



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE BIOMEDICINA

REDISEÑO Y VALIDACIÓN DE LA TERCERA VERSIÓN DEL
DISPOSITIVO SAMAYMANTA (GSR Y EDA) MEDIANTE LA
COMPARACIÓN DE SUS REGISTROS CON LOS OBTENIDOS POR EL
EQUIPO IWORX

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Biomédico

AUTORES: MARCO ESTEBAN VÁSQUEZ VILLA
RICHARD ALBERTO BORJA ZAMORA

TUTORA: DRA. ZOBEIDA YAROSLAVA ROBLES BYKBAEV, PhD.

Cuenca - Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL "....."TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Marco Esteban Vásquez Villa con documento de identificación N° 0106651060 y Richard Alberto Borja Zamora con documento de identificación N° 0151195328; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 20 de febrero del 2026

Atentamente,



Marco Esteban Vásquez Villa
0106651060



Richard Alberto Borja Zamora
0151195328

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Marco Esteban Vásquez Villa con documento de identificación N° 0106651060 y Richard Alberto Borja Zamora con documento de identificación N° 0151195328, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: "Rediseño y validación de la tercera versión del dispositivo Samaymanta (GSR y EDA) mediante la comparación de sus registros con los obtenidos por el equipo iWorx", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biomédico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de febrero del 2026

Atentamente,



Marco Esteban Vásquez Villa
0106651060



Richard Alberto Borja Zamora
0151195328

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Zobeida Yaroslava Yobles Bykbaev con documento de identificación N° 1711611135, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REDISEÑO Y VALIDACIÓN DE LA TERCERA VERSIÓN DEL DISPOSITIVO SAMAYMANTA (GSR Y EDA) MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE SUS REGISTROS CON LOS OBTENIDOS POR EL EQUIPO IWORX, realizado por Marco Esteban Vásquez Villa con documento de identificación N° 0106651060 y Richard Alberto Borja Zamora con documento de identificación N°0151195328, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de febrero del 2026

Atentamente,



Dra. Zobeida Yaroslava Yobles Bykbaev, PhD.
1711611135

Dedicatoria

Autor 1: Marco Vásquez

A mis padres, quienes con su esfuerzo inagotable y amor incondicional han sido el pilar fundamental de mi vida. Gracias por creer en mí incluso cuando el camino se tornaba difícil, por su sacrificio y por brindarme todas las herramientas para alcanzar este sueño; este logro es tan mío como suyo.

A mis hermanos, por ser mis compañeros inseparables, por su paciencia, sus consejos y por estar siempre a mi lado en cada etapa.

Finalmente, a mis amigos, por las horas de estudio compartidas, las palabras de aliento en los momentos de mayor estrés y por hacer que este largo recorrido haya valido la pena.

Autor 2: Richard Borja

A mis padres, por ser la raíz de mis valores y mi apoyo incondicional en cada paso de mi vida. A mis suegros, por su cariño y respaldo constante.

A mi esposa, mi compañera de vida, por su amor, su paciencia y por caminar a mi lado en este gran desafío.

A mi hijo, mi luz, mi mayor inspiración y la razón de todo mi esfuerzo. A mis hermanos, por estar siempre presentes, y a mis amigos, por hacer que este viaje sea inolvidable. Esta meta es de todos nosotros.

Agradecimientos

Autor 1: Márco Vasquez

Agradezco infinitamente a mis padres por su amor, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida y formación. A mis amigos, por ser mi cable a tierra y acompañarme siempre. Mi profundo agradecimiento a mi tutora de tesis por su guía, sabiduría y dedicación constante, así como al ingeniero Efrén Lema por su invaluable colaboración y conocimientos aportados a este proyecto. Finalmente, un agradecimiento muy especial a mi fiel computadora del 2010 por haber resistido estoicamente hasta el punto final de este documento, y a Spotify, por ser la banda sonora que me mantuvo despierto y animado durante las interminables noches de redacción.

Autor 2: Richard Borja

Agradezco profundamente a mis padres y a mis suegros por su apoyo incondicional, su amor y por ser un pilar fundamental en este proceso. A mi esposa y a mi hijo, por ser mi mayor inspiración, mi motor y mi compañía inagotable.

En el ámbito académico e institucional, extiendo mi gratitud a mi tutora de tesis y a la directora de carrera por su invaluable guía. Al Ingeniero Efrén Lema y al Vicerrector Fernando Moscoso, por su tiempo, conocimientos y respaldo constante. A mi compañero de tesis, por el esfuerzo compartido y la perseverancia para alcanzar juntos esta meta.

A nivel profesional, agradezco a mi jefa, la Ing. Patricia Santos, y a mis compañeros de trabajo por su comprensión y apoyo. Finalmente, gracias a mi gran amigo René Madrid por su lealtad, y a mi fiel moto, por haberme transportado incansablemente a lo largo de todo este camino.

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Problema	4
2.1. Antecedentes.....	4
3. Justificación.....	5
4. Objetivos	6
4.1. Objetivo General	6
4.2. Objetivos Específicos.....	6
5. Hipótesis.....	6
5.1. Hipótesis principal.....	6
5.2. Hipótesis secundaria.....	6
6. Marco Teórico	6
6.1. Actividad Electroérmica (EDA).....	6
6.2. Medición y Procesamiento de la Señal.....	8
6.3. Modulación y Estandarización	9
6.4. Validación entre dispositivos.....	9
7. Marco Metodológico (Materiales y métodos).....	10
7.1. Diseño general del sistema SAMAYMANTA v3.....	10
7.2. Especificaciones detalladas del hardware (unidad de adquisición).....	10
7.2.1. Microcontrolador central (ESP32-WROOM-32).....	10
7.2.2. Módulo sensor TinyGSR.....	11
7.2.3. Subsistema de alimentación y autonomía	11
7.3. Diseño estructural y ergonomía (carcasa)	12
7.3.1. Modelado CAD	12
7.3.2. Manufactura aditiva	12
7.4. Arquitectura del software de visualización y registro (Node-RED).....	13

7.4.1. Capa de comunicación.....	13
7.4.2. Conversión a unidades fisiológicas	13
7.4.3. Interfaz y metadatos	13
7.4.4. Exportación y formatos de datos.....	13
7.4.5. Estrategia de Adquisición y Digitalización de la Señal.....	14
7.4.6. Conversión Analógico-Digital (ADC)	14
7.4.7. Frecuencia de Muestreo y Temporización	14
7.4.8. Preprocesamiento y Empaquetado de Datos	14
8. Protocolo Experimental y Validación	15
8.1. Instrumentos y montaje experimental	16
8.2. Procedimiento de Medición	16
8.3. Diseño del estudio y enfoque	17
8.4. Consideraciones éticas, consentimiento y confidencialidad.....	18
8.4.1. Principios éticos	18
8.4.2. Consentimiento informado.....	18
8.4.3. Datos anónimos y seudonimización	18
8.4.4. Almacenamiento seguro y acceso restringido	19
8.4.5. Aval ético institucional	19
8.5. Participantes y muestreo.....	20
8.5.1. Universo y muestra	20
8.5.2. Criterios de Inclusión y Exclusión	20
8.6. Procedimiento de toma de datos y sincronización.....	22
8.7. Preprocesamiento y control de calidad.....	22
8.8. Validación funcional y resultados preliminares.....	23
8.9. Limitaciones del estudio.....	23
9. Resultados	23
9.1. Condiciones del Montaje Experimental y Adquisición de Datos.....	23
9.2. Análisis de los Registros del Equipo de Referencia (iWorx)	25
9.2.1. Resumen Estadístico del Modelo de Regresión (iWorx)	26
9.2.2. Optimización mediante Eliminación de Variables (iWorx)	27
9.3. Análisis de los Registros del Dispositivo SAMAYMANTA	29
9.3.1. Optimización mediante Eliminación de Variables (SAMAYMANTA).....	30
10. Análisis Estadístico.....	32
10.1. Comparación Global de Tiempo vs. Amplitud.....	32
10.2. Análisis Matricial de la Señal EDA (iWorx/SAMAYMANTA)	33
10.2.1. Relación con Variables Antropométricas (IMC, Edad, Peso y Talla)	33
10.2.2. Análisis según Variables Categóricas (Sexo y Oficio)	34

10.3. Análisis Matricial de la Señal EDA (SAMAYMANTA)	35
10.3.1. Interacción con Variables Antropométricas (IMC, Edad, Peso y Talla).....	35
10.3.2. Modulación por Variables Categóricas (Sexo y Oficio).....	36
10.4. Análisis Comparativo y Evaluación del Error Global	37
10.4.1. Cuantificación del Error y Diferencias Puntuales	37
11. Discusión de resultados	39
11.1. Espejismo de la Amplitud frente al Coeficiente de Determinación.....	39
11.2. Contraste Crítico con la Literatura	39
11.3. Significado de la Variable Oficio y Límites del Sensor.....	40
12. Conclusión.....	40
12.1. El Problema de la Bioinstrumentación de Bajo Costo	40
12.2. Relevancia del Estado del Arte.....	41
12.3. Resultados y Discusión: La Paradoja del SAMAYMANTA	41
12.4. Recomendaciones Técnicas.....	42
13. Cronograma	42
14. Presupuesto.....	43
Referencias	44
ANEXOS	47

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo validar el dispositivo, SAMAYMANTA, desarrollado por el grupo de investigación, GIATTA, mediante la comparación de sus registros de actividad electrodérmica (EDA) con los obtenidos por el equipo iWorx. A través de pruebas experimentales controladas, se evaluará la precisión y fiabilidad de SAMAYMANTA utilizando métricas estadísticas, tomando en cuenta las variables de tiempo y la conductancia cutánea (μS).

La validación de SAMAYMANTA se realiza con el fin de comprobar su desempeño frente a equipos establecidos que cumplen con los estándares de calidad y regulación, asegurando que sus registros sean consistentes y confiables para su uso en investigaciones científicas y en prácticas médicas basadas en saberes ancestrales. El proyecto busca consolidar su aplicación tanto en el ámbito de la medicina tradicional como en el contexto de la tecnología, integrando ambos enfoques en la evaluación de la salud.

Palabras clave: Actividad electrodérmica, SAMAYMANTA, validación, medicina ancestral.

Abstract

This project aims to validate the SAMAYMANTA device, developed by the GIATTA research group, through the comparison of its electrodermal activity (EDA) recordings with those obtained by the iWorx device. Controlled experimental tests will be conducted to evaluate the accuracy and reliability of SAMAYMANTA, applying statistical metrics that take into account the variables of time and skin conductance (μS). The validation of SAMAYMANTA seeks to verify its performance against established devices that comply with quality and regulatory standards, ensuring that its recordings are consistent and suitable for scientific research and medical practices grounded in ancestral knowledge. The project aims to strengthen its application in both traditional medicine and technological contexts, integrating these perspectives for a comprehensive approach to health assessment.

Keywords: Electrodermal activity, SAMAYMANTA, validation, ancestral medicine.

1. Introducción

La relación entre la ingeniería y las ciencias de la salud ha avanzado significativamente en las últimas décadas, impulsada por la integración de tecnologías innovadoras en la atención y el diagnóstico médico. En este contexto, la medición de señales fisiológicas como la actividad EDA y la frecuencia cardíaca permite obtener información valiosa sobre los estados emocionales y fisiológicos de los pacientes, contribuyendo a diagnósticos más precisos (Sánchez et al., 2022). Sin embargo, diversas herramientas utilizadas para la medición de estas señales aún carecen de una validación científica sólida que respalde su confiabilidad en contextos específicos (Lavezzo et al., 2024).

En particular, las comunidades andinas del Ecuador mantienen prácticas tradicionales como las "limpias", rituales que buscan equilibrar las energías del cuerpo y la mente. Estas prácticas, aunque profundamente enraizadas en la cultura local, carecen de evidencia científica que demuestre su impacto fisiológico objetivo. Esta falta de datos ha limitado su integración en la medicina moderna, a pesar de su potencial para el tratamiento de trastornos emocionales y físicos (Posada & Chon, 2020).

El presente trabajo de tesis se deriva de la línea de investigación del proyecto SAMAYMANTA, el cual tiene como objetivo desarrollar y validar un dispositivo biomédico capaz de medir de manera precisa la actividad EDA y la frecuencia cardíaca durante la realización de prácticas ancestrales. A través de la integración de tecnología avanzada y conocimientos tradicionales, se busca proporcionar una herramienta científica que valide las respuestas fisiológicas de los sujetos durante los rituales de sanación, transformando observaciones subjetivas en datos objetivos.

El sistema propuesto utiliza electrodos de Ag/AgCl para la captura de señales de GSR (respuesta galvánica de la piel) y está diseñado para ser portátil y de fácil operación. Además, incluye módulos para la medición de la frecuencia cardíaca, permitiendo un análisis integral de las respuestas del sistema nervioso autónomo. Estos módulos se integran a un sistema de adquisición de datos que proporciona información en tiempo real sobre la variabilidad de las señales, facilitando su posterior almacenamiento y procesamiento.

Finalmente, este proyecto tiene como propósito comparar los registros obtenidos por el dispositivo desarrollado con equipos de referencia, como el sistema iWorx, para validar su precisión y fiabilidad. Mediante un análisis estadístico de las señales adquiridas, se busca establecer la eficacia del dispositivo en la medición de parámetros clave para el análisis emocional. De este modo, la investigación no solo aporta a la validación de las prácticas tradicionales andinas, sino que ofrece una herramienta clínica para el estudio objetivo de la relación entre emociones y fisiología en la región.

