

Bifactorial Experiment Design on the Physical Performance of a Group of Students of the Ricardo Palma University, Perú

María Elizabeth Puelles Bulnes, Mg¹, Lessly Yackelin Trejo Osorio², Gianfranco Bautista Rotondo Cortéz³, Jean Franco Jimenez Rojas⁴, Martin Franco Valderrama de la Cruz⁵

^{1,2,3,4,5}Ricardo Palma University, Perú, maria.puellesb@urp.edu.pe, 202020562@urp.edu.pe, 202020563@urp.edu.pe, 202020569@urp.edu.pe, 201510384@urp.edu.pe

Abstract

This study aims to evaluate the impact of various types of exercise on the athletic performance of students at Ricardo Palma University, Lima (URP), Peru, utilizing a bifactorial experimental design analyzed with SPSS statistical software. The study considers two factors: the student and the type of exercise, each with three levels. The response variable is physical performance, measured by the duration of each exercise in minutes. To ensure validity, accuracy, and reliability, the bifactorial design includes replications, with three replicates and five repetitions for each of the three different exercises performed by three students, resulting in a 3x3x3 bifactorial model. Model assumptions were verified for reliability, and ANOVA revealed significant differences in physical performance across the different types of exercises and among students, with a 95% confidence level. Further, post-hoc analysis Minimal Significant Difference (DMS) at $\alpha=0.05$ identified specific differences between levels of each factor, offering detailed, personalized insights for each student and the team. This study provides a framework to optimize student fitness performance, considering individual needs and the distinct requirements of each exercise type. Additionally, it offers a general diagnostic tool valuable for sports teams and athletes preparing for competitions. The didactic methodology allowed students to apply statistical theory to practical situations, enhancing their analytical and practical skills in the Design of Experiments course.

Key words: Bifactorial Experimental Design, ANOVA, DMS Post Hoc Analysis, Training Programs.

Diseño de Experimentos Bifactorial en el Rendimiento Físico de un equipo de Estudiantes de la Universidad Ricardo Palma, Perú

María Elizabeth Puelles Bulnes, Mg¹, Lessly Yackelin Trejo Osorio², Gianfranco Bautista Rotondo Cortéz³, Jean Franco Jimenez Rojas⁴, Martin Franco Valderrama de la Cruz⁵

^{1,2,3,4,5}Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú, maria.puellesb@urp.edu.pe, 202020562@urp.edu.pe, 202020563@urp.edu.pe, 202020569@urp.edu.pe, 201510384@urp.edu.pe

Resumen

El objetivo del presente estudio es evaluar el impacto de diversos tipos de ejercicios en el rendimiento físico de estudiantes de la Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú, empleando un diseño de experimentos bifactorial con el software estadístico SPSS. Los factores considerados en el estudio son: el estudiante y el tipo de ejercicio, cada uno con tres niveles. La variable de respuesta es el rendimiento físico, medido en términos de la duración o tiempo de cada ejercicio en minutos. El diseño bifactorial utilizado en este estudio requiere réplicas para asegurar la validez, precisión y fiabilidad de los resultados. Por tal motivo, se llevaron a cabo tres réplicas, cada una con cinco repeticiones de tres tipos diferentes de ejercicios por tres estudiantes, resultando en un modelo bifactorial 3x3x3. Para garantizar la confiabilidad de los resultados, se verificaron los supuestos del modelo y luego aplicando ANOVA, se concluyó que existen diferencias significativas en el rendimiento físico entre los diferentes tipos de ejercicios y entre los estudiantes, con un nivel de confianza del 95% de confianza. El análisis post-hoc, Diferencia Mínima Significativa (DMS) con $\alpha=0.05$, permitió identificar las diferencias específicas entre los niveles de cada factor, proporcionando información detallada y personalizada de cada estudiante y en el equipo. Este estudio ofrece una guía para optimizar el rendimiento físico de los estudiantes, teniendo en cuenta sus necesidades individuales y las demandas específicas de cada tipo de ejercicio. Además, proporciona un diagnóstico general que puede ser útil para equipos deportivos o atletas en preparación para futuras competiciones. La metodología didáctica empleada permitió a los estudiantes aplicar conocimientos teóricos estadísticos a situaciones reales, facilitando el desarrollo de habilidades analíticas y prácticas en el curso de Diseño de Experimentos.

Palabras claves: Diseño de Experimentos Bifactorial, ANOVA, Análisis de post hoc DMS, programas de entrenamientos.

I. INTRODUCCION

En la actualidad, muchos jóvenes han dejado de realizar actividades físicas, priorizando el uso constante de la tecnología, como el celular, que actúa como un agente distractor para fines no académicos. Esta tendencia hacia el sedentarismo afecta negativamente su salud integral [1].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) define "Condición Física" como un estado de bienestar integral

corporal, mental y social como se detalla en el Diccionario de las Ciencias del Deporte (1992). La actividad física juega un papel crucial en la mejora de esta condición física, contribuyendo a una mayor confianza en sí mismo, mejor desempeño académico, deportivo y social [2]. Durante el periodo universitario, comprendido entre 18 a 24 años, los estudiantes enfrentan nuevas rutinas y desafíos, como carga horaria, presión de los exámenes, tiempo limitado para realizar los trabajos, lo que puede generar estrés académico [3]-[6].

Numerosos estudios han demostrado que la actividad física regular no solo mejora la salud física y mental, sino que también reduce el riesgo de enfermedades, mejora el estado de ánimo, y optimiza el rendimiento académico, deportivo y social [7] y [8].

