

Propiedades psicométricas de un instrumento para medir el dominio del álgebra de estudiantes en formación docente

Psychometric properties of an instrument to measure the algebra proficiency of student teachers

Oscar Luis Ochoa Martínez

Universidad pedagógica de Durango (México)

(chokar128@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-3330-9138>)

Manuel Ortega Muñoz

Universidad pedagógica de Durango (México)

(drmanuelortega@hotmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-2087-5501>)

Zaret Jazmín Hernández Soto

Universidad pedagógica de Durango (México)

(hernandezsotozaret@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-5369-9228>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 30/05/25

Revisado/Reviewed: 10/07/25

Aceptado/Accepted: 20/08/25

RESUMEN

Palabras clave:

formación docente, Instrumentos de evaluación, Psicometría.

Esta investigación es continuidad al estudio de carácter instrumental que consistió en diseñar un instrumento para medir el dominio del álgebra (IMDA) de estudiantes mexicanos en formación docente. La primera etapa incluyó aplicación del método Delphi, jueceo de expertos, prueba de validez de contenido mediante el coeficiente de Hernández-Nieto y piloteo con 79 estudiantes de licenciatura en pedagogía, el resultado arrojó un coeficiente de fiabilidad del alfa KR-20 de 0.89 y excelente validez de contenido. El presente estudio se realizó con el objetivo de conocer si el IMDA está preparado para un proyecto de mayor escala y se verificó mediante dos vías: a) Determinación de las propiedades psicométricas de fiabilidad y validez de contenido; la primera mediante el coeficiente alfa KR-20 y la segunda a través de la calidad del ítem; b) Medida de variabilidad a través del modelo de regresión. La muestra estuvo constituida por 333 estudiantes de licenciatura de instituciones públicas de educación superior del estado de Durango, México. Los resultados indicaron lo siguiente: a) Fiabilidad del alfa KR-20 con un valor de 0.84 y valores aceptables en la media estadística del índice de dificultad ($M_{dif}=0.59$) e índice de discriminación ($M_{disc}=0.31$); b) El coeficiente de determinación R-cuadrado indicó que la proporción de variabilidad de la variable dependiente es explicada de manera significativa por todas las variables independientes del modelo de regresión. Se concluye que el IMDA es fiable y tiene validez para generalizar sus resultados.

RESUMO

Keywords:

Esta investigação é uma continuação do estudo instrumental que consistiu na concepção de um instrumento para medir a proficiência em álgebra (IMDA) dos estudantes mexicanos em formação de professores. A primeira fase incluiu a aplicação do método Delphi, a opinião de peritos,

<p>formação de professores, Instrumentos de avaliação, Psicometria.</p>	<p>o teste de validade de conteúdo utilizando o coeficiente de Hernandez-Nieto e a pilotagem com 79 estudantes de licenciatura, o que resultou num coeficiente de fiabilidade alfa KR-20 de 0,89 e numa excelente validade de conteúdo. O presente estudo foi realizado com o objetivo de averiguar se o IMDA está preparado para um projeto de maior escala e foi verificado através de duas formas: a) Determinação das propriedades psicométricas de fiabilidade e validade de conteúdo, a primeira através do coeficiente alfa KR-20 e a segunda através da qualidade dos itens; b) Medição da variabilidade através do modelo de regressão. A amostra foi constituída por 333 estudantes de licenciatura de instituições públicas de ensino superior do estado de Durango, México. Os resultados indicaram o seguinte: a) Fiabilidade do alfa KR-20 com um valor de 0,84 e valores aceitáveis na média estatística do índice de dificuldade ($MI_{dif}=0,59$) e do índice de discriminação ($MI_{disc}=0,31$); b) O coeficiente de determinação R-quadrado indica que a proporção de variabilidade da variável dependente é significativamente explicada por todas as variáveis independentes no modelo de regressão. Conclui-se que o IMDA é fiável e tem validade para generalizar os seus resultados.</p>
<p>Keywords: Teacher training, Evaluation instruments, Psychometrics.</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>This research is a continuation of the instrumental study that consisted of designing an instrument to measure the algebra proficiency (IMDA) of Mexican students in teacher training. The first stage included application of the Delphi method, expert judgment, content validity test using the Hernandez-Nieto coefficient and piloting with 79 undergraduate students in pedagogy, which resulted in a KR-20 alpha reliability coefficient of 0.89 and excellent content validity. The present study was carried out with the objective of finding out if the IMDA is prepared for a larger scale project and was verified through two ways: a) Determination of the psychometric properties of reliability and content validity; the first through the KR-20 alpha coefficient and the second through item quality; b) Measurement of variability through the regression model. The sample consisted of 333 undergraduate students in public institutions of higher education in the state of Durango, Mexico. The results indicated the following: a) Reliability of the KR-20 alpha with a value of 0.84 and acceptable values in the statistical mean of the difficulty index ($MI_{dif}=0.59$) and discrimination index ($MI_{disc}=0.31$); b) The R-squared coefficient of determination indicated that the proportion of variability of the dependent variable is significantly explained by all the independent variables in the regression model. It is concluded that the IMDA is reliable and has validity to generalize results in measuring the algebra proficiency of students in teacher training.</p>