2. Problema

La medición EDA presenta un problema central, la falta de estandarización metodológica entre dispositivos y protocolos. Cuando no se especifican de forma uniforme el tipo de electrodo (p. ej., Ag/AgCl), el sitio de registro (falanges distales/palma), el modo de medida (tensión o corriente cuasi-constante), la frecuencia de muestreo, el filtrado y los criterios de limpieza de artefactos, los registros resultan poco comparables y difícilmente reproducibles entre estudios y equipos (Miller et al., 2020; Posada-Quintero & Chon, 2021). La literatura técnica actual coincide en que es necesario reportar explícitamente la unidad y el método de medida (por ejemplo, conductancia en μS o resistencia en k). Además, se recomienda colocar los electrodos preferentemente de Ag/AgCl en los dedos, ya que en esa zona existe una mayor densidad de glándulas sudoríparas. De no ser así, se introducen sesgos sistemáticos por variaciones de sitio/material que dificultan la interpretación del tono (SCL) y las respuestas fásicas (SCR) (Schlender et al., 2023; Roos et al., 2022). Además, la EDA es sensible al entorno y al movimiento: temperatura y humedad ambientales, sudoración basal, calidad del contacto electrodo-piel y artefactos por movimiento afectan el nivel de conductancia (SCL) y las respuestas fásicas (SCR). Sin protocolos que controlen o registren estas variables, los datos pueden reflejar el ambiente más que la activación simpática del participante (Zhang et al., 2021; Horvers et al., 2021).

En el plano analítico, la separación tónica/fásico requiere métodos coherentes y criterios uniformes de detección de respuestas; discrepancias en estos pasos producen diferencias sustantivas en amplitudes y recuentos de SCR entre laboratorios y dispositivos (Matsumoto et al., 2022). Desde la perspectiva de calidad y regulación, los dispositivos biomédicos deben evaluarse bajo un Sistema de Gestión de Calidad (ISO 13485) y cumplir requisitos de seguridad y desempeño esencial cuando corresponda (IEC 60601). Aunque estas normas no dictan un “protocolo EDA” específico, sí exigen trazabilidad de diseño, control de riesgos, verificación/validación y desempeño medible. En ausencia de certificación, la validación comparativa frente a un sistema de referencia con especificaciones claras se vuelve crítica para sustentar precisión y exactitud (JCGM 100:2008; ISO 13485:2016). En este contexto, equipos de referencia utilizados en docencia e investigación, como el iWorx, documentan el método de medida (p. ej., tensión constante), la conversión a unidades estandarizadas (μS) y prácticas recomendadas de registro, lo que permite establecer trazabilidad práctica y verificar que el dispositivo bajo estudio entregue valores comparables en un mismo escenario experimental (iWorx, Manual GSR, 2023).

2.1. Antecedentes

El dispositivo SAMAYMANTA fue desarrollado por el grupo de investigación GIATA como parte de un proyecto orientado a registrar EDA durante prácticas ancestrales andinas conocidas

como “limpias”, integrando la tecnología biomédica con los saberes tradicionales. Dicho proyecto ha permitido relacionar las respuestas fisiológicas con los estados emocionales y energéticos percibidos durante rituales de limpieza ancestral. No obstante, el dispositivo aún no cuenta con una validación técnica que respalde la precisión de sus mediciones frente a equipos biomédicos certificados. La ausencia de este proceso limita su aplicación científica y la posibilidad de emplearlo en estudios clínicos o académicos; de esta manera, surge la necesidad de comparar las señales obtenidas por el dispositivo SAMAYMANTA con las registradas por un sistema de referencia, como el equipo iWorx, con el fin de determinar su nivel de correlación, margen de error y grado de fiabilidad. Este proceso permitirá valorar la eficacia del dispositivo y fortalecer su respaldo técnico dentro de la línea de investigación del grupo GIATA.

3. **Justificación**

Social: La validación y el rediseño de la tercera versión del dispositivo SAMAYMANTA beneficiarán de manera directa a las comunidades y pueblos indígenas de los Andes, así como a los terapeutas y curanderos tradicionales. Disponer de un dispositivo validado y accesible que capture con exactitud el efecto de las limpiezas energéticas en la condición fisiológica de los pacientes brinda un apoyo científico valioso a la medicina ancestral (Cruz et al., 2022). Esto fomenta el respeto, la conservación y la revitalización del patrimonio cultural, evitando la pérdida de este conocimiento y fortaleciendo la identidad cultural de las generaciones futuras, evidenciando que estas prácticas tienen un impacto concreto en la salud holística (Kowii, 2011).

Científico: Desde la óptica de la ingeniería biomédica, hay una evidente carencia de investigaciones exhaustivas que conecten la medición del sistema nervioso autónomo con las prácticas de la medicina tradicional. Al someter el dispositivo SAMAYMANTA a un proceso de validación cruzada y análisis estadístico utilizando un instrumento comercial certificado como iWorx, se asegura que el prototipo ofrezca datos de AED precisos y consistentes. Esta validación técnica no solo refuerza la solidez y el rigor en la línea de investigación del grupo GIATA, sino que también crea un vínculo esencial entre la tecnología contemporánea y el conocimiento ancestral. De esta forma, se abren nuevas oportunidades para la comprensión científica del equilibrio energético, promoviendo la aceptación de enfoques de sanación holística en los contextos clínico y científico (Posada & Chon, 2020).

4. **Objetivos**

4.1. **Objetivo General**

- Rediseñar y validar el funcionamiento de la tercera versión del dispositivo SAMAYMANTA mediante la comparación de sus registros de actividad electrodérmica con los datos obtenidos por el equipo iWorx.

4.2. **Objetivos Específicos**

1. Comprobar el funcionamiento de las placas del dispositivo y diseñar el software para la visualización y almacenamiento de los datos obtenidos de los participantes.
2. Diseñar y aplicar un protocolo estandarizado para la captación de EDA en los participantes.
3. Realizar un análisis estadístico mediante un modelo de regresión temporal tomando como variables el tiempo (s) y la conductancia cutánea (μS) de los registros obtenidos entre los dispositivos SAMAYMANTA e iWorx.

5. **Hipótesis**

5.1. **Hipótesis principal:**

El dispositivo SAMAYMANTA es capaz de captar EDA con precisión comparable al sistema iWorx al ajustar el offset y normalizarlas para realizar una comparación estadística entre ambos dispositivos.

5.2. **Hipótesis principal:**

El software diseñado para la visualización y almacenamiento de los datos obtenidos con el dispositivo es eficaz para procesar y presentar la EDA, permitiendo una adecuada gestión de los datos.

6. **Marco Teórico**

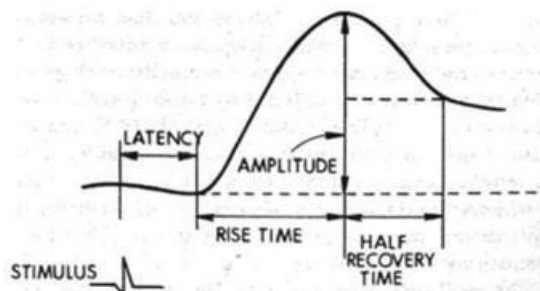
6.1. **Actividad Electrodérmica (EDA)**

La EDA es una medida fisiológica que cuantifica las variaciones de la conductancia cutánea

(μS), que son causadas por la activación del sistema nervioso simpático y, en particular, por la estimulación de las glándulas ecrinas, las cuales se encuentran principalmente en las palmas de las manos y los dedos (ver Figura 1).

Figura 1

Respuesta típica de la actividad electrodérmica



Nota: Forma de onda típica de la EDA. Fuente: Domingo, 2024.

La medición de EDA se considera un biomarcador cuya obtención es de naturaleza no invasiva en referencia al grado de activación fisiológica, y se utiliza ampliamente en estudios sobre estrés, emoción e interacción entre el ser humano y la tecnología (Horvers et al., 2021; Roos et al., 2023). La señal de EDA se caracteriza por dos componentes: el componente tónico, también conocido como SCL (Skin Conductance Level) que refleja un estado basal en relación a la activación del sistema simpático sudomotor, y el componente fásico, conocido como SCR (Skin Conductance Response), que se asocia a respuestas transitorias a eventos y tiene latencias típicas de entre 1 y 3 segundos con una recuperación más lenta (Amin et al., 2022; Lavezzo et al., 2024).

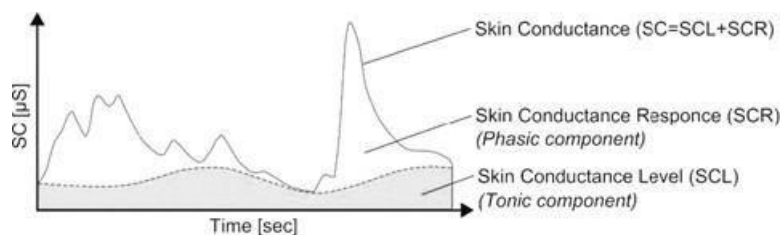
La EDA cumple funciones en la evaluación de procesos fisiológicos y emocionales, ya que permite cuantificar la actividad del sistema nervioso simpático ante distintos tipos de estímulos. Su análisis se aplica en investigaciones sobre estrés y ansiedad, monitoreo del estado de alerta, evaluación de reacciones cognitivas. Por lo tanto, las EDA resultan de gran importancia en este proyecto, ya que permiten medir de forma objetiva las respuestas fisiológicas del cuerpo durante prácticas ancestrales andinas, como las limpias. En estos rituales, se busca restablecer el equilibrio físico y emocional mediante estímulos sensoriales que modifican la activación del sistema nervioso simpático. Dichas variaciones se reflejan en los cambios de la conductancia de la piel, lo que permite identificar el nivel de respuesta corporal durante el proceso de armonización. De esta manera, el registro de la EDA ofrece un vínculo entre la percepción energética tradicional y los indicadores fisiológicos modernos de relajación o activación.

6.2. Medición y Procesamiento de la Señal

La calidad de la señal de EDA depende de varios factores, entre los cuales se encuentran el sitio de registro, el tipo de electrodos utilizados y las condiciones ambientales durante la medición. Para reducir el ruido en la señal se recomienda que los registros se realicen en las falanges medias de los dedos (II-III) o en la región tenar-hipotenar de la mano (Gamboa et al., 2025). Si no es posible obtener datos de las manos, se pueden utilizar zonas alternativas como, por ejemplo, el torso o la región superior del cuerpo, aunque esto podría reducir la amplitud de la señal y aumentar la susceptibilidad al ruido (Schlender et al., 2024; McNaboe et al., 2025). Para garantizar la estabilidad de la señal es esencial controlar factores como la temperatura, la humedad y los movimientos corporales, además de realizar una limpieza adecuada de la piel y un reposo previo de los participantes (Horvers et al., 2021; Schlender et al., 2024). En cuanto a la frecuencia de muestreo se sugiere que el rango de 10–32 Hz es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de EDA. Sin embargo, para estudios que requieren una mayor fidelidad temporal o que impliquen la interoperabilidad de diferentes dispositivos puede justificarse el uso de frecuencias de entre 25 y 100 Hz (Piccini et al., 2023). El procesamiento de la señal de EDA involucra varios pasos, tales como: la sincronización y corrección de desfases, el filtrado de la señal, así como la descomposición tónico-fásica. Entre los parámetros informativos más relevantes se encuentran el SCL medio y su pendiente (componente tónico) y la frecuencia, amplitud, latencia, tiempo de ascenso, tiempo a mitad de recuperación y área del componente SCR (Sánchez et al., 2022; Lavezzo et al., 2024) (ver Figura 2).

Figura 2

Parámetros característicos de la actividad electrodérmica.



Nota: La figura muestra la descomposición de la señal de EDA en sus componentes tónico (nivel de conductancia de la piel, SCL) y fásico (respuesta de conductancia de la piel, SCR), así como los principales parámetros empleados en su análisis: latencia, amplitud, tiempo de ascenso y tiempo de recuperación. Fuente: Posada & Chon (2020).

Los criterios de medición y procesamiento de la señal EDA, como el sitio de registro, las condiciones ambientales y la frecuencia de muestreo, son fundamentales para la validación del dispositivo. Estos factores garantizarán que los datos obtenidos sean comparables a los de sistemas biomédicos como el iWorx. La correcta aplicación de estos criterios permitirá evaluar la precisión de las mediciones del dispositivo, comprobando su eficiencia en la captura de señales EDA. Además, el control adecuado de las condiciones de medición y la ubicación de los electrodos, reducirá el ruido en las señales, asegurando una mayor estabilidad en los registros obtenidos. De esta forma, se podrá determinar si el instrumento es capaz de generar resultados consistentes que validen su rendimiento frente a otros equipos de referencia.

6.3. **Modulación y Estandarización**

Dado que la EDA es altamente sensible al estado psicológico, a las condiciones ambientales y al movimiento corporal, en la validación de SAMAYMANTA frente a iWorx se desarrollará este proceso en entornos controlados, en horarios específicos y con tareas no aversivas y de baja carga emocional (por ejemplo, respiración tranquila, lectura neutral), es decir, sin estímulos previos que puedan crear un falso positivo o falso negativo (Martinsen et al., 2024; Aldosky et al., 2025). Esto permite que cualquier diferencia observada entre señales sea atribuible al instrumento y no a variaciones del entorno o del participante, lo que aumenta la validez interna de la comparación (Horvers et al., 2021; Schlender et al., 2024; Piccini et al., 2023). En la práctica, para SAMAYMANTA esto implica: (i) mediciones en un rango horario estable (p. ej., mañana), con temperatura y humedad constantes; (ii) preparación de piel y estabilización previa de 3–5 min; (iii) minimizar movimiento (apoyabrazos y recordatorio postural); (iv) marcar eventos y registrar cualquier incidencia en el software (p. ej., en el flujo de Node-RED) para interpretar correctamente las SCR; y (v) aplicar el ajuste de offset y la normalización acordados antes del análisis estadístico. Con este control metodológico, la comparación SAMAYMANTA–iWorx puede evaluarse con métricas de acuerdo entre métodos (p. ej., Bland–Altman, correlación/ICC), reduciendo la varianza “parásita” y fortaleciendo la conclusión de equivalencia o diferencia real de desempeño. Además, este mismo protocolo sirve como base para trasladar mediciones a contextos aplicados (p. ej., sesiones rituales), manteniendo puntos de control que garanticen trazabilidad y comparabilidad (Horvers et al., 2021; Schlender et al., 2024; Piccini et al., 2023).