A pesar de estos beneficios, se observa una creciente inclinación hacia el sedentarismo debido a las exigencias académicas y la falta de tiempo [9].

En respuesta a esta tendencia, varias universidades han implementado programas para promover la actividad física entre los estudiantes, con el objetivo de fomentar un estilo de vida activo y saludable. No obstante, para maximizar los beneficios de estos programas, es esencial que los estudiantes participen activamente. Para abordar de manera efectiva la falta de condición física y mejorar la calidad de vida de los estudiantes, es necesario implementar medidas basadas en resultados inmediatos y sólidos. En este contexto, los diseños factoriales se han demostrado como una herramienta eficiente para estudiar los efectos de dos o más factores y sus interacciones [10]. Los factores considerados son los estudiantes y los tipos de ejercicios, ambos con tres niveles siendo la variable de respuesta el rendimiento físico, medido en términos de la duración o tiempo que demoran realizar cada ejercicio en minutos.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de diferentes tipos de ejercicios en el rendimiento físico de un equipo de estudiantes de la URP, mediante un Diseño de Experimentos Bifactorial 3x3x3 utilizando el software estadístico SPSS. La ventaja de los modelos factoriales radica en su capacidad para estudiar las interacciones entre los factores y determinar si existen efectos significativos en la variable de respuesta. Para asegurar la validez, precisión y fiabilidad de los resultados, se llevaron a cabo tres réplicas, cada una con cinco repeticiones de tres tipos de ejercicios más conocidos.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Los resultados del ANOVA y Análisis de post-hoc DMS proporcionan información detallada y personalizada sobre el rendimiento físico de los estudiantes en función del tipo de ejercicio realizado. Además, ofrece un diagnóstico general del estado físico del grupo de estudiantes, permitiendo identificar áreas específicas de mejora y adaptar programas de entrenamiento individuales y forma colectiva.

Este estudio busca proporcionar una guía práctica para optimizar el rendimiento físico de los estudiantes, considerando sus necesidades individuales y las demandas específicas de cada tipo de ejercicio. Además, ofrece un diagnóstico general del estado físico a nivel de equipo, útil para equipos deportivos o atletas en preparación para futuras competiciones. La metodología didáctica empleada permitirá a los estudiantes aplicar conocimientos teóricos estadísticos a situaciones reales, facilitando el desarrollo de habilidades analíticas y prácticas en el curso de Diseño de Experimentos, 6to. ciclo del curso de Ingeniería Industrial-URP, Lima-Perú.

II. OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de diferentes tipos de ejercicios en el rendimiento físico de un equipo de estudiantes de la URP. El rendimiento físico se medirá en términos del tiempo que los estudiantes demoran en realizar cada ejercicio en minutos. Se utilizará un Diseño de Experimentos Bifactorial 3x3x3 con el software estadístico SPSS, y se realizarán tres réplicas, cada una con cinco repeticiones de tres tipos de ejercicios diferentes. En un modelo de Diseño Bifactorial las réplicas son esenciales para asegurar la validez, precisión y fiabilidad de los resultados.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

La actividad y el ejercicio físico han sido recomendaciones médicas con una larga historia. Desde tiempos antiguos, figuras como Hipócrates han reconocido los beneficios para la salud que conlleva mantenerse sano y activo. Actualmente, al menos el 60% de la población mundial no realiza la actividad física necesaria para obtener estos beneficios [11]. En 2016, el 39% (1,900 millones) de las personas de 18 o más años tenían sobrepeso, y el 13% (650 millones) obesidad [12] y [13]. En Perú, el 58% de la población de 15 años o más tiene sobrepeso, y hay más de 1.3 millones de estudiantes universitarios [14] con ese problema. Los estudiantes universitarios, generalmente jóvenes, a menudo gozan de buena salud, lo que puede llevar a que enfermedades de riesgo pasen desapercibidos. Identificar estos problemas oportunamente puede mejorar las actividades de promoción y prevención en la comunidad universitaria. Por otro lado, la literatura científica ha demostrado que la práctica regular y sistemática de actividad física ofrece grandes beneficios para la salud, tanto a nivel fisiológico como mental y social [15], [16]. Además, reduce el riesgo de muerte prematura por cualquier causa en personas jóvenes y de mediana edad [11]. La actividad física recurrente en estudiantes universitarios no solo mejoraría su desempeño académico, sino también elevaría su ánimo y estado físico. La actividad física

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

debería ser un componente esencial del currículo estudiantil, ya que puede reducir significativamente los altos niveles de estrés y ansiedad provocados por la carga académica [17].

4. METODOLOGIA

Se ha llevado a cabo un estudio experimental aplicando el Diseño de Experimentos Bifactorial con 3 réplicas. Los datos fueron recopilados de tres estudiantes universitarios del curso de Diseño de Experimento, 6to. ciclo, carrera de ingeniería industrial. Los autores [10], [18] y [19] presentan las reglas y directrices fundamentales que se deben seguir para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en un experimento, con los principios básicos.

4.1 Principios básicos del diseño de experimentos

Existen tres principios clave que es necesario tener en cuenta, como la aleatorización, la replicación y el control de variables externas, ver figura 1.

En la Figura 1, tenemos:

- ✓ **Aleatorización:** Es la piedra angular del diseño experimental, asegurando que la asignación de las unidades experimentales sea completamente al azar, dejando sin efecto la ley de la casualidad. Una de las formas de verificar la aleatorización es mediante la prueba de independencia de residuos. En esta prueba, gráficamente, el orden del experimento y los residuos deben estar dispersos, lo que evidencia la validez de este supuesto.