Introducción

El pensamiento matemático implica el desarrollo de actividades matemáticas relacionadas con el conteo, la medición, la representación, la inferencia y la modelación. Rodríguez-Álvarez y Duran-Llano (2023), el resultado de estas actividades tiene repercusión en el desarrollo del individuo, por eso es importante que los futuros docentes desarrollen conocimientos y habilidad para analizar y proponer prácticas que favorezcan en los estudiantes el aprendizaje de la matemática y el desarrollo del pensamiento matemático, aspectos donde el uso del álgebra es fundamental.

De manera general, la práctica matemática hace referencia a la creación y/o producción matemática y consiste en promover el conocimiento del lenguaje matemático formal y su aplicación, pues a decir de Bueno y Vivanco (2023), los lenguajes formales son herramientas importantes para la inferencia y el descubrimiento, aspectos fundamentales que pueden permitir que en la práctica docente se ejecuten demostraciones matemáticas en cualquier nivel educativo que se trabaje.

El proceso para el desarrollo del pensamiento matemático y la aplicación de matemáticas inicia desde la educación preescolar, donde el uso del lenguaje matemático es relevante, aún y cuando éste no se desarrolle de manera formal, sin embargo, el aprendizaje que se logre será fundamental para que en la educación primaria se aborde el uso y comprensión de los símbolos matemáticos de manera correcta, esta idea es compartida por Alsina (2015), quien argumenta que a este nivel educativo no se pueden realizar demostraciones matemáticas pero señala la importancia de realizar comprobaciones sencillas.

El estudiante en proceso de formación docente debe tener dominio del álgebra temprana como un medio para favorecer el pensamiento algebraico en los primeros grados de la educación primaria (Pinto et al., 2023), el hecho de reconocer este pensamiento como una forma de pensar y operar con objetos, relaciones y estructuras matemáticas, facilita que el alumno comprenda y encuentre significado a las matemáticas. La práctica del álgebra temprana se facilita si se promueve a través de situaciones reales, en las que haya espacio para el razonamiento y argumentación de manera que los conduzca a comprender propiedades matemáticas, la identificación de patrones y la representación de relaciones, aspectos que permita a los niños realizar generalizaciones (Pincheira y Alsina, 2021).

El contenido algebraico en la asignatura de matemáticas en educación secundaria corresponde al eje temático número, álgebra y variación, específicamente en el contenido académico de suma y restas de expresiones algebraicas; estos contenidos académicos empiezan a manejarse desde el primer año de secundaria y tiene trascendencia en los siguientes ciclos escolares.

La enseñanza del álgebra en educación secundaria es fundamental para el desarrollo académico y personal de los estudiantes, esta disciplina proporciona herramientas esenciales para resolver problemas matemáticos, fomenta el pensamiento crítico y la lógica, habilidades necesarias en la vida cotidiana y en su proceso de formación (Aguirre y Cerati, 2020). El dominio del álgebra es una herramienta que sirve a los estudiantes para mejorar su rendimiento académico y base para realizar estudios más avanzados en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas, por tanto, comprender la importancia de enseñar álgebra en esta etapa es importante para formar ciudadanos competentes y analíticos.

En educación secundaria es común que se realicen demostraciones matemáticas formales y no formales, en estos se incluyen procesos de identificación y análisis de

errores en el uso del álgebra, de manera especial en los relacionados a la adquisición del lenguaje algebraico y el tránsito de la aritmética al álgebra (Avila, 2016).

En el nivel de educación media superior se generalizan las demostraciones formales y este espacio educativo es un punto crucial para el desarrollo del álgebra porque en mayor o menor medida, esta área de las ciencias exactas es relevante y tiene competencia en el mundo profesional (Márquez, 2019), pues es innegable que existe una estrecha correlación entre el desarrollo tecnológico en una sociedad y la implicación de las matemáticas.