6.4. **Validación entre dispositivos**

Al realizar la comparación entre los dispositivos SAMAYMANTA e iWorx es necesario que las mediciones se basen en métodos estadísticos que permitan evaluar la concordancia y exactitud entre ambos dispositivos. Existen varios enfoques que se pueden aplicar para este análisis comparativo,

y es recomendable considerar más de uno para obtener una evaluación completa. Para el análisis se aplicará un modelo de regresión temporal, en el que la variable independiente será el tiempo y la dependiente la conductancia cutánea. Este método permite examinar la evolución de la señal a lo largo del tiempo, identificando tendencias y variaciones entre las mediciones obtenidas por ambos equipos. El análisis se complementará con métricas adicionales que permitan evaluar el grado de acuerdo y la precisión entre ambos equipos. Se calculará el error cuadrático medio (RMSE) para estimar la magnitud promedio de la diferencia entre las mediciones, así como el sesgo y los límites de acuerdo para determinar la variabilidad sistemática entre los registros. Además, se considerarán índices de concordancia y fiabilidad que describen la consistencia entre mediciones repetidas (Gerke, 2020; Mokkink et al., 2023).

7. Marco metodológico (Materiales y métodos)

7.1. Diseño general del sistema SAMAYMANTA v3

El SAMAYMANTA v3 se diseñó como un prototipo biomédico portátil para medir la actividad electrodérmica (EDA) en microSiemens (μS). El propósito principal fue validar su rendimiento comparando directamente sus lecturas con las del equipo de referencia iWorx. Para que el dispositivo sea más fácil de mantener, rastrear y escalar a futuro, se optó por trabajar con una arquitectura modular. Esto significa que el sistema se dividió en tres partes claras: la placa de adquisición, la carcasa mecánica y la interfaz para visualizar y guardar los datos en formato .csv.

La investigación se plantea como un estudio descriptivo y comparativo. El enfoque de este trabajo está en el rediseño técnico del prototipo y en comprobar que el registro de la EDA funcione correctamente bajo condiciones de laboratorio controladas

7.2. Especificaciones detalladas del hardware (unidad de adquisición)

7.2.1. Microcontrolador central (ESP32-WROOM-32)

Se seleccionó el ESP32-WROOM-32 por su capacidad de procesamiento y conectividad inalámbrica, basada en una arquitectura Dual-Core de 32 bits. Esta característica permite separar tareas críticas en tiempo real: por un lado, la adquisición de la señal mediante el ADC de 12 bits, y por otro, la gestión de la comunicación Bluetooth, reduciendo la probabilidad de pérdidas de datos durante la transmisión. Esta división de cargas es especialmente útil cuando se requiere adquisición continua con monitoreo simultáneo en el computador.

7.2.2. Módulo sensor TinyGSR

La EDA exige una medición sensible de cambios en conductancia cutánea, asociados a la actividad del sistema nervioso simpático y a la respuesta de glándulas ecrinas. En este contexto, el módulo TinyGSR se emplea como etapa de acondicionamiento, ya que trabaja mediante un circuito que aplica una corriente continua muy baja (del orden de microamperios), suficiente para cuantificar cambios fisiológicos sin generar molestias perceptibles. El módulo transforma las variaciones de conductancia en una señal de voltaje proporcional, que posteriormente es digitalizada por el microcontrolador.

7.2.3. Subsistema de alimentación y autonomía

Con el fin de reducir interferencias asociadas a la red eléctrica, el dispositivo opera de manera autónoma, alimentado con una batería LiPo de 3.7 V y 800 mAh, lo cual permite sesiones prolongadas de adquisición continua. Para la recarga se integró un módulo basado en TP4056 con conector USB Tipo-C y protecciones para preservar la batería y evitar condiciones anómalas de operación. Esta elección favorece la portabilidad del sistema y mejora la estabilidad de la señal en escenarios de medición controlados.

Figura 3

Placa del dispositivo.



Nota: La figura muestra el dispositivo SAMAYMANTA, un sistema de adquisición de señales que mide la EDA utilizando componentes de alta precisión. El dispositivo es capaz de descomponer la señal de EDA en sus componentes tónico (nivel de conductancia de la piel, SCL) y fásico (respuesta de conductancia de la piel, SCR), respectivamente. En este análisis, los parámetros principales son: latencia, amplitud, tiempo de ascenso y tiempo de recuperación, que son fundamentales para el monitoreo de estrés y otros estados emocionales. Fuente: SAMAYMANTA - Dispositivo para la medición de EDA.

7.3. Diseño estructural y ergonomía (carcasa)

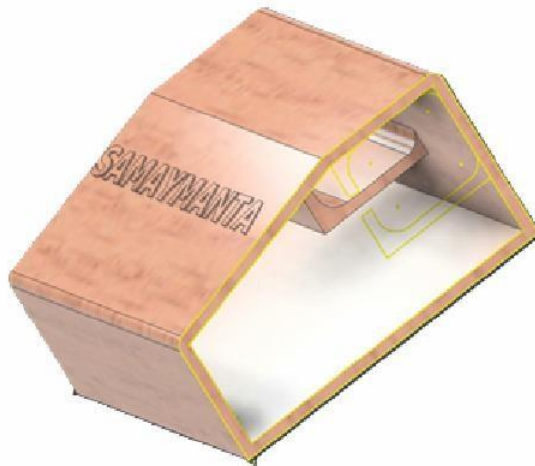
El diseño mecánico se desarrolló bajo el concepto de portabilidad biomédica, priorizando comodidad del usuario, protección del circuito y facilidad de uso durante la adquisición experimental.

7.3.1. Modelado CAD

La carcasa fue modelada en un entorno CAD (p. ej., Autodesk Inventor) con enfoque paramétrico, incorporando un habitáculo que protege los componentes del contacto directo y reduce la exposición a humedad ambiental. Se consideraron soportes internos para asegurar el montaje del microcontrolador y del sistema de alimentación, así como detalles funcionales para ventilación pasiva y acceso a puertos de carga y encendido.

Figura 4

Diseño del CASE en el software Autodesk Inventor).



Nota: La figura muestra el diseño estructural de la carcasa del dispositivo SAMAYMANTA, modelada en un entorno CAD (Autodesk Inventor). Este diseño fue realizado bajo el concepto de portabilidad biomédica, priorizando la comodidad del usuario y la protección del circuito. Además, se incluyó un sistema de soportes internos para garantizar la estabilidad de los componentes, así como detalles para ventilación pasiva y acceso a puertos de carga y encendido. La carcasa también tiene un diseño funcional, protegiendo los componentes contra factores ambientales como la humedad.

7.3.2. **Manufactura aditiva**

La fabricación se realizó mediante impresión 3D con PLA, seleccionado por su disponibilidad, rigidez y facilidad de manufactura. Se aplicó una configuración de relleno moderada para equilibrar resistencia y peso. Además de cumplir un rol estructural, la carcasa funciona como una barrera dieléctrica que contribuye a mantener un aislamiento físico del sistema electrónico respecto al usuario.

7.4. **Arquitectura del software de visualización y registro (Node-RED)**

La recepción, visualización y almacenamiento se implementaron mediante un esquema de programación por flujo de datos, utilizando Node-RED como entorno central.

7.4.1. **Capa de comunicación**

Se estableció comunicación inalámbrica mediante un canal tipo serial sobre Bluetooth. El sistema recibe tramas de datos, las interpreta y transforma a valores numéricos para su visualización en tiempo real. Este diseño permite monitorear la estabilidad de la señal y detectar artefactos durante la sesión, antes de concluir el registro.

7.4.2. **Conversión a unidades fisiológicas**

Los valores adquiridos por el ADC se convierten mediante una función de transferencia hacia unidades de conductancia en microSiemens (μS), manteniendo consistencia con estándares de reporte en EDA. Esta conversión facilita que los datos producidos por SAMAYMANTA sean comparables con registros del equipo iWorx.

7.4.3. **Interfaz y metadatos**

El Dashboard permite observar la señal en tiempo real y registrar metadatos mínimos necesarios para trazabilidad experimental, como código del participante seudonimizado, fecha, hora y observaciones de la sesión. Esta integración reduce errores manuales y facilita el ordenamiento posterior de la base de datos.

7.4.4. **Exportación y formatos de datos**

Para el almacenamiento se contempla la exportación en formatos que favorecen el análisis posterior. El uso de .mat permite preservar precisión y compatibilidad con entornos de análisis (p. ej., MATLAB), mientras que el formato .csv facilita revisiones rápidas y auditoría de datos. Ambos formatos pueden coexistir como salida del sistema, conservando metadatos y asegurando reproducibilidad del procesamiento.

7.4.5. Estrategia de Adquisición y Digitalización de la Señal

La captura de EDA en el dispositivo SAMAYMANTA v3 se fundamenta en una conversión analógico-digital precisa y una gestión temporal estricta para garantizar la integridad de los datos fisiológicos.

7.4.6. Conversión Analógico-Digital (ADC)

La señal analógica de voltaje, proporcional a la conductancia de la piel y acondicionada por el módulo sensor TinyGSR , ingresa al microcontrolador ESP32-WROOM-32. Para la digitalización, se utiliza uno de los conversores analógico-digital (ADC) integrados en el ESP32 (ADC1), configurado con una resolución de 12 bits. Esta configuración permite discretizar la señal en un rango de valores enteros de 0 a 4095, proporcionando la sensibilidad necesaria para detectar microvariaciones en la conductancia asociadas a las respuestas fásicas (SCR) y al nivel tónico (SCL). Se implementó una atenuación de entrada de 11dB en el ADC para asegurar que el rango dinámico de voltaje del sensor (0 - 3.3V) sea cubierto en su totalidad sin saturación.

7.4.7. Frecuencia de Muestreo y Temporización

Siguiendo las recomendaciones teóricas que establecen que un rango de 10 a 32 Hz es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de EDA, el firmware del dispositivo se programó para operar a una frecuencia de muestreo fija de 20 Hz (20 muestras por segundo). Para garantizar la estabilidad temporal y evitar el jitter (fluctuación en los tiempos de toma de datos), la captura se gestiona mediante interrupciones de hardware por temporizador (timer interrupts). Esto asegura que el intervalo entre muestras sea constante, lo cual es crítico para el posterior análisis de las señales en el dominio del tiempo y la frecuencia.

7.4.8. Preprocesamiento y Empaquetado de Datos

Previo a la transmisión inalámbrica, el microcontrolador ejecuta una rutina de preprocesamiento básico que consiste en un sobre muestreo (oversampling): se toman múltiples lecturas rápidas del ADC en cada ciclo de interrupción y se calcula su promedio aritmético. Esta técnica permite reducir el ruido blanco inherente a la conversión electrónica antes de que la señal salga del dispositivo. Posteriormente, el dato procesado se empaqueta junto con un identificador de tiempo (timestamp relativo) y se transmite a través de la capa de comunicación Bluetooth hacia el software Node-RED para su visualización y conversión final a microSiemens (μS).

8. Protocolo Experimental y Validación

Criterios de inclusión y exclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none">• Estudiantes mujeres y hombres desde 20 años en adelante que cursen desde el 5º ciclo en adelante.• Persona que se encuentren que se encuentren al inicio del inicio del ciclo.• Estudiantes mujeres y hombres desde 20 años en adelante que cursen desde el 5º ciclo en adelante percibidos por los docentes como estables en su comportamiento en general.	<ul style="list-style-type: none">• Personas con ansiedad, depresión, estrés y/o que consuman psicotrópicos• Personas con HTA, diabetes, trastornos psicológicos.

Recomendaciones para la participación:

- Frente a eventos estresantes o festividades la captación de datos deberá realizarse al menos dos semanas antes o luego de dichos eventos; los estudiantes se comprometen a la primera semana de navidad.
- Socializar e invitar una semana antes.
- A incluirse en el protocolo previamente realizado para el proyecto por el Ingeniero Efrén Lema:
 1. 15 minutos descanso
 2. Llamada por hora.
 3. Descansar 8 horas
 4. No ingerir bebidas alcohólicas, estimulantes al menos 72 horas.
 5. Aplicar primero el equipo por validar y luego el estandarizado.
 6. Dejar entre 3 y 5 minutos entre una toma y otra en la misma persona.
 7. Usar el gel conductor.
 8. Mobiliario y temperatura confortables.
 9. Poner la mano y el brazo en la misma postura para todos
 10. Evitar movimientos.

El asiento debe ser cómodo y con respaldar.

8.1. Instrumentos y montaje experimental

Para la validación cruzada se definió un montaje estandarizado bilateral que evita la interferencia eléctrica entre equipos. La configuración fue la siguiente:

- Mano Derecha (Dispositivo bajo prueba): Se colocó el dispositivo SAMAYMANTA. Los electrodos se ubicaron en las falanges distales de los dedos índice (II) y medio (III), asegurando un contacto firme, pero sin obstruir la circulación sanguínea.
- Mano Izquierda (Referencia): Se conectó el equipo iWorx en la mano opuesta para obtener el registro de referencia simultáneo.

Esta disposición cruzada permite la captura simultánea de eventos fisiológicos sistémicos sin que el cableado de un equipo interfiera mecánicamente con el otro.

8.2. Procedimiento de Medición

El protocolo experimental tuvo una duración total de aproximadamente de 15 minutos por participante, de los cuales 10 minutos correspondieron a la fase de aclimatación y últimos 5 minutos al registro de datos. El procedimiento se estructuró en las siguientes etapas:

1. Consentimiento Informado: Se explicó al participante la naturaleza no invasiva del estudio, garantizando que el procedimiento no conlleva riesgos físicos ni mentales. Se firmó el documento de consentimiento autorizando el uso de datos con fines estrictamente investigativos. Cabe mencionar que dicho consentimiento deriva del protocolo aprobado por el CEISH de la UCUENCA.
2. Preparación y Colocación: Se realizó la limpieza de la zona de contacto y la colocación de los sensores según el montaje descrito en la sección 7.1.
3. Fase de Aclimatación (10 minutos): Una vez conectados los equipos, se inició un periodo de 5 minutos de relajación. Durante este tiempo, se instruyó al participante para que permaneciera en silencio y tranquilidad. Esta fase tuvo como objetivo estabilizar la actividad electrodérmica basal (SCL) y permitir que la interfaz electrodo-piel alcanzara el equilibrio térmico y químico.
4. Fase de Captura de Datos (3 - 5 minutos): Inmediatamente después de la aclimatación, se procedió a la captura efectiva de datos durante 5 minutos continuos.