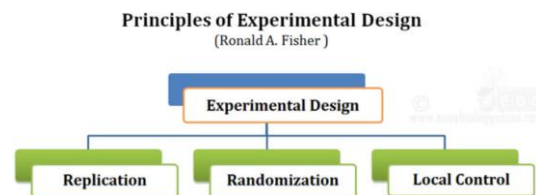


Figura 1: Principios importantes Diseño de Experimentos

- ✓ **Replicación:** La idea de aumentar el tamaño del experimento mediante más pruebas o muestras incrementa la probabilidad de que un resultado exitoso se deba realmente al efecto que se está probando y no simplemente al azar. Por otro lado, si el experimento es muy pequeño, incluso el mejor resultado posible (como adivinar correctamente el resultado) podría fácilmente ocurrir por casualidad. Por lo tanto, es importante considerar el tamaño y la escala de un experimento para obtener resultados que sean estadísticamente significativos y, más confiables.
- ✓ **Control de Variable o Bloque:** Es importante incluir variables externas en el experimento para reducir o eliminar la variabilidad que estas pueden introducir. Estas son variables que pueden influir en la respuesta, pero que no son interés específico en el experimento. Controlarlas permite obtener resultados más precisos y confiables.

Por lo tanto, el Diseño de Experimentos es una metodología utilizada en la investigación científica que requiere planificar el experimento de manera que los datos recolectados puedan ser analizados con herramientas

estadísticas. Esto permite obtener conclusiones válidas y objetivas [19] y [20].

4.2 Modelo de Diseño de Experimento Bifactorial

El diseño de experimento bifactorial es un tipo de diseño experimental en el que se estudian los efectos de dos factores o variables independientes sobre una variable dependiente o respuesta. En este tipo de diseño, se analiza cómo interactúan y afectan los dos factores en la variable de interés. Generalmente, si los factores A y B tienen a niveles y b niveles, respectivamente, y si cuentan con r réplicas, se deben considerar todas las abr combinaciones de los tratamientos o niveles. Sea las siguientes consideraciones [10] y [19]:

1. **Cantidad de niveles:** La cantidad de grupos asignados a un factor.
2. **Combinaciones:** El conjunto de todos los factores empleados.
3. **Efecto de un factor:** La variación en la respuesta producida por un cambio en el nivel del factor.
4. **Respuesta:** El resultado numérico de la experimentación.

La disposición en forma matricial para un Diseño Bifactorial, ver tabla 1:

Tabla 1: Matriz de datos

| Factor A | Factor B | | | |
|----------|---------------------------|---------------------------|-----|---------------------------|
| | 1 | 2 | ... | B |
| 1 | y_{111}, \dots, y_{11r} | y_{121}, \dots, y_{12r} | ... | y_{1b1}, \dots, y_{1br} |
| 2 | y_{211}, \dots, y_{21r} | y_{221}, \dots, y_{22r} | ... | y_{2b1}, \dots, y_{2br} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| a | y_{a11}, \dots, y_{a1r} | y_{a21}, \dots, y_{a2r} | ... | y_{ab1}, \dots, y_{abr} |

En la Tabla1, se observan:

Y_{ijk} es la respuesta observada de la k -ésima repetición, tomada en el i -ésimo nivel del factor A y en el j -ésimo nivel del factor B.

El modelo matemático lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

Y_{ijk} : respuesta observada

μ : efecto medio general.

τ_i : el efecto del i -ésimo nivel del factor A.

β_j : el efecto del j -ésimo nivel del factor B.

$(\tau\beta)_{ij}$: el efecto de la interacción en la combinación ij .

ϵ_{ijk} : es el error aleatorio efecto del i -ésimo nivel del factor A

$N = abr$ observaciones que se realizan en r réplicas.

El objetivo del análisis de varianza (ANOVA) es determinar si existen diferencias significativas entre las medias del factor

sobre la variable de respuesta. Se formulan las siguientes hipótesis:

| | |
|--|--|
| Factor A: H0: $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$ H1: al menos un $\tau_i \neq 0$ | Factor B: H0: $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$ H1: al menos un $\beta_i \neq 0$ |
| Factor AxB: H0: $(\tau\beta)_{ij} = 0$, para todo ij H1: al menos $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ | |

Para probar esas hipótesis, es necesario descomponer la variabilidad total de los datos representada como la suma de cuadrados total:

$$SC_T = SC_A + SC_B + SC_{AB} + SC_E \quad (2)$$

Se definen:

SC_T = Suma de cuadrados Total

SC_A = Suma de cuadrados debido a los renglones del Factor A

SC_B = Suma de cuadrados debido a la columna del Factor B

SC_{AB} = Suma de cuadrados debido a la interacción A y B

SC_E = Suma de cuadrados debido al error.

Sean las siguientes variables:

$$y_i = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r y_{ijk} \quad , \quad y_j = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^r y_{ijk} \quad (3)$$

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^r y_{ijk} \quad , \quad y = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r y_{ijk} \quad (4)$$

Siendo:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r y_{ijk}^2 - \frac{1}{N} y^2 \quad (5)$$

$$SC_A = \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{1}{N} y^2 \quad (6)$$

$$SC_B = \frac{1}{ar} \sum_{j=1}^b y_j^2 - \frac{1}{N} y^2 \quad (7)$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij}^2}{r} - \frac{y^2}{N} - SC_A - SC_B \quad (8)$$

considerando (2) y (5), (6), (7), (8) obtenemos:

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB} \quad (9)$$

Para el Análisis de Varianza (ANOVA), la descomposición total, es dada en la Tabla 2.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

En la Tabla 2, muestra la fuente de variación y los cálculos hasta encontrar el $F_{\text{calculado}}$.

