Figura 11 <i>Evolución del entrenamiento del modelo DenseNet</i>	45
Figura 12 <i>Matriz de confusión del modelo DenseNet</i>	46
Figura 13 <i>Entrenamiento del Modelo Xception</i>	47
Figura 14 <i>Matriz de confusión del modelo Xception</i>	47
Figura 15 <i>Resultado aleatorio del procesamiento de imágenes de uñas para la detección de anemia ferropénica</i>	49
Figura 16 <i>Curvas ROC para la evaluación de modelos de visión artificial</i>	51

RESUMEN

Modelo de visión artificial empleando imágenes de las uñas para la detección no invasiva de anemia ferropénica en estudiantes universitarios

En este estudio, se propone el uso de un modelo de visión artificial basado en DenseNet para la detección no invasiva de anemia ferropénica utilizando imágenes de uñas capturadas con smartphones, respondiendo a la necesidad de métodos diagnósticos accesibles y eficientes en contextos educativos. El objetivo principal fue validar los resultados del medidor de hemoglobina Rad-67 mediante este modelo de visión artificial. Se diseñó un protocolo detallado para la recolección de imágenes de uñas de estudiantes, y se construyeron y evaluaron varios modelos, destacándose DenseNet por su desempeño. En el conjunto de validación, DenseNet mostró una precisión de 0.6983, una sensibilidad de 0.6477, un F1-Score de 0.6525 y un AUC ROC de 0.7409, indicando una correlación positiva con los resultados del medidor Rad-67 y demostrando su capacidad para clasificar estados anémicos. A pesar de no alcanzar una precisión extremadamente alta, los avances logrados son significativos, y con ajustes adicionales en el preprocesamiento y la configuración del modelo, es posible mejorar aún más su rendimiento. Este enfoque promete facilitar el diagnóstico temprano y preciso de la anemia, promoviendo el uso de tecnologías móviles y aprendizaje automático para diagnósticos más accesibles y eficientes a nivel global.

Palabras clave: Aprendizaje profundo, Captura de datos, DenseNet, Diagnóstico no invasivo, Validación cruzada

ABSTRACT

Computer vision model using fingernail imaging for noninvasive detection of iron deficiency anemia in college students.

In this study, the use of a machine vision model based on DenseNet is proposed for the non-invasive detection of iron deficiency anemia using nail images captured with smartphones, responding to the need for accessible and efficient diagnostic methods in educational contexts. The main objective was to validate the results of the Rad-67 hemoglobin meter using this machine vision model. A detailed protocol was designed for the collection of fingernail images from students, and several models were built and evaluated, with DenseNet standing out for its performance. In the validation set, DenseNet showed an accuracy of 0.6983, a sensitivity of 0.6477, an F1-Score of 0.6525 and an AUC ROC of 0.7409, indicating a positive correlation with the Rad-67 meter results and demonstrating its ability to classify anemic states. Despite not achieving extremely high accuracy, the progress achieved is significant, and additional adjustments to the model's preprocessing and configuration may further improve its performance. This approach promises to facilitate early and accurate diagnosis of anemia, promoting the use of mobile technologies and machine learning for more accessible and efficient diagnostics at a global level.

Keywords: Deep learning, Data capture, DenseNet, Non-invasive diagnostics, Cross-validation.