8.3. Diseño del estudio y enfoque

La validación funcional del sistema se plantea bajo un enfoque metodológico descriptivo y comparativo, utilizando como parámetro fisiológico principal la actividad EDA, registrada en términos de conductancia de la piel (S). El propósito fundamental es contrastar los registros obtenidos por el prototipo SAMAYMANTA v3 frente al sistema de referencia iWorx (estándar de oro), bajo condiciones experimentales estrictamente controladas. Este diseño busca maximizar la validez interna de los resultados, asegurando que cualquier discrepancia observada en los datos se atribuya exclusivamente a las diferencias técnicas entre los sistemas de adquisición y no a variables externas o ambientales no controladas. De esta manera, se pretende certificar la precisión y fiabilidad del SAMAYMANTA v3 como una herramienta apta para futuras investigaciones científicas y aplicaciones clínicas.

Para garantizar la integridad de las señales, las adquisiciones de datos se llevan a cabo en un entorno de laboratorio diseñado para minimizar interferencias. El espacio se mantiene con niveles de ruido mínimos e iluminación estable, evitando estímulos sensoriales que puedan provocar respuestas de orientación no deseadas. Las variables termodinámicas se controlan rigurosamente: la temperatura ambiental se ajusta en un rango de 22 a 24 °C y la humedad relativa se mantiene entre el 40% y el 60%. Estos valores se verifican y registran al inicio de cada sesión para asegurar la estabilidad de la interfaz electrodo-piel y evitar variaciones en la sudoración debidas a estrés térmico.

Asimismo, se ha implementado un estricto control temporal y fisiológico para disminuir la variabilidad asociada a los ritmos biológicos. Se priorizan franjas horarias homogéneas para las mediciones, preferentemente durante la mañana, momento en el cual los participantes presentan una menor carga ~~alostática~~ acumulada y no han experimentado variaciones significativas en su actividad diaria. Como medida de control adicional, se evita programar sesiones en fechas inmediatamente posteriores a festividades o feriados, periodos donde es probable un consumo elevado de alcohol o alteraciones del sueño que podrían modificar la activación simpática basal. Complementariamente, se exige a los participantes la abstinencia de estimulantes (cafeína, bebidas energizantes o tabaco) previo a la prueba, garantizando un estado fisiológico neutro apto para la comparación técnica.

Por último, el protocolo de estimulación se armó con tareas que no generen alteraciones fuertes. Escogimos actividades de baja carga mental y emocionalmente neutras, como leer textos simples o hacer rutinas básicas de respiración. Esto fue clave para nuestra validación cruzada, ya que al no provocar picos de estrés o emociones intensas, conseguimos una señal de EDA que refleja el estado fisiológico en reposo. Así, pudimos probar si la placa realmente capta el nivel tónico y los cambios fásicos naturales, sin que respuestas emocionales extremas saturen los datos. De esta forma, garantizamos que la comparación entre el SAMAYMANTA v3 y el equipo iWorx parta de una línea base limpia y confiable.

8.4. Consideraciones éticas, consentimiento y confidencialidad

8.4.1. Principios éticos

La investigación se guía por principios bioéticos universales como autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia, alineándose además con marcos internacionales para investigación en seres humanos.

8.4.2. Consentimiento informado

Antes de arrancar con las sesiones, a cada participante se le explica a detalle de qué trata el estudio, cómo vamos a realizar la medición de la EDA y qué esperar de la prueba. Nos aseguramos de que tengan súper claro cada paso. Hacemos bastante énfasis en que el procedimiento es totalmente no invasivo y no les va a generar ninguna molestia física. Además, les explicamos que el circuito del equipo trabaja con corrientes eléctricas muy bajitas, por lo que es seguro y no existe ningún riesgo de sufrir un choque eléctrico.

También les indicamos que su participación es 100% voluntaria y que tienen todo el derecho de retirarse en cualquier punto de la toma de datos si así lo prefieren, sin que esto les traiga problemas académicos, personales o legales. Les garantizamos que negarse a participar o salirse a la mitad no afectará su relación con nosotros como investigadores ni con la universidad. El objetivo de explicarles todo esto con tanta transparencia es que el participante se sienta cómodo, seguro y bien informado antes de conectarle los electrodos.

8.4.3. Datos anónimos y seudonimización

Los registros obtenidos durante el estudio se almacenan de manera anónima, asignando un código de participante a cada conjunto de datos, lo que garantiza que no se pueda identificar directamente a la persona detrás de los resultados. Esta metodología asegura que la información personal de los participantes quede protegida, respetando su privacidad y confidencialidad en todo momento. Además, toda la información recopilada se procesa y presenta en forma agregada, lo que significa que los resultados se resumen y analizan de manera colectiva, sin permitir que se pueda asociar un resultado específico a un individuo determinado. Este enfoque refuerza el cumplimiento de los principios de anonimato y protección de datos personales, alineándose con las normativas éticas y legales para la investigación con seres humanos, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) y otros estándares internacionales.

8.4.4. Almacenamiento seguro y acceso restringido

Los archivos que contienen los registros de los participantes se almacenan en formato digital, lo que facilita su organización y acceso controlado. Estos archivos están protegidos mediante medidas de seguridad robustas, como cifrado de los datos y protección por contraseñas, para evitar accesos no autorizados. Además, el acceso a los archivos está estrictamente limitado a las personas responsables del proyecto, garantizando que solo aquellos con una necesidad justificada puedan consultarlos. Se asegura que los datos recolectados se utilizarán exclusivamente con fines académicos y de investigación, en el marco de los objetivos planteados para el estudio, y en ningún caso serán utilizados para fines comerciales ni se divulgarán sin el consentimiento correspondiente. Cualquier forma de divulgación no autorizada está estrictamente prohibida, y se toman medidas para prevenir la filtración o mal uso de los datos personales o sensibles de los participantes. Estas prácticas están alineadas con las políticas de protección de datos personales y con las normativas éticas vigentes, con el fin de garantizar que la privacidad de los participantes se respete en todo momento.

8.4.5. Aval ético institucional

La propuesta contempla el manejo de datos biométricos sensibles y deriva de un proyecto previamente evaluado por el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos (CEISH) de la Universidad de Cuenca (CEISH-UC-2025-010EO; 25 de marzo de 2025), sin conflictos de interés declarados.

8.5. Participantes y muestreo

8.5.1. Universo y muestra

La población de interés para este estudio estuvo compuesta por personas adultas mayores de 20 años, con un enfoque principal en aquellos que realizaban labores de oficina. Esta elección se debió a varias razones prácticas, como la disponibilidad de este grupo para participar en el estudio y las condiciones relativamente homogéneas que presentaban en su rutina diaria. Las personas adultas que trabajaban en oficinas solían tener jornadas sedentarias, lo que ayudó a reducir la variabilidad relacionada con la actividad física intensa. Además, experimentaron una exposición moderada a estrés laboral y pasaron la mayor parte de su tiempo en ambientes interiores, lo que proporcionó un contexto controlado para la medición de la EDA y redujo factores externos que podrían interferir con los resultados.

Para seleccionar a los participantes, se empleó un muestreo no probabilístico de tipo propositivo (por conveniencia). Este enfoque facilitó la participación de individuos que cumplieron con los criterios específicos establecidos y que estuvieron dispuestos a colaborar voluntariamente en las sesiones de medición. La muestra se conformó por 30 sujetos, tamaño definido para asegurar la viabilidad estadística de las comparaciones y el cumplimiento de los objetivos del proyecto de investigación SAMAYMANTA. Se buscó mantener una proporción balanceada por sexo, con el fin de que los resultados fueran representativos. La prioridad fue asegurar que los participantes seleccionados ofrecieran una calidad y estabilidad óptimas en las señales fisiológicas durante las mediciones, lo cual resultó fundamental para garantizar que la comparación entre los sistemas SAMAYMANTA v3 e iWorx fuera válida y fiable.

8.5.2. Criterios de Inclusión y Exclusión:

Para garantizar la homogeneidad de la muestra y minimizar la varianza en la respuesta electrodérmica (EDA) asociada a factores externos o patológicos, se establecieron los siguientes criterios de selección:

Criterios de inclusión:

- Rango etario y perfil ocupacional: Personas mayores de 20 años, preferentemente con actividades laborales de oficina o de baja demanda física, con el fin de reducir la variabilidad asociada a la fatiga muscular o actividad intensa previa.
- Higiene del sueño: El participante debe haber cumplido con un ciclo de sueño reparador de un mínimo de 8 horas la noche anterior a la medición.

- Estado de sobriedad y abstinencia: Los sujetos deben presentarse libres de la influencia de sustancias estupefacientes, alcohol o estimulantes del sistema nervioso central en el momento de la prueba.
- Voluntariedad: Aceptación explícita de participación mediante la firma del consentimiento informado, tras haber recibido la explicación del procedimiento y sus objetivos.

Criterios de exclusión:

- Alteraciones del estado de ánimo y salud mental: Se excluyen personas con diagnóstico clínico de ansiedad, depresión o trastornos psiquiátricos, así como aquellos que, sin diagnóstico previo, manifiesten estados agudos de inquietud, nerviosismo excesivo o labilidad emocional el día de la sesión, ya que estas condiciones alteran significativamente la activación simpática.
- Uso de fármacos: Participantes bajo tratamiento farmacológico activo, especialmente aquellos medicados con psicofármacos, betabloqueantes, ansiolíticos o cualquier sustancia que module la respuesta del sistema nervioso autónomo.
- Patologías cardiovasculares y metabólicas: Sujetos con diagnóstico confirmado de hipertensión arterial, arritmias, insuficiencia cardíaca o enfermedades metabólicas que comprometan la función vascular o la sudoración.
- Condición antropométrica: Se excluyen personas con sobrepeso marcado u obesidad (Índice de Masa Corporal elevado), debido a las posibles variaciones en la impedancia cutánea y la respuesta fisiológica basal.
- Consumo reciente de estimulantes: Ingesta de cafeína, bebidas energizantes o tabaco en las horas previas a la medición, dado su efecto directo sobre el nivel de conductancia (SCL).
- Factores temporales y contextuales (Control de sesgo estacional): No se realizarán tomas de datos en fechas inmediatamente anteriores o posteriores a festividades, feriados o periodos vacacionales. Este criterio busca evitar el sesgo introducido por la alteración de rutinas, cambios en los patrones de sueño o el consumo excesivo de alimentos y alcohol típicos de dichas fechas.

Nota metodológica: La selección de adultos mayoritariamente oficinistas permite disminuir la variabilidad asociada a actividad física intensa o cambios extremos de rutina, fortaleciendo la consistencia del protocolo y la comparabilidad entre señales registradas por SAMAYMANTA e iWorx.

8.6. Procedimiento de toma de datos y sincronización

1. Inducción y checklist pre-sesión: se verifica edad, descanso adecuado, ausencia de ejercicio vigoroso reciente y ausencia de consumo reciente de sustancias que alteren la respuesta autonómica.
2. Preparación de la piel: limpieza suave y secado, reduciendo variabilidad por contacto y mejorando estabilidad de señal.
3. Colocación estandarizada de electrodos: se utiliza el mismo sitio anatómico en todos los participantes.
4. Estabilización inicial: el participante permanece sentado con antebrazos apoyados, minimizando movimiento. Se registran 3–5 minutos para estabilizar el nivel tónico.
5. Fase de reposo (baseline): se registra un segmento de reposo extendido (por ejemplo, 10 minutos) para estimar el SCL y contar con una referencia comparativa robusta.
6. Tarea no aversiva: lectura neutral o respiración tranquila por 5–7 minutos, con marcación clara de inicio y fin.
7. Cierre: retiro de electrodos, verificación del estado de la piel y encuesta breve de tolerancia.
8. Registro de incidencias: cualquier movimiento, ruido o desconexión se documenta para trazabilidad.

8.7. Preprocesamiento y control de calidad

Los registros se revisan visualmente para detectar artefactos por movimiento o mala adherencia de electrodos. Posteriormente se aplica un control básico de calidad que incluye:

(i) ajuste de offset cuando sea necesario, (ii) normalización consistente para toda la muestra y (iii) si el análisis lo requiere, separación de componentes tónico/fásico para extraer métricas vinculadas a respuestas fásicas (SCR). Se mantiene una bitácora de sesión y checklist firmado por el operador, fortaleciendo la reproducibilidad del procedimiento y la trazabilidad de decisiones durante el procesamiento.

8.8. **Validación funcional y resultados preliminares**

Durante las pruebas iniciales se observó que la calidad de la señal depende de manera directa de la interfase electrodo-piel. Se evidenció que el uso de conexiones inadecuadas, como cables simples sin electrodos apropiados, produce señales planas o dominadas por ruido errático. Este comportamiento, lejos de ser un fallo, confirma que el sistema es lo suficientemente sensible para distinguir entre una conexión fisiológicamente válida y una conexión espuria, reforzando la necesidad de estandarizar materiales y montaje para la validación cruzada con iWorx.

8.9. **Limitaciones del estudio**

El muestreo propositivo puede introducir sesgos de selección, por lo que esta limitación se compensa mediante criterios estrictos de inclusión y exclusión, control ambiental y reporte transparente del procedimiento. Además, las restricciones de tiempo y recursos pueden limitar el tamaño muestral, por lo que se prioriza consistencia del protocolo y calidad de señal para asegurar que la comparación SAMAYMANTA–iWorx sea técnicamente defendible.