En la Figura 2, se observa el valor $F_{\alpha(v_1, v_2)}$, valor extraído de la tabla Fisher con un nivel de significancia α y grados libertad del numerador v_1 y grados libertad del denominador v_2 . También conocido como F_{critico} :

si $F_{\text{calculado}} < F_{\text{critico}}$, hay evidencia para aceptar H_0 y
 si $F_{\text{calculado}} > F_{\text{critico}}$, hay evidencia para rechazar H_0 .

O

si $p_{\text{valor}} > \alpha$, hay evidencia para aceptar H_0 y
 si $p_{\text{valor}} < \alpha$, hay evidencia para rechazar H_0 .

V. DATASET

Lo datos fueron recopilados por un equipo compuesto por tres estudiantes del curso de Diseño de Experimentos, todos del sexo masculino y con edades comprendidas entre 20 a 24 años.

Tabla 2: Análisis de varianza (ANOVA)

| Fuente Variación | Suma Cuadrados | G.L. | Media de Cuadrados | $F_{\text{calculado}}$ |
|------------------|----------------|------------|------------------------------|------------------------|
| Factor A | SCA | a-1 | $MCA = SCA / (a-1)$ | $FA = MCA / MCE$ |
| Factor B | SCB | b-1 | $MCB = SCB / (b-1)$ | $FB = MCB / MCE$ |
| Interacción | SCAB | (a-1)(b-1) | $MCAB = SCAB / ((a-1)(b-1))$ | $FAB = MCAB / MCE$ |
| Residual | SCE | ab(r-1) | $MCE = SCE / ab(r-1)$ | |
| Total | SCT | abr-1 | | |

Las alturas de los estudiantes varían entre 1.72cm a 1.82cm, mientras que los pesos oscilan entre 64 kg a 125 kg. El equipo se encuentra en buen estado de salud y no presentan ningún problema físico. Aunque no practican ningún deporte ni mantienen una actividad física regular, solo realizan ejercicios cuando el tiempo y horario de sus cursos académicos se lo

permiten durante los ciclos de estudio en los que están matriculados.

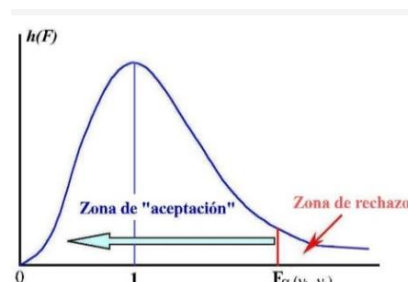


Figura 2. Distribución F de Snedecor

Los ejercicios se realizaron en un espacio proporcionado por el Centro de Esparcimiento URP (CESPAR). Se seleccionaron tres tipos de ejercicios conocidos por mejorar la fuerza, resistencia y la flexibilidad, como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3: Tipo de Ejercicios

| Ejercicio | Tipo | Procedimiento |
|-----------|---------------|---|
| 1 | Sentadilla | Flexionar y extender las rodillas y las caderas |
| 2 | Polichinela | Saltar con los pies juntos y los brazos extendidos hacia arriba. |
| 3 | Media Plancha | Mantener el cuerpo en una posición horizontal, apoyando sobre los antebrazos y los dedos de los pies. |

En la Tabla 3, se describen los ejercicios seleccionados para el estudio:

Sentadilla: Un ejercicio principalmente de fortalecimiento muscular que trabaja los músculos de las piernas, los glúteos y la espalda, con un componente menor aeróbico.

Polichinelas: Un ejercicio aeróbico y de fuerza, que trabaja los músculos de las piernas, los brazos y el pecho.

Media Plancha: Es un ejercicio de flexibilidad y fortalecimiento muscular que trabaja los músculos del abdomen, la espalda y los brazos.

En general, estos tres ejercicios son una excelente manera de mejorar la fuerza, la resistencia y la flexibilidad. Estos ejercicios pueden llevarse a cabo tanto en casa como en el gimnasio, siendo apropiados para personas de todas las edades y niveles de condición física.

5.1 Aleatorización: Luego de definir correctamente los tipos de ejercicios y su realización, se procedió a codificar todas las combinaciones posibles de los tratamientos. Se llevó a cabo un sorteo en una urna espaciosa para determinar el orden de ejecución en el orden establecido por el sorteo.

5.2 Réplica: Se realizaron tres réplicas y cada una con series de cinco repeticiones, con un intervalo estándar de descanso de 1 minuto a 1 minuto.

5.3 Control de Variable: En este caso, no existe variables externas. Se utilizó el mismo cronometro del teléfono móvil y la misma persona para tomar los tiempos de cada estudiante en cada serie de cada ejercicio, manteniendo velocidades constantes y el mismo nivel de intensidad.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

En la tabla 4, se presenta el orden de ejecución del experimento en cada una de las tres réplicas. En la Tabla 5, se presenta los datos obtenidos del experimento en cada uno de los tratamientos asignados en forma aleatoria.

VI. RESULTADOS

6.1 Identificación de variables

Variable de respuesta: Rendimiento físico.

Factor A: Estudiantes, nivel = 3

Factor B: Tipo de ejercicios, nivel = 3

Tabla 4: Matriz de orden aleatorio del experimento en cada réplica

| Estudiante | Ejercicio | Combinación | 1° Réplica | 2° Réplica | 3° Réplica |
|------------|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| 1 | 1 | 11 | 7 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 12 | 1 | 5 | 9 |
| 1 | 3 | 13 | 3 | 4 | 5 |
| 2 | 1 | 21 | 2 | 6 | 8 |
| 2 | 2 | 22 | 8 | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 23 | 6 | 1 | 6 |
| 3 | 1 | 31 | 5 | 8 | 4 |
| 3 | 2 | 32 | 9 | 9 | 7 |
| 3 | 3 | 33 | 4 | 7 | 3 |

Tabla 5: Matriz de datos

| Estudiante | Tipo de ejercicio | | | | | | | | |
|------------|-------------------|------|------|-------------|------|------|---------------|------|------|
| | Sentadilla | | | Polichinela | | | Media Plancha | | |
| 1 | 5.99 | 4.61 | 4.98 | 4.58 | 5.25 | 4.14 | 5.44 | 5.17 | 5.17 |
| 2 | 7.00 | 7.55 | 6.11 | 4.26 | 4.06 | 4.6 | 6.28 | 5.24 | 6.39 |
| 3 | 6.29 | 7.68 | 6.69 | 3.86 | 4.67 | 5.47 | 5.1 | 4.36 | 5.23 |

6.2 Hipótesis de Investigación

Factor A:

H0: $u_1 = u_2 = u_3$: No hay diferencia significativa en el rendimiento físico entre los estudiantes.

H1: $u_i \neq u_j$: Existen diferencias significativas en el rendimiento físico entre los estudiantes.

Factor B:

H0: $w_1 = w_2 = w_3$: No hay diferencia significativa en el rendimiento físico entre los tipos de ejercicios.

H1: $w_i \neq w_j$: Existen diferencias significativas en el rendimiento físico entre los tipos de ejercicios.

Factor AxB:

H0: No hay interacción significativa entre los estudiantes y los tipos de ejercicios en el rendimiento físico.

H1: Hay interacción significativa entre los estudiantes y los tipos de ejercicios en el rendimiento físico.

En el experimento se consideró $\alpha=0.05$, con un nivel 95% de confianza. El Anova es presentada en la Tabla 5.

En la Tabla 6, tenemos los siguientes resultados:

✓ Factor A: p-valor = 0.074 > 0.05, hay evidencia para aceptar

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

H0. No hay diferencia significativa en el rendimiento físico entre los estudiantes evaluados.

✓ Factor B: $p_valor = 0.000 < 0.05$, hay evidencia para rechazar H0. Existen diferencias significativas en el rendimiento físico entre los tipos de ejercicios realizados.

Tabla 6: Resultado del experimento - Anova

| Pruebas de efectos inter-sujetos | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|----|------------------|----------|------|
| Variable dependiente: Tiempo | | | | | |
| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Modelo corregido | 22,035 ^a | 8 | 2,754 | 7,669 | ,000 |
| Intersección | 791,321 | 1 | 791,321 | 2203,191 | ,000 |
| Estudiante | 2,174 | 2 | 1,087 | 3,026 | ,074 |
| Ejercicio | 14,260 | 2 | 7,130 | 19,851 | ,000 |
| Estudiante * Ejercicio | 5,602 | 4 | 1,400 | 3,899 | ,019 |
| Error | 6,465 | 18 | ,359 | | |
| Total | 819,821 | 27 | | | |
| Total corregido | 28,500 | 26 | | | |

✓ Factor AxB: $p_valor = 0.019 < 0.05$, hay evidencia para rechazar H0. Hay interacción significativa entre los estudiantes y los tipos de ejercicios en relación con el rendimiento físico.

6.3 Análisis de Post-Hoc

Después que se ha rechazado la hipótesis nula en el ANOVA, es necesario saber en cual tratamientos son diferentes en los siguientes casos:

- Tipo de ejercicios: Existen diferencias significativas en el rendimiento físico asociados a los diferentes tipos de ejercicios realizados.
- Existe interacción significativa entre los estudiantes y los tipos de ejercicios en relación con el rendimiento físico, lo cual sugiere que el efecto del tipo de ejercicio en el rendimiento físico puede variar dependiendo del estudiante.

La presencia de estas diferencias significativas es importante realizar pruebas post hoc para investigar y comparar significativamente las diferencias entre los estudiantes y tipos de ejercicios.

Se aplicará el método DMS (diferencia mínima significativa) que es capaz de detectar las diferencias más pequeñas entre las medias que comprados en otros métodos de post-hoc [19].

6.3.1 Caso tipo de Ejercicio

Hipótesis:

H0: $\mu_i = \mu_j$, para toda $i \neq j, i, j = 3$

H1: $\mu_i \neq \mu_j$, para toda $i \neq j$

$\alpha = 0.05$

Los resultados obtenidos, se muestran en la Tabla 7. Se observa en la columna Sig o p_valor, las diferencias entre las medias de los ejercicios si son estadísticamente significativas o no.

En la Tabla 8, se presenta un resumen de las diferencias mínimas significativas.

Se observan los siguientes resultados:

- **Sentadilla vs. Polichinela:** Existe una diferencia de medias de 1.7789 unidades. Esta diferencia es estadísticamente significativa con un $p_valor = 0.000 < 0.05$. El intervalo de confianza al 95% para esta diferencia está entre 1.1853 y 2.3724, lo que significa que tenemos 95% de confianza de que la verdadera diferencia de medias entre estos tipos de ejercicios está dentro de ese intervalo.