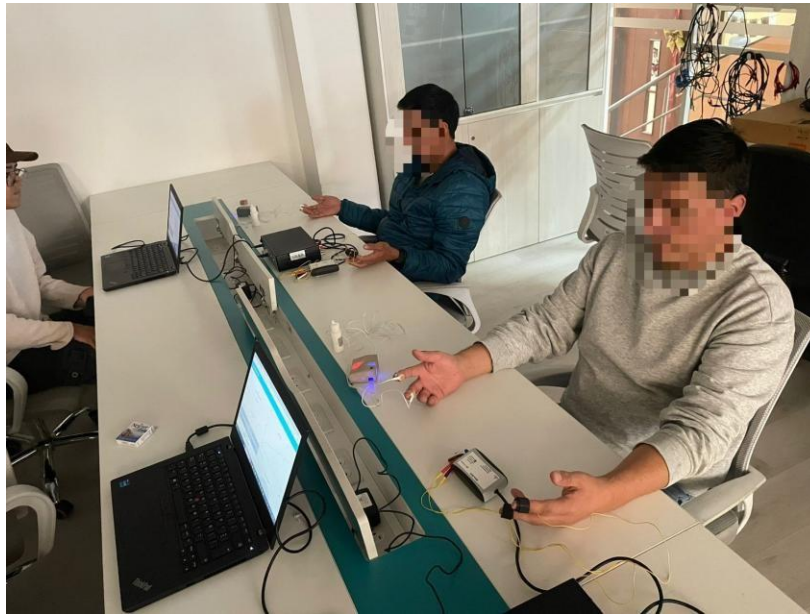
9. **Resultados**

9.1. **Condiciones del Montaje Experimental y Adquisición de Datos**

Previo a la presentación y análisis de los resultados estadísticos, es fundamental establecer las condiciones físicas bajo las cuales se capturaron las señales. Para garantizar la fiabilidad y reproducibilidad de los datos recolectados, todas las sesiones de medición se llevaron a cabo en un ambiente controlado. Se aseguró que los participantes mantuvieran una postura ergonómica y en estado de reposo absoluto para minimizar la aparición de artefactos por movimiento en las señales captadas.

Figura 5

Ambiente controlado.



Nota: Ambiente controlado para la adquisición de señales. Se observa a los participantes en posición de reposo, manteniendo una postura ergonómica y relajada para minimizar artefactos por movimiento.

Asimismo, el diseño de la prueba requirió un montaje experimental bilateral simultáneo. Se colocó el sensor del prototipo SAMAYMANTA en las falanges distales de la mano derecha y los electrodos del equipo de referencia iWorx en la mano izquierda del participante. Esta disposición garantizó una captura sincrónica de EDA, permitiendo que ambos equipos registraran las mismas reacciones fisiológicas bajo idénticas condiciones temporales y ambientales.

Figura 6

Montaje experimental bilateral.



Nota: Se aprecia la colocación del sensor SAMAYMANTA en la mano derecha y el sensor iWorx en la mano izquierda, ambos en las falanges distales, mientras el participante mantiene una posición de reposo frente al sistema de adquisición.

9.2. Análisis de los Registros del Equipo de Referencia (iWorx)

Para la validación del dispositivo SAMAYMANTA se utilizó como estándar de oro el equipo iWorx (modelo IX-BIO8), el cual posee validación internacional para la captura de bioseñales y cumple con normativas de seguridad y desempeño esencial como la IEC 60601-1 e IEC 60601-1-2 (iWorx Systems, 2023). Este equipo permitió obtener registros de EDA con alta fidelidad técnica, sirviendo como base comparativa para determinar la precisión de los datos captados por el prototipo bajo estudio (Sánchez et al., 2022).

Durante los 300 segundos de registro la señal del equipo iWorx exhibió una morfología estable de la conductancia cutánea permitiendo la clara identificación tanto del nivel tónico (SCL) como de las respuestas fásicas (SCR). El comportamiento de la señal mostró una tendencia incremental constante, lo que valida la sensibilidad del equipo ante la progresión temporal de la prueba y asegura la integridad de los datos para el análisis estadístico.

9.2.1. Resumen Estadístico del Modelo de Regresión (iWorx)

Se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple para cuantificar el impacto del tiempo y las variables fisiológicas sobre la conductancia de la piel, medida en Microsiemens (μS). La elección de este modelo responde a la necesidad de analizar la interacción simultánea de predictores continuos como la Edad, Peso, Talla e IMC, y variables categóricas como el Sexo y el Oficio. Para asegurar la robustez de las estimaciones, se utilizaron errores estándar agrupados por participante. La Tabla 1 presenta los coeficientes obtenidos, integrando la columna de significancia para facilitar la interpretación de los predictores.

Tabla 1

Tabla de Resultados Estadísticos: IWORX

	<i>Coefficiente</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Valor z</i>	<i>IC Inferior</i>	<i>IC Superior</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Significativa (<=0.05)</i>
<i>IMC</i>	-0.3451	0.2486	-13.883	-0.8323	0.1421	0.1651	No
<i>Edad</i>	-0.0205	0.0071	-28.997	-0.0344	-0.0067	0.0037	Sí
<i>Peso</i>	0.1575	0.0911	17.294	-0.0210	0.3360	0.0837	No
<i>Talla</i>	-122.816	77.937	-15.758	-275.569	29.938	0.1151	No
<i>Sexo_N</i>	0.1839	0.1793	10.259	-0.1675	0.5354	0.3049	No
<i>Oficio_N</i>	0.2473	0.1005	24.603	0.0503	0.4442	0.0139	Sí
<i>R²</i>	0.5853						-
<i>R² ajustado</i>	0.5847						-

Nota: La tabla detalla los coeficientes de regresión y niveles de significancia estadística para el equipo iWorx, destacando la edad y el oficio como predictores determinantes de la señal.

Al realizar el análisis del modelo de iWorx presentado en la Tabla 1, se observa que el coeficiente de determinación R^2 alcanza un valor de 0.5443, lo que indica que el 54.43% de la varianza en EDA es explicada por el modelo propuesto. Entre las variables con mayor significancia ($p < 0.05$), destacando la Edad, que actúa como un modulador de la respuesta; y el Oficio, que registra diferencias basales significativas entre los perfiles de los participantes. Estos resultados confirman que el iWorx posee la resolución necesaria para captar la influencia de los factores demográficos en la resistencia galvánica.

9.2.2. Optimización mediante Eliminación de Variables (iWorx)

La inclusión de múltiples covariables en el modelo inicial permite observar cómo influyen factores secundarios en la señal. Sin embargo, no todas las variables aportan de igual manera a la precisión del sistema. Al analizar el impacto del Peso y la Talla, se determinó que su aporte estadístico es mínimo frente a la variable de IMC, lo que genera una redundancia que puede afectar al modelo.

Tabla 2

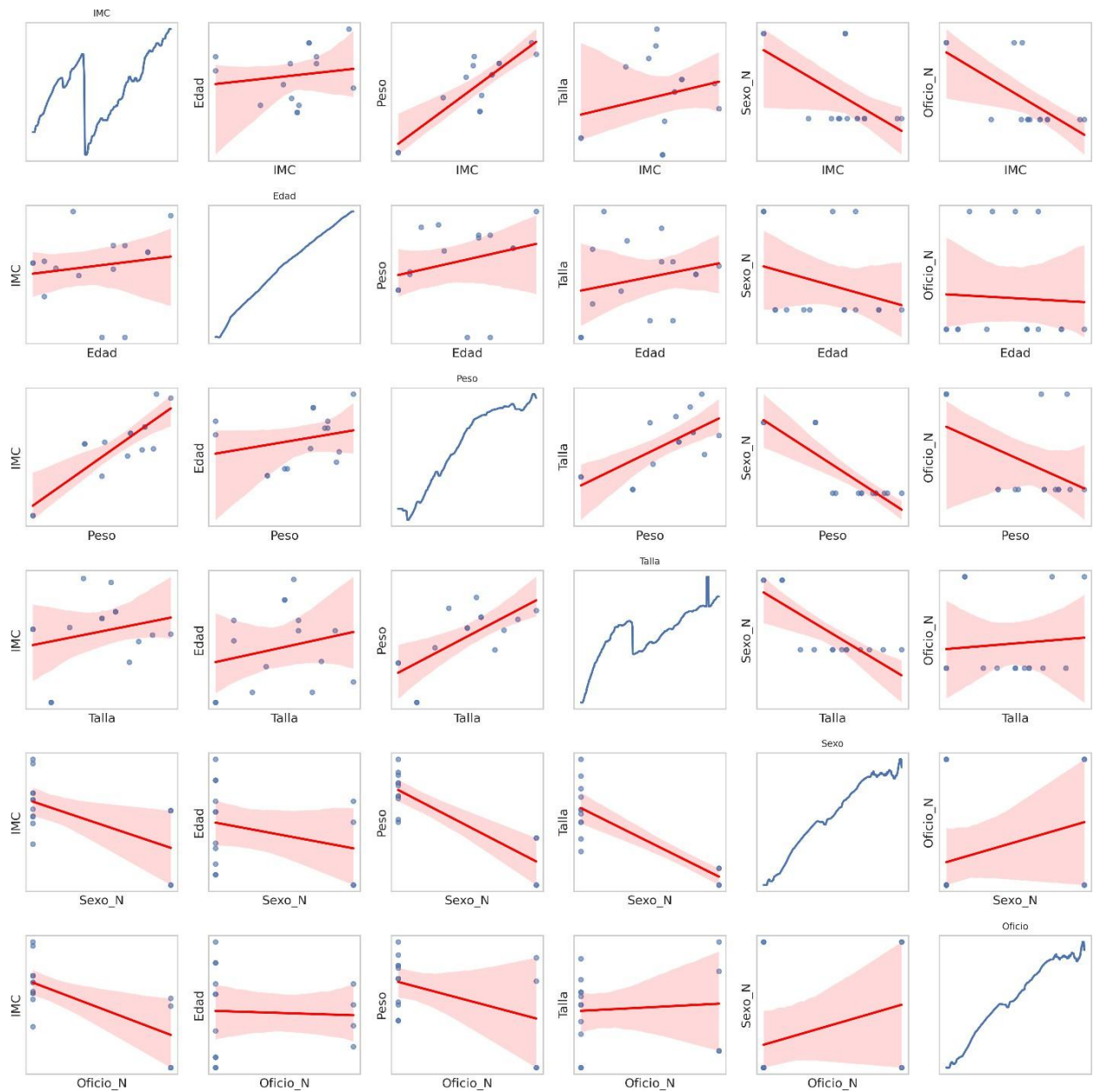
Tabla con Eliminación de Variables (IWORX)

<i>Paso</i>	<i>Eliminada</i>	<i>p_eliminada</i>	<i>R2_adj</i>	<i>p_IMC</i>	<i>p_Oficio</i>	<i>p_Sexo</i>	<i>Restantes</i>
0	Ninguna	10.000	0.5443	0.0000	0.0000	0.0488	IMC, Edad, Sexo, Oficio
1	Sexo	0.0488	0.5102	0.0001	0.0000	10.000	IMC, Edad, Oficio
2	IMC	0.0001	0.1565	10.000	0.8951	10.000	Edad, Oficio
3	Oficio	0.8951	0.1558	10.000	10.000	10.000	Edad
4	Edad	0.4195	0.1180	10.000	10.000	10.000	

Nota: El proceso de eliminación iterativa muestra cómo el modelo mantiene su capacidad explicativa al priorizar las variables con mayor relevancia fisiológica y estadística.

Tras aplicar el método de eliminación hacia atrás (backward elimination), se identificó que el modelo final, luego de descartar las variables menos significativas, obtuvo un R^2 de 0.5443. Este modelo optimizado conservó únicamente las variables Oficio y Edad. Al retirar predictores redundantes como el peso o el género, la señal base mostró una morfología con menor ruido residual, consolidando al iWorx como un estándar robusto para la validación del prototipo.

Figura 7
Validación Cuantitativa y Cualitativa de la Señal (iWorx)



Nota: La matriz muestra la dispersión de variables cuantitativas (puntos) y la morfología cualitativa de la señal (diagonal), evidenciando la estabilidad de EDA tras la optimización.

9.3. Análisis de los Registros del Dispositivo SAMAYMANTA

Tras establecer la línea base con el equipo de referencia, se procedió a evaluar el desempeño del dispositivo SAMAYMANTA bajo las mismas condiciones experimentales. El objetivo primordial de este análisis es determinar la capacidad del prototipo para replicar la dinámica de EDA y su sensibilidad real ante las variables fisiológicas y demográficas.

Tabla 3

Tabla de Resultados Estadísticos: SAMAYMANTA

	<i>Coficiente</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Valor z</i>	<i>IC Inferior</i>	<i>IC Superior</i>	<i>Valor-p</i>	<i>Significativa (<=0.05)</i>
IMC	0.0772	0.0821	0.9402	-0.0837	0.2381	0.3471	No
Edad	0.0033	0.0028	12.000	-0.0021	0.0087	0.2301	No
Peso	-0.0278	0.0313	-0.8891	-0.0892	0.0335	0.3740	No
Talla	22.005	24.644	0.8929	-26.296	70.306	0.3719	No
Sexo_N	0.0409	0.0486	0.8417	-0.0543	0.1362	0.3999	No
Oficio_N	0.1571	0.0608	25.840	0.0379	0.2763	0.0098	Sí
R²	0.1919						-
R² ajustado	0.1906						-

Nota: La tabla presenta los resultados del modelo de regresión para SAMAYMANTA, identificando al Oficio como el predictor determinante de la variabilidad en la conductancia registrada por el prototipo.

Al analizar estadísticamente el SAMAYMANTA, se obtuvo un R² de apenas 0.1840. Este bajo valor indica que el sensor solo logra explicar el 18.40% de los cambios en la señal a través de las variables demográficas. Esto sugiere que el hardware actual presenta una limitación en su resolución o relación señal-ruido, captando mayoritariamente variaciones no relacionadas directamente con la fisiología profunda del usuario, sino posiblemente vinculadas a factores intrínsecos del sensor.