En la Tabla 7, presenta las diferencias mínimas significativas.

| Comparaciones múltiples | | | | | | |
|------------------------------|---------------|----------------------------|-------------|------|-------------------------------|-----------------|
| Variable dependiente: Tiempo | | | | | | |
| DMS | | | | | | |
| (I) Ejercicio | (J) Ejercicio | Diferencia de medias (I-J) | Desv. Error | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
| | | | | | Limite inferior | Limite superior |
| Sentadilla | Polichinela | 1.7789 ^a | .28252 | .000 | 1.1853 | 2.3724 |
| | Media plancha | .9467 ^b | .28252 | .004 | .3531 | 1.5402 |
| Polichinela | Sentadilla | -1.7789 ^a | .28252 | .000 | -2.3724 | -1.1853 |
| | Media plancha | -.8322 ^b | .28252 | .009 | -1.4258 | -.2387 |
| Media plancha | Sentadilla | -.9467 ^b | .28252 | .004 | -1.5402 | -.3531 |
| | Polichinela | .8322 ^b | .28252 | .009 | .2387 | 1.4258 |

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = .359.
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Tabla 8: Resultado de las diferencias mínimas significativas

| | DMS |
|-------------------|---|
| $p_valor < 0.05$ | $\mu_1 \neq \mu_2, \mu_1 \neq \mu_3, \mu_2 \neq \mu_3,$ |

- **Sentadilla vs. Media plancha:** Existe una diferencia de medias de 0.9467 unidades, esta diferencia es estadísticamente significativa, $p_valor = 0.004 < 0.05$. El intervalo de confianza al 95% para esta diferencia está entre 0.3531 y 1.5402, lo que significa que tenemos 95% de confianza de que la verdadera diferencia de medias entre estos ejercicios está dentro de ese intervalo.
- **Polichinela vs. Media plancha:** Existe una diferencia de medias de -0.8322 unidades, esta diferencia es estadísticamente significativa, $p_valor = 0.009 < 0.05$. El intervalo de confianza al 95% para esta diferencia está entre -1.4258 y -0.2387, lo que significa que tenemos 95% de confianza de que la verdadera diferencia de medias entre estos ejercicios está dentro de ese intervalo.

El diagrama de caja es una herramienta útil para describir el comportamiento de los datos. En este caso, muestra el rendimiento físico al contemplar los tres ejercicios. Ver figura 3.

En la Figura 3, y con los resultados obtenidos en la Tabla 7 y 8, podemos concluir que:

- ✓ **Sentadilla:** Existe una mayor variabilidad en los tiempos y mayor mediana, lo que indica una mayor diferencia en el rendimiento físico del equipo. Algunos estudiantes del equipo pueden encontrar este ejercicio más fácil, mientras

que otros pueden tener más dificultad.

- ✓ **Polichinela,** Muestra un rango intercuartil más estrecho y una mediana más baja en comparación con la sentadilla, lo que indica una menor variabilidad y un rendimiento físico más uniforme entre los estudiantes del equipo. Se observa, un valor atípico en el extremo superior, mostrando que algún estudiante del equipo demora más en completar el ejercicio en un determinado momento.

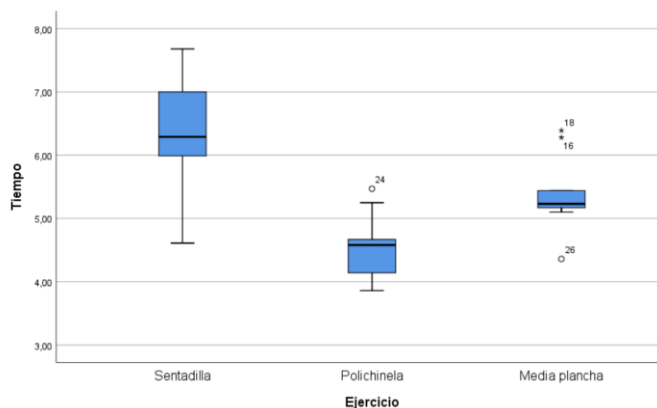


Figura 3. Diagrama de caja de los tiempos realizados por cada ejercicio.

- ✓ **Media Plancha:** Presenta menor variabilidad y el rango intercuartil más estrecho que los otros ejercicios, indicando que los estudiantes del equipo completaron el ejercicio en tiempos similares y menor tiempo que los ejercicios anteriores.

Los ejercicios de Polichinela y Media plancha presentan algunos valores atípicos en los lo que indican tiempos significativamente diferentes a la mayoría, lo que podría requerir atención individual en los estudiantes del equipo.

6.3.2. Caso interacción Estudiante versus Ejercicios

En la Figura 4, proporciona muestra las medias marginales estimadas de tiempo para los tres ejercicios realizados por los miembros del equipo. La evaluación del rendimiento físico de cada estudiante en los ejercicios:

Estudiante 1 versus Ejercicios: Muestra un mejor rendimiento físico en la Polichinela seguido de la Sentadilla y Media Plancha. Esto sugiere que podría enfocarse en mejorar en el fortalecimiento muscular con los ejercicios de Media Plancha y Sentadilla.

Estudiante 2 versus Ejercicios: Destaca un buen rendimiento físico en la Polichinela, seguido de la Media Plancha y luego la Sentadilla, los dos últimos ejercicios con diferencias notables de rendimiento físico. Esto puede indicar que también sobresalió Polichinela y que podría enfocarse más en Sentadilla seguido de la Media plancha.

Estudiante 3 versus Ejercicios: Muestra buenos rendimientos físicos en Polichinela y Media Plancha. Se observa un menor

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

rendimiento físico en la Sentadilla. Esto puede indicar que sobresalió en la Polichinela y Media Plancha y sin embargo podría enfocarse en mejorar la resistencia y fuerza en la Sentadilla.

En términos generales:

Los estudiantes obtuvieron mejor rendimiento en la Polichinela y un rendimiento promedio en la Media Plancha y en promedio menor rendimiento en la Sentadilla.

6.4 Supuestos del Modelo

Son fundamentales porque garantizan la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

6.4.1 *Prueba de Normalidad:* Utilizamos la prueba de Shapiro Wilk, puesto que la cantidad de datos son menores a 50. La prueba de Shapiro Wilk nos servirá para verificar si cumple con el supuesto de normalidad. Se trabajará con un nivel de confianza al 95%. Tenemos las siguientes hipótesis:

H0: Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

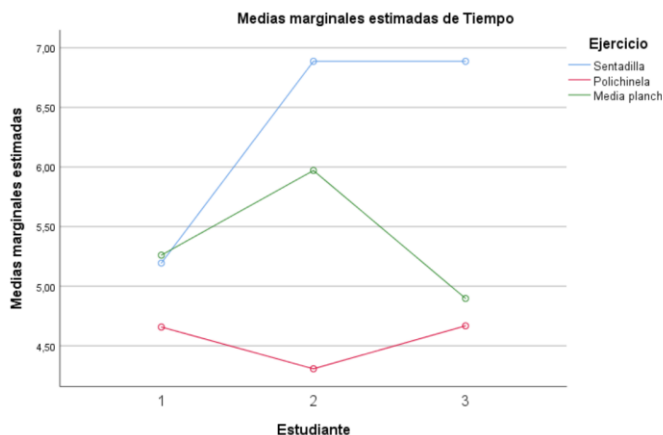


Figura 4. Gráficas de efectos de los estudiantes vs ejercicios

Tabla 9. Prueba de Shapiro Wilk – Estudiantes y Residuos

| Pruebas de normalidad | | | | | | | |
|-----------------------|------------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
| Residuo para Tiempo | Estudiante | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| | 1 | ,233 | 9 | ,174 | ,925 | 9 | ,432 |
| | 2 | ,165 | 9 | ,200 [*] | ,924 | 9 | ,430 |
| | 3 | ,153 | 9 | ,200 [*] | ,938 | 9 | ,558 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

En la Tabla 9, la prueba de Estudiante vs Residuos, se observa todos los p_valores > 0.05, hay evidencia para aceptar H0. Los datos siguen una distribución normal.

En la Tabla 10, la prueba de Ejercicios y Residuos, obteniendo todos los p_valores > 0.05, hay evidencia para aceptar H0. Los datos siguen una distribución normal.

Tabla 10. Prueba de Shapiro Wilk –Normalidad de Residuos

| Residuo para Tiempo | Ejercicio | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|---------------------|---------------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| | Sentadilla | ,190 | 9 | ,200 [*] | ,883 | 9 | ,171 |
| | Polichinela | ,164 | 9 | ,200 [*] | ,977 | 9 | ,949 |
| | Media plancha | ,228 | 9 | ,194 | ,878 | 9 | ,151 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

6.4.2 Prueba de Homocedasticidad de varianza

H0: Los datos presentan varianzas iguales

H1: Los datos no presentan varianzas iguales

$\alpha = 0.01$

En la tabla 11, se observa que el p_valor con respecto a media es mayor que α . Hay evidencia para aceptar H0. Los datos presentan varianzas iguales.

Tabla 11. Prueba de Levene

| Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^{a,b} | | | | | |
|---|---|-----------------------|-----|--------|------|
| | | Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
| Tiempo | Se basa en la media | 3,600 | 2 | 24 | ,043 |
| | Se basa en la mediana | 2,211 | 2 | 24 | ,131 |
| | Se basa en la mediana y con gl ajustado | 2,211 | 2 | 19,436 | ,136 |
| | Se basa en la media recortada | 3,529 | 2 | 24 | ,045 |

Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.
a. Variable dependiente: Tiempo
b. Diseño : Intersección * Estudiante

6.4.3 Prueba de Independencia

H0: Los datos presentan independencia de residuos

H1: Los datos presentan independencia de residuos

$\alpha = 0.05$

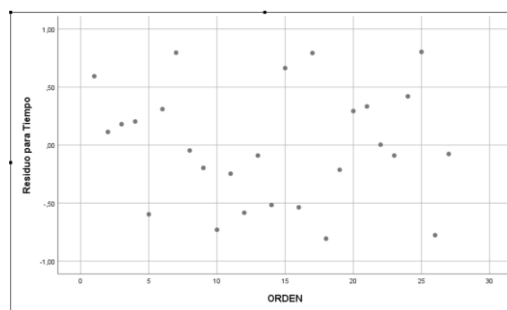


Figura 5. Orden vs Residuos

En la Figura 5, muestra dispersión de los datos y no hay algún tipo de tendencia. Hay evidencia para aceptar. Los datos presentan independencia de residuos.

VII. CONCLUSION

En el presente trabajo, cumple con los supuestos del modelo asegurando que los resultados obtenidos en el ANOVA son válidos y representativos de la realidad considerada.

Los resultados sugieren que no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento físico entre los estudiantes,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

pero si se observaron diferencias significativas en el rendimiento físico asociadas a los tipos de ejercicios realizados, y, además, se identificó una interacción significativa entre los estudiantes y los tipos de ejercicios en relación con el rendimiento físico.

El ejercicio de la sentadilla es el ejercicio más desafiante o el que representa mayor variabilidad en el rendimiento entre los estudiantes. El polichinela, es el ejercicio con rendimiento físico más consistente y el tiempo generalmente más rápido entre los estudiantes. La media plancha, es el ejercicio que se completa más rápidamente y con mayor consistencia por el equipo, sugiriendo que podría ser el más fácil o el que mejor domina entre los estudiantes del equipo. Los valores atípicos requieren especial atención para entender las razones de estas desviaciones.