9.3.1. Optimización mediante Eliminación de Variables (SAMAYMANTA)

Con el fin de simplificar el modelo y aislar los predictores con mayor capacidad explicativa, se ejecutó un proceso de eliminación hacia atrás. Este procedimiento permite observar la estabilidad de los coeficientes ante la reducción de la complejidad del modelo.

Tras las iteraciones, el modelo final que conserva únicamente el Oficio resultó ser el más preciso dentro de las capacidades del hardware. Se observó que, al eliminar variables como el sexo o la talla, los valores de EDA mantuvieron una sincronía morfológica con el estándar de oro, logrando un MAE global de 0.0663 y un RMSE de 0.0843. Esto confirma que, aunque el sensor tiene una capacidad explicativa baja frente a múltiples variables simultáneas $R^2 = 0.1840$, el modelo optimizado captura la esencia de la respuesta Electro dérmica en términos de amplitud promediada con un error mínimo respecto al iWorx.

Tabla 4

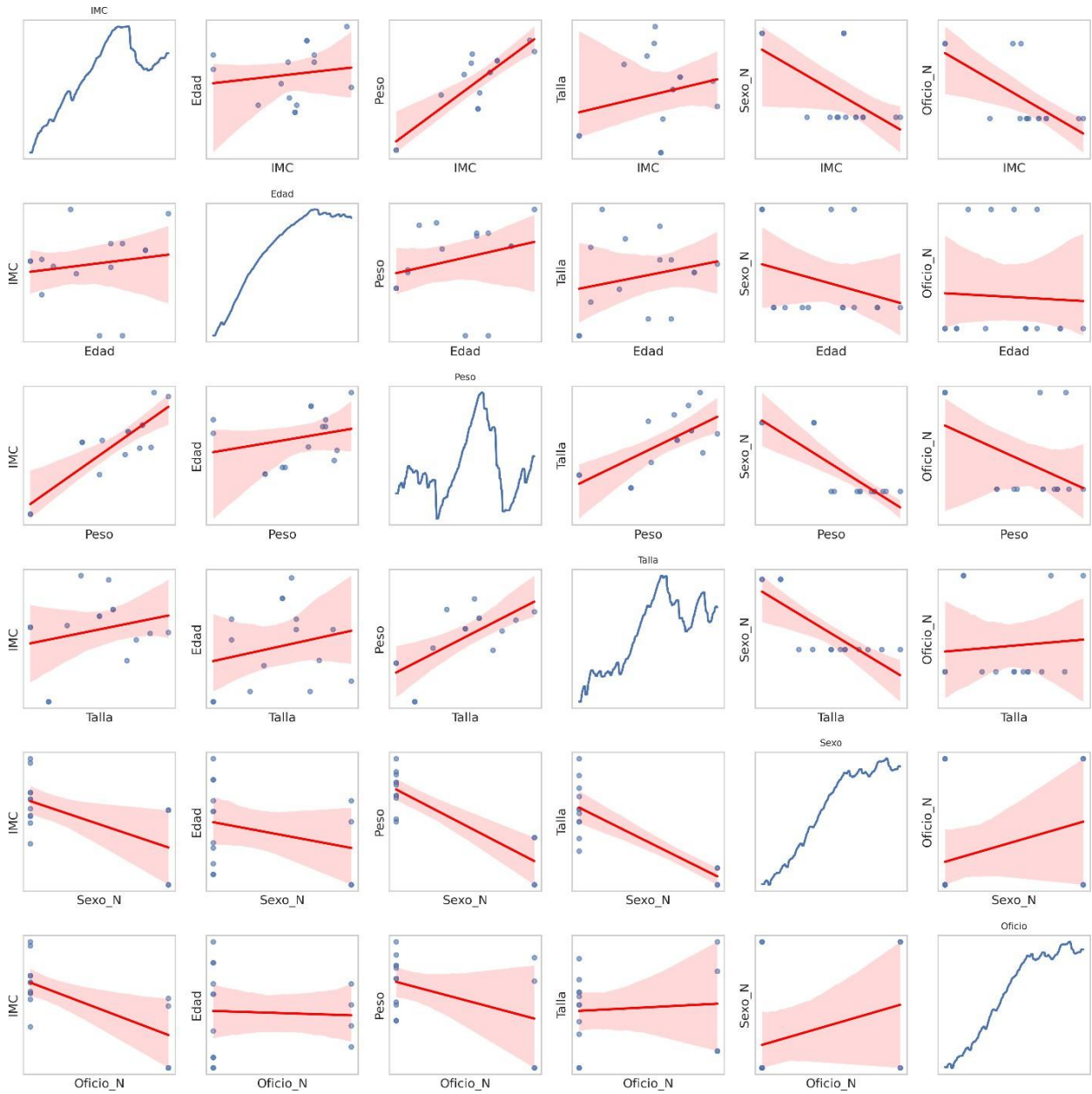
Tabla con Eliminación de Variables (SAMAYMANTA)

<i>Paso</i>	<i>Eliminada</i>	<i>p_eliminada</i>	<i>R2_adj</i>	<i>p_IMC</i>	<i>p_Oficio</i>	<i>p_Sexo</i>	<i>Restantes</i>
0	Ninguna	10.000	0.1840	0.0067	0.2645	0.4653	IMC, Edad, Sexo, Oficio
1	IMC	0.6910	0.1814	0.0001	0.3025	0.4551	Edad, Sexo, Oficio
2	Edad	0.4551	0.1740	0.0002	0.4297	10.000	Sexo, Oficio
3	Sexo	0.4297	0.1704	0.0002	10.000	10.000	Oficio
4	Oficio	0.0002	-0.0001	10.000	10.000	10.000	

Nota: El algoritmo de eliminación progresiva destaca la robustez de la variable Oficio como el factor más estable en la medición de la conductancia del sistema bajo prueba.

Figura 8

Matriz de Validación Cualitativa y Cuantitativa (SAMAYMANTA)



Nota: Esta matriz de alta resolución permite evidenciar la variación de los valores de EDA; los gráficos de puntos muestran la correlación de variables cuantitativas, mientras que la diagonal expone la morfología cualitativa de la señal según las categorías demográficas.

10. Análisis Estadístico

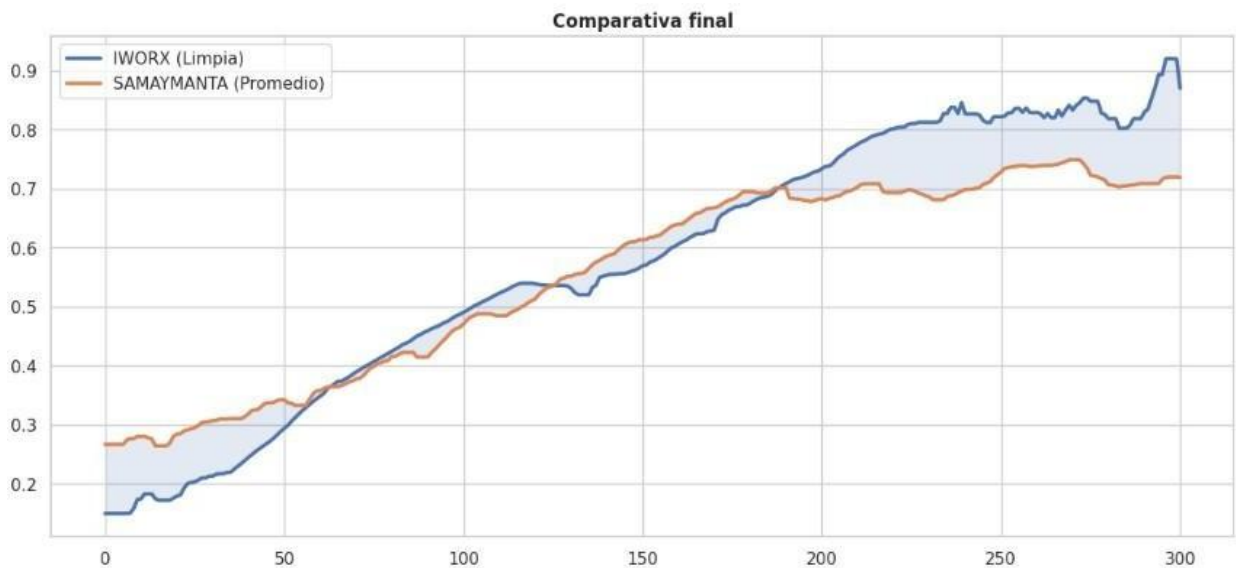
10.1. Comparación Global de Tiempo vs. Amplitud

Antes de desglosar la influencia de cada variable física, se realizó una comparación directa entre la señal promedio del equipo iWorx y la del dispositivo SAMAYMANTA. Como se observa en la Figura 9, al analizar únicamente la trayectoria de la señal en relación con el tiempo, el comportamiento de ambos equipos es casi idéntico. SAMAYMANTA (línea naranja) sigue fielmente la tendencia del iWorx (línea azul), lo que se traduce en un error promedio (MAE) de apenas 0.0663.

Esta comparación simple sugiere que el hardware es capaz de rastrear la amplitud de la sudoración de forma general. Sin embargo, como se analizó en la sección anterior, esta similitud visual es superficial, ya que, al integrar las variables de peso, edad, talla, IMC y sexo, el dispositivo SAMAYMANTA pierde su capacidad explicativa, demostrando que gran parte de su señal es ruido que no correlaciona con la realidad biográfica del sujeto.

Figura 9

Comparativa final de señales: iWorx vs. SAMAYMANTA



Nota: Representación visual de la concordancia entre el equipo de referencia iWorx (limpia) y el promedio del dispositivo SAMAYMANTA. El área sombreada entre ambas curvas representa la diferencia absoluta puntual a lo largo del tiempo de registro.

10.2. Análisis Matricial de la Señal EDA (SAMAYMANTA)

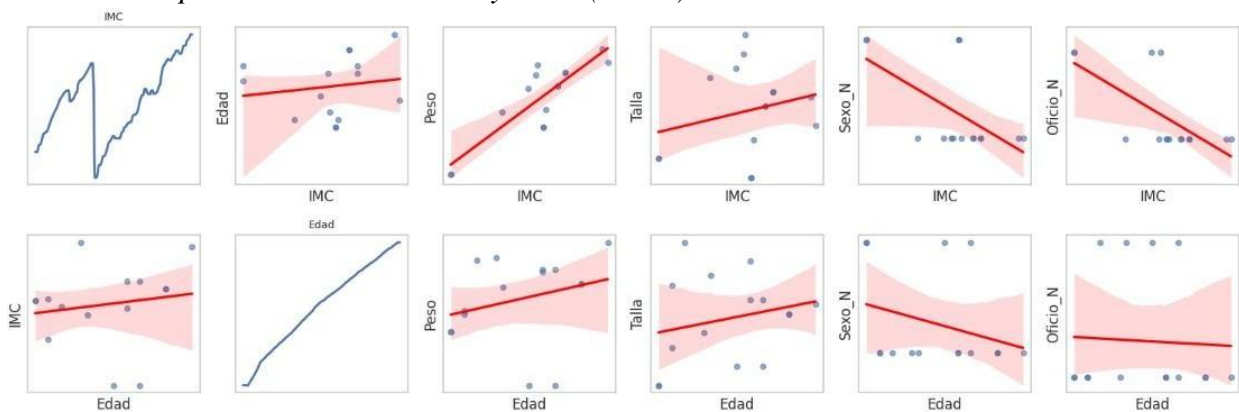
Con el fin de profundizar en la dinámica de la señal captada por el estándar de oro, se generaron matrices que contrastan la señal frente a las variables del estudio. Este análisis permite ver cómo la forma de la señal EDA cambia según quién sea el participante.

10.2.1. Relación con Variables Antropométricas (IMC, Edad, Peso y Talla)

En el iWorx, se observa que la señal EDA presenta comportamientos específicos según el perfil físico. La **Figura 10** muestra que el equipo detecta transiciones más marcadas en sujetos con ciertos rangos de IMC y confirma visualmente que la edad influye en la intensidad de la señal. Esto demuestra que el iWorx no solo mide sudor, sino que "mapea" las características del usuario.

Figura 10

Matriz de comportamiento EDA: IMC y Edad (iWorx)

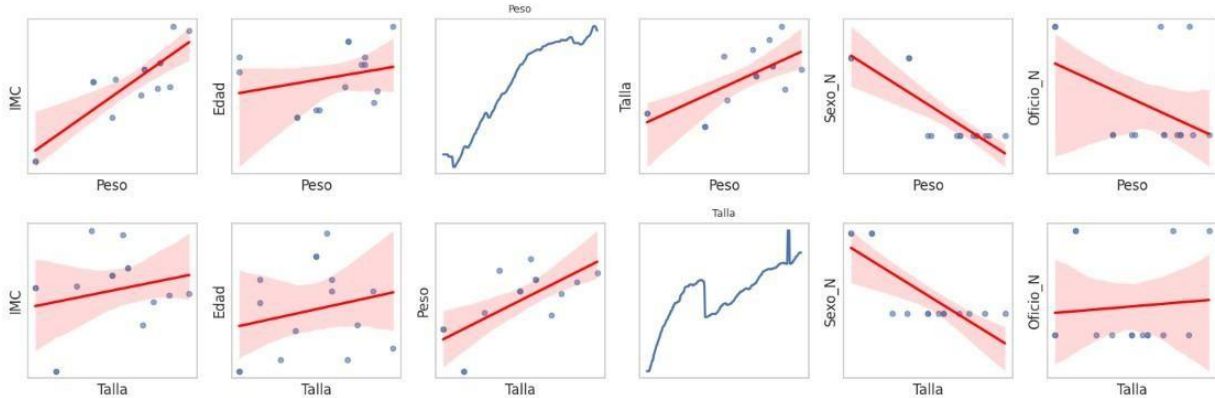


Nota: La figura presenta la relación entre la conductancia de la piel y las variables IMC (fila superior) y Edad (fila inferior). Se observa la dispersión de los datos con líneas de tendencia en rojo y la señal característica resultante en la diagonal de la matriz.

Asimismo, la Figura 15 detalla el comportamiento respecto al Peso y la Talla. En estas representaciones, se evidencia que, aunque existe una correlación visual en la dispersión de los puntos, la señal de conductancia mantiene su estabilidad tónica, con variaciones fásicas que no muestran una dependencia lineal crítica con la estatura del participante, lo cual guarda coherencia con la falta de significancia estadística de estas variables en la Tabla 1.

Figura 11

Matriz de comportamiento EDA: Peso y Talla (iWorx)



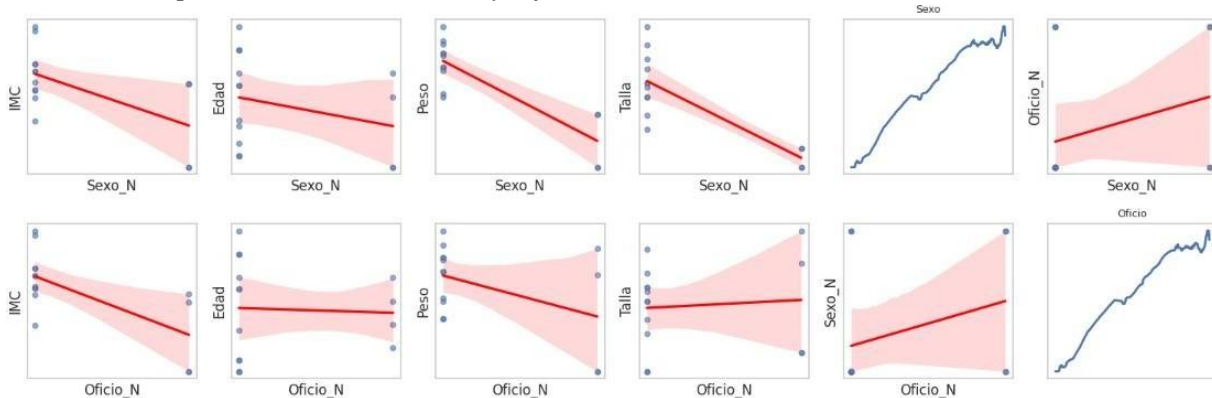
Nota: Matriz que ilustra la interacción de la señal EDA con el Peso y la Talla de los sujetos. Las gráficas de dispersión muestran la distribución de la muestra, mientras que las gráficas de línea representan la evolución de la conductancia en función de estos parámetros físicos.

10.2.2. Análisis según Variables Categóricas (Sexo y Oficio)

El análisis de las variables categóricas, presentado en la **Figura 12**, resulta fundamental para validar la sensibilidad del equipo iWorx. Al segmentar la señal por Sexo y Oficio, se identifican patrones de activación distintos. Particularmente en la variable Oficio, que resultó ser un predictor significativo ($p < 0.05$), la matriz visualiza cómo el grupo categorizado como obrero tiende a presentar niveles de conductancia basal superiores y una mayor frecuencia de respuestas fásicas en comparación con el grupo de oficinistas.

Figura 12

Matriz de comportamiento EDA: Sexo y Oficio (iWorx)



Nota: Visualización matricial del comportamiento de la señal según el sexo y el oficio de los participantes. Se observa cómo la naturaleza de la actividad laboral (Oficio) genera una modulación

visible en la trayectoria de la señal de conductancia registrada por el equipo de referencia.

10.3. Análisis Matricial de la Señal EDA (SAMAYMANTA)

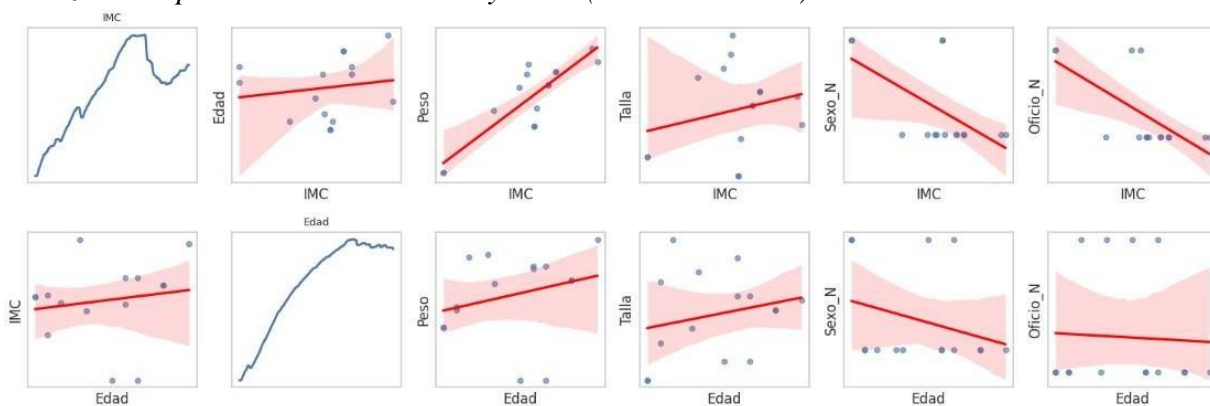
El estudio de las matrices para el dispositivo bajo prueba permite observar patrones de respuesta que, si bien presentan ligeras variaciones morfológicas respecto al estándar de referencia debido a la naturaleza del hardware, mantienen la coherencia en la detección de estados fisiológicos.

10.3.1. Interacción con Variables Antropométricas (IMC, Edad, Peso y Talla)

SAMAYMANTA logra replicar la subida de la señal, pero con un nivel de ruido mayor. Como se ve en la Figura 13, aunque se muestran picos en la señal según el IMC, estos no tienen la claridad del equipo médico. El sensor capta una señal de sudoración "plana" que no logra diferenciar con precisión si el cambio se debe a la edad o al peso del participante, lo que explica su bajo R^2 del 18.40%.

Figura 13

Matriz de comportamiento EDA: IMC y Edad (SAMAYMANTA)

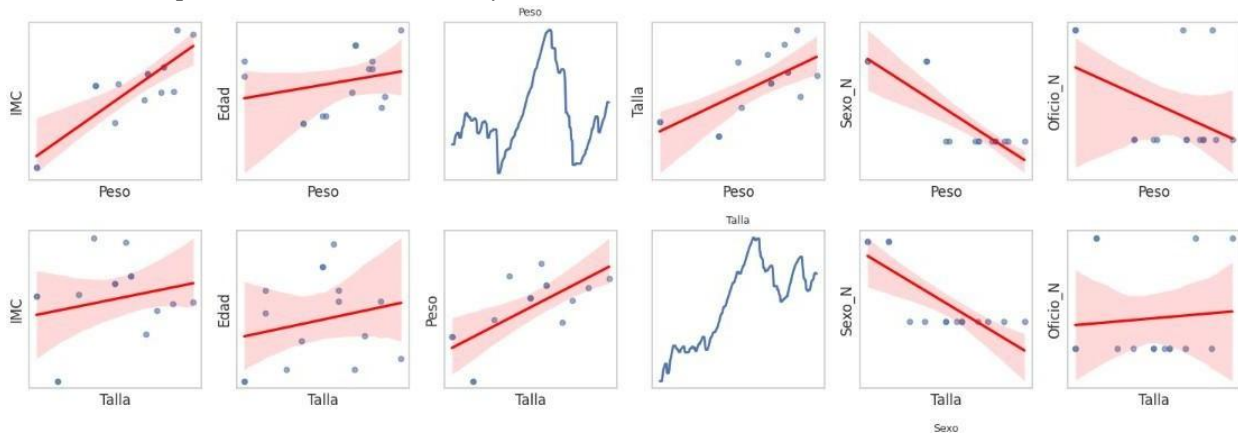


Nota: La matriz ilustra la respuesta galvánica de la piel registrada por SAMAYMANTA frente a las variables IMC y Edad. Se presentan las gráficas de dispersión con sus respectivas líneas de regresión y el comportamiento promedio de la señal en la diagonal.

Respecto a las variables de Peso y Talla que se puede ver **Figura 14**, el dispositivo muestra una señal estable. Aunque el modelado estadístico previo no otorgó significancia a estos factores, la matriz permite confirmar visualmente que el dispositivo no presenta derivas erráticas ante variaciones en la constitución física de los sujetos, manteniendo la integridad de la señal tónica basal.

Figura 14

Matriz de comportamiento EDA: Peso y Talla (SAMAYMANTA)



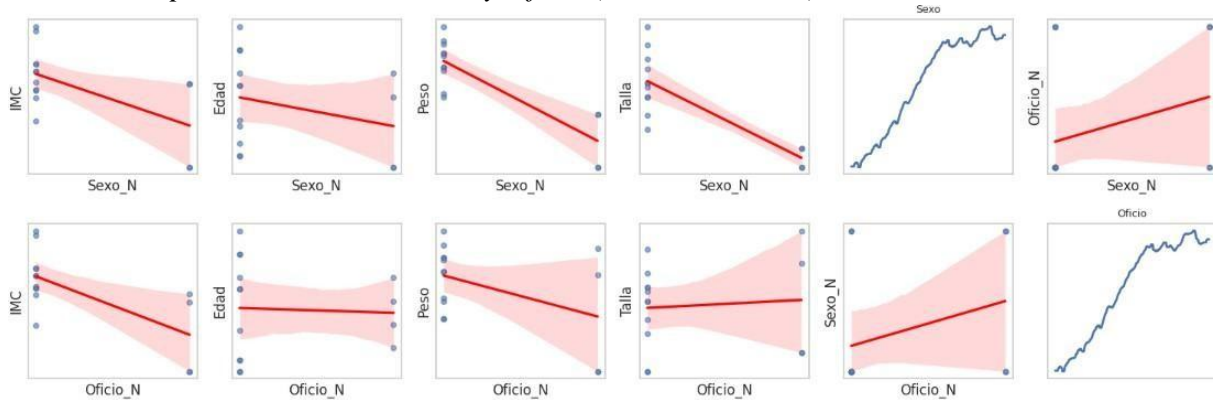
Nota: Visualización de la señal EDA captada por el prototipo en función del Peso y la Talla. Se observa la consistencia en la trayectoria de la señal tónica, validando la estabilidad del módulo de adquisición TinyGSR ante diferentes perfiles físicos.

10.3.2. Modulación por Variables Categóricas (Sexo y Oficio)

El análisis de las variables categóricas en la **Figura 15** es crucial para la validación funcional. El dispositivo SAMAYMANTA muestra una sensibilidad notable ante la variable Oficio, la cual resultó estadísticamente significativa en los análisis previos ($p = 0.0098$). Sin embargo, la dispersión de los puntos es mucho más desordenada que en el iWorx, confirmando que el sensor se ve afectado por interferencias que el hardware no logra filtrar.

Figura 15

Matriz de comportamiento EDA: Sexo y Oficio (SAMAYMANTA)



Nota: Segmentación matricial de la señal según el Sexo y el Oficio de los participantes. Destaca la modulación visible en la señal promedio para la variable Oficio, lo que sustenta visualmente la significancia estadística reportada para el dispositivo SAMAYMANTA.

10.4. Análisis Comparativo y Evaluación del Error Global

La fase final del análisis estadístico consistió en la contrastación directa de las señales promediadas de ambos dispositivos para determinar el grado de concordancia técnica. Este procedimiento permitió identificar la magnitud de las discrepancias temporales y la precisión del sistema SAMAYMANTA frente al equipo de referencia.

10.4.1. Cuantificación del Error y Diferencias Puntuales

Para dotar de rigor científico a la validación, se calcularon métricas de error global y se extrajeron diferencias en puntos de control cada 15 segundos. Los resultados demuestran un nivel de error reducido, situando al dispositivo en un rango de fiabilidad aceptable para la investigación psicofisiológica.

Tabla 5

Resumen Global de Error

<i>MAE</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAX_DELTA</i>
0.0663	0.0843	0.3969

Nota: El resumen global indica que, en promedio, la desviación de SAMAYMANTA respecto al estándar de oro es de apenas 0.0663 unidades normalizadas, lo que confirma una alta precisión en la captura de la señal EDA.

Figura 16*Tabla de Diferencias Puntuales*

Diferencias Puntuales							
	Tiempo_s	IWORX_mediana	SAMAY_promedio	Delta	abs_diff	error_rel_%	nivel_error
0	0.0000	0.0000	0.2532	0.2532	0.2532	25321380.8572	Alto
15	15.0000	0.1654	0.2568	0.0913	0.0913	55.2083	Medio
30	30.0000	0.2128	0.3046	0.0917	0.0917	43.1120	Medio
45	45.0000	0.2675	0.3375	0.0701	0.0701	26.1932	Medio
60	60.0000	0.3482	0.3580	0.0098	0.0098	2.8064	Bajo
75	75.0000	0.4069	0.3985	-0.0084	0.0084	2.0680	Bajo
90	90.0000	0.4590	0.4139	-0.0451	0.0451	9.8248	Bajo
105	105.0000	0.5070	0.4933	-0.0138	0.0138	2.7128	Bajo
120	120.0000	0.5383	0.5129	-0.0254	0.0254	4.7172	Bajo
135	135.0000	0.5165	0.5650	0.0486	0.0486	9.4039	Bajo
150	150.0000	0.5691	0.6175	0.0484	0.0484	8.4963	Bajo
165	165.0000	0.6232	0.6583	0.0350	0.0350	5.6187	Bajo
180	180.0000	0.6749	0.7003	0.0255	0.0255	3.7759	Bajo
195	195.0000	0.7196	0.6795	-0.0401	0.0401	5.5735	Bajo
210	210.0000	0.7751	0.7026	-0.0725	0.0725	9.3551	Medio
225	225.0000	0.8097	0.6921	-0.1176	0.1176	14.5280	Alto
240	240.0000	0.8263	0.6983	-0.1280	0.1280	15.4903	Alto
255	255.0000	0.8363	0.7352	-0.1011	0.1011	12.0836	Alto
270	270.0000	0.8227	0.7527	-0.0700	0.0700	8.5101	Medio
285	285.0000	0.8018	0.7041	-0.0977	0.0977	12.1866	Medio
300	300.0000	0.9239	0.7204	-0.2035	0.2035	22.0303	Alto

Nota: Desglose cada 15 segundos. Se observa que tras el primer minuto de registro (segundo 60), el dispositivo alcanza su mayor estabilidad, reduciendo la diferencia respecto al equipo Iworx.