En un contexto de equipo, el objetivo sería trabajar en la consistencia y eficiencia de la sentadilla y mejorar el rendimiento en media plancha, manteniendo la fortaleza en el polichinela.

Finalmente, se determinó cuales estudiantes versus ejercicios se destacan mejor seguido de la evaluación general del equipo de estudiantes, ayudando salir del sedentarismo y tener buena salud.

Los resultados servirán como guía para optimizar el rendimiento físico del equipo de estudiante, teniendo en cuenta necesidades individuales y las demandas específicas de cada tipo de ejercicio y también un diagnóstico general en los equipos de deportes, o atletas para que se preparen en futuras competiciones.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Ricardo Palma, así como a los estudiantes que participaron en la asignatura de Diseño de Experimentos durante el semestre académico 2023-I. La valiosa contribución de los estudiantes en la realización de los ejercicios y en la toma de tiempos fue fundamental para el desarrollo de este estudio.

IX. REFERENCIAS

[1] Pinos, N., Hurtado, S., Rebolledo, D., Uso del teléfono celular como distractor del proceso de enseñanza-aprendizaje. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Médicas. Revista Enfermería Investiga. Ecuador. 2028. <http://dx.doi.org/10.29033/ei.v3n4.2018.02>

[2] León D., Relación de la Condición Física y Niveles de Actividad Física en Estudiantes Universitarios a Nivel Nacional. Facultad de Ciencias de la Salud. Título de Licenciado en Cultura Física y Entrenamiento Deportivo. Riobamba-Ecuador. 2020.

[3] Cassaretto, M., Vilela, P., Gamarra, L. Estrés académico en universitarios peruanos: importancia de las conductas de salud, características sociodemográficas y académicas. Pontificia Universidad Católica del Perú. Liberabit. vol.27 no.2 Lima jul/dic 2021. pub 06-sep-2021. <http://dx.doi.org/10.24265/liberabit.2021.v27n2.07>

[4] Restrepo et al. J. E., Sánchez, O. A., & Castañeda, T. Estrés académico en estudiantes universitarios. Psicoespacios, 14(24), 17-37. 2020. <https://doi.org/10.25057/21452776.1331>.

[5] Garcés, W. P., & Chasi, K. (2020). Estrés académico en Estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano de la Universidad

Estatad de Bolívar. Revista Ciencias Sociales y Económicas, 4(2), 77-87, 2020. <https://doi.org/10.18779/csye.v4i2.372>

[6] Cardozo, Luis Alberto; Cuervo Guzman, Yamir Andrés; Murcia Torres, Julio Alejandro. Porcentaje de grasa corporal y prevalencia de sobrepeso - obesidad en estudiantes universitarios de rendimiento deportivo de Bogotá. Nutr. clín. diet. hosp. 2016; 36(3):68-75. Disponible en: <http://revista.nutricion.org/PDF/cardozo.pdf>

[7] Flores, A. Efectos del programa de actividad física y deportes en estudiantes de medicina. Escuela profesional de Educación Física. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. Comunic a cción vol. 11. No 2. 2020. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-71682020000200142.

[8] Red Española de Universidades Saludables. 2017. <https://www.us.es/actualidad-de-la-us/la-red-espanola-de-universidades-saludables-publica-sus-recetas-saludables-de>

[9] Lizcano A. Estudio sobre alimentación y ejercicio físico en universitarios. Enfermería Familiar y Comunitaria. GAI-CR. Apunt. Cienc., Vol. 10, No. 1, 2020. <http://apuntes.hgucl.es/files/2023/02/07-ARTICULO-CIENTIFICO.pdf>

[10] Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiment. 9th. Ed. USA, Wiley.

[11] Organización Mundial de la Salud. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2018. Actividad Física; 2018 <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>

[12] World Health Organization. Geneva: World Health Organization; 2018. Obesity and overweight. Available from: Available from: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

[13] Goyzueta, A., Morales, J., Obesity and overweight among students of University of North Lima. Universidad de Ciencias y Humanidades, Perú. Health Care & Global Health.2020. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/579/5792494002/5792494002.pdf>

[14] Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú enfermedades no transmisibles y transmisibles, 2017. ENDES. 2018. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1526/index.html

[15] Physical Activity Guidelines for Americans. 2da edition. U.S. Department of health and human services. https://health.gov/sites/default/files/2019-09/Physical_Activity_Guidelines_2nd_edition.pdf#page=31

[16] Tirado, G. Actividad física y salud: estudio basado en revisión sistemática. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Educación, Escuela Profesional de Educación Física. Repositorio Institucional Cybertesis UNMSM.

[17] Molano-Tobar NJ, Vélez-Tobar RA, Rojas-Galvis EA. Actividad física y su relación con la carga académica de estudiantes universitarios. Hacia la promoción de la salud. 2019;24(1):112–20.

[18] Fisher R. The Design Experiments. Hahner Press. A Division of Macmillan Publishing Co., Inc. New York. Collier Macmillan Publishers. 1974. <https://home.iitk.ac.in/~shalab/anova/DOE-RAF.pdf>

[19] Bulnes, P., M., et al. Chemometrics Didactic Experiment for the planning of experiments: Efficiency of Natura perfume brand. Proceeding of the 4TH South American International Engineering and Operations Management, Conference. IOEM Society International. Lima-Perú, (2023). <https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/12873>

[20] Bulnes, P., M., Experimental implementation of the content of the Design of Experiments course for the Industrial Engineer career. LACCEI 21st. International Multi-Conference for Engineering. Education and Technology, (2023). https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_1418_a.pdf