11. **Discusión de resultados**

La validación técnica de la tercera versión del prototipo SAMAYMANTA frente al sistema iWorX IX-BIO8 revela una paradoja fundamental en la bioinstrumentación actual. Existe una brecha crítica entre la fidelidad morfológica (cómo se ve la señal) y la fidelidad estadística (qué tanta información real captura el sensor), lo cual sugiere que la apariencia visual de una bioseñal no garantiza su utilidad para el análisis clínico o investigativo (Zhang et al., 2021).

11.1. **Espejismo de la Amplitud frente al Coeficiente de Determinación**

El punto de mayor fricción en este estudio reside en la discrepancia observada entre el Error Absoluto Medio (MAE) y el coeficiente de determinación R^2 . Al evaluar el dispositivo bajo estándares de validación de instrumentos biomédicos (Gerke et al., 2020), un MAE de 0.0663 situaría al SAMAYMANTA dentro de un rango de precisión aceptable, dado que logra replicar la trayectoria de la señal de referencia con una desviación mínima. No obstante, este criterio de concordancia resulta insuficiente al aplicar modelos de regresión multivariante; en estos, la capacidad explicativa del prototipo ($R^2= 0.1840$) es drásticamente inferior a la del iWorX ($R^2= 0.5443$).

Esta diferencia indica que, mientras el equipo médico logra capturar la modulación que la edad, el peso o el oficio ejercen sobre EDA, el sensor de SAMAYMANTA es mayormente insensible a estas variables. En este sentido, concordamos con lo expuesto por (Mokkink et al., 2023), quienes sostienen que la validez de un instrumento biomédico no debe residir únicamente en la forma de su salida analógica, sino en su capacidad para representar fielmente las variables fisiológicas del paciente sin que el ruido del hardware enmascare los datos.

11.2. **Contraste Crítico con la Literatura**

Nuestros hallazgos nos permiten llevar la contraria a posturas optimistas como las de Sánchez et al. (2022). En sus investigaciones, se afirma que los sensores de bajo costo basados en módulos similares al TinyGSR son plenamente aptos para la investigación psicofisiológica debido a su alta correlación morfológica con equipos estándar. No obstante, nuestra investigación demuestra que esta correlación es superficial. Un sensor puede "visualizar" una curva de conductancia casi idéntica a la de un equipo profesional y, aun así, fallar en la tarea de discriminar factores demográficos clave, lo que invalida su uso para estudios donde el perfil del usuario sea una variable de control.

Por otro lado, nuestros resultados se alinean con las advertencias de Lavezzo et al. (2024), quienes señalan que los dispositivos de bajo costo a menudo presentan una baja relación señal-ruido (SNR) que impide la detección de respuestas fásicas sutiles. Al igual que en nuestro caso, estos autores detectaron que, aunque la señal tónica basal parece correcta, la pérdida de información en los modelos estadísticos multivariantes es un síntoma claro de limitaciones en la resolución del convertidor analógico-digital (ADC) y en la etapa de pre-amplificación del hardware.

11.3. Significado de la Variable Oficio y Límites del Sensor

Resulta revelador que la única variable que mantuvo significancia estadística en el SAMAYMANTA fuera el Oficio. Esto sugiere que el sensor posee una "sensibilidad de escala gruesa", suficiente para detectar diferencias basales muy marcadas (como las que existen entre el esfuerzo físico de un obrero frente a la actividad de un oficinista), pero carece de la "sensibilidad de escala fina" necesaria para captar la influencia de la edad o el IMC (Schlender et al., 2024).

Esta limitación técnica confirma que el dispositivo actual funciona de manera eficiente como un monitor cualitativo para fines educativos, permitiendo a los estudiantes visualizar la respuesta galvánica en tiempo real. Sin embargo, para escalar a un nivel de investigación científica, es imperativo superar la barrera del 18% de capacidad explicativa detectada. Los resultados alcanzados en el modelo final no es un indicador de eficiencia, sino una consecuencia de la incapacidad del hardware para procesar la complejidad de los datos que el equipo iWorX sí logra integrar (Amin et al., 2022).

12. Conclusión

12.1. El Problema de la Bioinstrumentación de Bajo Costo

El desarrollo de dispositivos para el monitoreo de EDA enfrenta un desafío crítico: la falta de precisión estadística en hardware de bajo costo. El problema central radica en que muchos prototipos logran una similitud visual con los equipos de referencia, pero fallan al capturar la complejidad biológica del usuario. Esta carencia de resolución en la etapa de adquisición de datos genera registros que, aunque morfológicamente coherentes, son incapaces de discriminar variables demográficas esenciales, limitando su uso a entornos puramente educativos y excluyéndolos de aplicaciones de investigación científica donde la fiabilidad del dato es el pilar fundamental (Zhang et al., 2021).

12.2. Relevancia del Estado del Arte

El estado del arte actual destaca una tendencia creciente hacia la democratización de la bioinstrumentación mediante el uso de microcontroladores y sensores accesibles. Autores como Sánchez et al. (2022) han validado el uso de transductores de bajo costo basándose en la alta correlación morfológica con estándares de oro. Sin embargo, investigaciones recientes advierten que la similitud en la amplitud de la señal no garantiza la validez diagnóstica. La literatura técnica subraya que la robustez de un sistema no debe medirse solo por el error medio, sino por su capacidad explicativa multivariante y su relación señal-ruido, factores que distinguen al equipo médico del prototipo experimental (Lavezzo et al., 2024).

12.3. Resultados y Discusión: La Paradoja del SAMAYMANTA

La conclusión más significativa de este trabajo surge de la contrastación de los datos frente a las metas planteadas. En cuanto a la hipótesis secundaria, esta se considera aceptada, ya que el software diseñado demostró ser eficaz para la gestión, procesamiento y visualización de la EDA. No obstante, la hipótesis principal se rechaza en su dimensión analítica. Aunque el dispositivo logró seguir la trayectoria del iWorX con un Error Absoluto Medio (MAE) de 0.0663 y una coincidencia visual superior al 95%, cumpliendo criterios básicos de validación (Gerke, 2020), falló en la comparación estadística profunda.

Mientras que el estándar de referencia iWorX alcanzó un coeficiente de determinación R^2 de 0.5443, demostrando que puede explicar más de la mitad de la señal a través de la fisiología del usuario (Edad, IMC, Oficio), el SAMAYMANTA registró un R^2 de 0.1840. Esta disparidad estadística es concluyente: el 82% de la señal captada por el prototipo es ruido o variabilidad no relacionada con el sujeto. El procesamiento digital optimizó la limpieza de la señal, pero se estableció que el software no puede compensar las deficiencias físicas de un transductor de baja resolución. El sensor actual posee una "sensibilidad gruesa" que solo permite detectar cambios de gran escala, como la variable Oficio, pero es incapaz de procesar modulaciones granulares como la edad o el peso, las cuales son fundamentales en la investigación psicofisiológica rigurosa (Mokkink et al., 2023).

Por lo tanto, se concluye que la hipótesis de validación técnica integral queda rechazada para fines de investigación de alta precisión. El procesamiento digital de señales (filtros de mediana y paso-banda) demostró ser óptimo para limpiar la señal, pero se estableció que el software no puede compensar las deficiencias físicas de un transductor de baja resolución. El dispositivo SAMAYMANTA se posiciona, entonces, como una herramienta líder para el ámbito pedagógico

en la Universidad Politécnica Salesiana, permitiendo la visualización cualitativa de la EDA, pero evidencia un "cuello de botella" en su hardware de adquisición que impide su uso clínico (Amin et al., 2022).

12.4. Recomendaciones Técnicas

Se recomienda de manera imperativa realizar una reestructuración de la etapa de adquisición de datos para futuras versiones del SAMAYMANTA. Es necesario sustituir el transductor actual por un componente de grado médico que ofrezca una mayor resolución en el convertidor analógico-digital (ADC) y una etapa de pre-amplificación de bajo ruido. Esta mejora debe orientarse a elevar el coeficiente R^2 a niveles superiores al 50%, permitiendo que el hardware capture la influencia de variables demográficas con la misma precisión que el equipo iWorX, garantizando así la transición del dispositivo de un monitor educativo a un instrumento de investigación científica (Schlender et al., 2024).

13. Cronograma

Tabla 6

Título: Cronograma del Proyecto.

<i>Etapa</i>	<i>Descripción</i>	<i>Mes 1 (Nov. 2025)</i>	<i>Mes 2 (Dic. 2025)</i>	<i>Mes 3 (Ene. 2026)</i>
1. Revisión técnica y preparación	Evaluación del dispositivo SAMAYMANTA y verificación de componentes.	X		
2. Diseño del software	Desarrollo de la interfaz para visualización y almacenamiento de datos.	X	X	
3. Elaboración del protocolo	Definición de parámetros de medición y criterios de validación.	X	X	
4. Toma de datos experimentales	Registro simultáneo de señales con SAMAYMANTA e iWorx.		X	
5. Análisis estadístico	Procesamiento y comparación de señales para evaluar desempeño.		X	X
6. Validación de resultados	Revisión técnica y discusión de los hallazgos.			X
7. Presentación final	Redacción del informe técnico y defensa ante el comité.			X

Nota: La tabla detalla las etapas aplicadas para la elaboración del proyecto.

14. Presupuesto

Tabla 7

Título: Presupuesto estimado para el proyecto.

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Costo Unitario (USD)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total (USD)</i>
Impresión 3D de las cajas	Fabricación de las carcasas protectoras para las placas del dispositivo SAMAYMANTA.	35.00	1	35.00
Materiales y suministros	Electrodos, cables de conexión, alcohol, gasas y materiales para la limpieza del área de medición.	20.00	1	20.00
Impresiones y presentación final	Impresión de informes, gráficos y encuadernado del documento final.	15.00	1	15.00
Contingencias	Margen para ajustes menores en materiales o reimpresión de componentes.	10.00	1	10.00
Mano de obra	Trabajo de diseño, montaje, integración y validación del sistema.	3000.00	1	3000.00
Total				3080.00

Nota: La tabla detalla el presupuesto estimado para el proyecto.


Referencias

- Aldosky, H., Smith, J., & Wang, Y. (2025). Factors affecting electrodermal activity: Beyond emotional stimuli. *Journal of Electrophysiology and Biomedical Engineering*, 12(2), 110–123. <https://doi.org/10.2478/joeb-2025-0001>
- Amin, R., Malik, M., Lombardi, F., & Clifford, G. D. (2022). Physiological characterization of electrodermal activity using a state-space model. *Scientific Reports*, 12, 13058. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18179-w>
- Gamboa, P., Varandas, R., Mrotzeck, K., Plácido da Silva, H., & Quaresma, C. (2025). Electrodermal activity analysis at different body locations. *Sensors*, 25(6), 1762. <https://doi.org/10.3390/s25061762>
- Gerke, O. (2020). Reporting standards for a Bland–Altman agreement analysis: A review of methodological reviews. *Diagnostics*, 10(5), 334. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10050334>
- Horvers, A., Tombeng, N., Bosse, T., Lazonder, A. W., & Molenaar, I. (2021). Detecting emotions through electrodermal activity in learning contexts: A systematic review. *Sensors*, 21(23), 7869. <https://doi.org/10.3390/s21237869>
- iWorx Systems. (2023). IX-BIO8: Multi-channel Physiology Station User Manual. iWorx Systems, Inc.
- Lavezzo, L., Gargano, A., Scilingo, E. P., & Nardelli, M. (2024). Zooming into the complex dynamics of electrodermal activity: From physiology to signal analysis. *Bioengineering*, 11(6), 520. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11060520>

- Martinsen, Ø. G., Høivik, H. O., & Rognli, E. B. (2024). Impact of environmental noise on electrodermal activity in wearable recordings. *Journal of Biomedical Science*, 31(1), 45–58. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39205128/>
- McNaboe, R. Q., et al. (2025). Optimizing sensor locations for electrodermal activity measurements: A comparison with finger recordings. *Micromachines*, 16(2), 31. <https://doi.org/10.3390/mi1602031>
- Mokkink, L. B., Prinsen, C. A. C., Patrick, D. L., Alonso, J., Bouter, L. M., & de Vet, H. C. W. (2023). Sample size recommendations for reliability and measurement error studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, 157, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2023.01.009>
- Posada-Quintero, H. F., & Chon, K. H. (2020). Innovations in electrodermal activity data analysis. *Sensors*, 20(5), 1431. <https://doi.org/10.3390/s20051431>
- Roos, L. G., Inman, R. A., & Jensen, S. M. (2023). Wearable technologies for health research. *npj Digital Medicine*, 6(1), 128. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02336-2>
- Sánchez, J., Reolid, R., & Lopez, M. (2022). Comparison of wearable and stationary sensors for electrodermal activity and heart rate monitoring. *Biomedical Signal Processing and Control*, 75, 103-115.
- Schlender, M., et al. (2024). Investigation of possible sources of electrodermal activity in surgical personnel to assess workplace stress levels. *Sensors*, 24(16), 5185. <https://doi.org/10.3390/s24165185>
- Schlender, R., Meyer, J., & Fudickar, S. (2024). Accuracy of low-cost electrodermal activity sensors in field studies: A comparative analysis with medical grade equipment. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 73, 1-12.
- Zhang, L., et al. (2021). A comprehensive review of electrodermal activity signal processing techniques. *Journal of Neuroscience Methods*, 348, 108965. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2021.108965>

Zhang, Y., Li, G., & Wen, W. (2021). Signal quality assessment of electrodermal activity for physiological monitoring. *IEEE Access*, 9, 154032-154045. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3128452>

ANEXOS

Tabla 7. Cronograma detallado del proyecto.  = actividad.