Es en este nivel educativo donde la matemática adquiere mayor preponderancia (Universidad Europea, 2023), porque es ahí donde cobran formalidad los procesos para la selección de ingreso, así como los de selección para estudios de educación superior, debido a que esta materia forma parte de los planes de estudios en una amplia diversidad de carreras de grado.

El estudio de las matemáticas en las instituciones de educación superior formadoras de docentes es relevante, debido a que los estudiantes deben adquirir herramientas para promover el desarrollo de su habilidad matemática y facilitar la resolución de problemas, en este mismo sentido, Aké (2019), argumenta que en la formación de maestros se debe incorporar el estudio de situaciones que permitan repensar notaciones y operaciones aritméticas de manera distinta a la típica; es decir, cultivar un nuevo modo de pensamiento aritmético en el que se puedan construir las nociones básicas del álgebra.

La matrícula de las instituciones formadoras de docentes está compuesta por estudiantes que realizaron sus estudios de bachillerato en escuelas técnicas o humanísticas, sin distinción al tipo y modalidad del nivel de educación media recibida, son estudiantes que deberían tener un buen dominio del álgebra, sin embargo, en la práctica se ha demostrado que un número considerable de estos estudiantes tienen problemas con el conocimiento y aplicación en esta área de la matemática (Craveri, 2009).

Para atender este problema, es conveniente realizar una evaluación diagnóstica a los estudiantes con el propósito de conocer el nivel que tienen sobre el dominio del álgebra, esto implica llevar a cabo procesos sistemáticos y reflexivos de obtención de información cuantitativa y cualitativa sobre el aprendizaje del estudiante, situación que se puede conseguir a través de la aplicación de diversos instrumentos, entre ellos, exámenes en sus distintos tipos y modalidades.

Con independencia del nivel educativo, el aprendizaje del álgebra es importante para el desarrollo personal de los escolares, esto se debe a que la apropiación de los conocimientos necesarios en el campo de las matemáticas es fundamental para que el estudiante pueda lograr un desarrollo intelectual e integral que tenga reflejo en la cotidianidad académica y de su diario vivir.

A este respecto, cabe mencionar que los docentes de educación básica son los primeros promotores del aprendizaje y aplicación de contenidos matemáticos, por tanto, es importante que en su proceso formativo se profesionalicen en esta área de conocimiento pues las instituciones formadoras de docentes reconocen la necesidad e importancia de fortalecer el desarrollo de las matemáticas para ayudar a los futuros profesores a adquirir habilidades que les permitirán guiar a sus estudiantes en el aprendizaje de esta disciplina (Pérez, 2022).

En el proceso de enseñanza aprendizaje en las diversas disciplinas o campos formativos, el profesor promueve actividades de evaluación, ya sea para promover la mejora de los aprendizajes o para efectos de acreditación, a este respecto, se reconoce que los estudiantes presentan deficiencias que tienen origen en su proceso de formación docente; por este motivo, es conveniente atender la sugerencia de Pires (2024), quien

expresa la necesidad de que las instituciones educativas y los formuladores de políticas prioricen la oferta de cursos y talleres específicos para mejorar las habilidades de evaluación de los docentes.

Por lo general, el profesor enfatiza un proceso de evaluación para el logro de aprendizajes, esto implica llevar a cabo procesos sistemáticos y reflexivos de obtención de información cuantitativa y cualitativa sobre el aprendizaje del estudiante (Hamodi et al., 2015), acción educativa que se puede conseguir a través de la aplicación de diversos instrumentos, entre ellos, exámenes en sus distintos tipos y modalidades.

La información recuperada a través de los instrumentos de evaluación previamente citados debe ser objeto de análisis con un rigor metodológico que permita identificar fortalezas y barreras que se presentan a los alumnos al inicio, durante y al final de un proceso educativo, con el fin de orientar hacia su perfeccionamiento, en este sentido, los autores Sepúlveda-Obreque et al. (2017), manifiestan la necesidad de promover el perfeccionamiento y capacitación de los docentes en temas relacionado con la evaluación del aprendizaje y desempeño, así como la aplicación de instrumentos y su posterior análisis para evaluar el dominio en el campo de la matemática y desarrollo del pensamiento matemático en estudiantes y maestros.

De acuerdo con las anteriores apreciaciones, este trabajo de investigación es la continuidad de un estudio que, en la primera parte, consistió en diseñar un Instrumento para Medir el Dominio del Álgebra [IMDA] (Ochoa y Rivera, 2024) y fue dirigido a estudiantes mexicanos en formación docente. El proceso de construcción del IMDA transitó por las etapas del método Delphi y jueceo de expertos, prueba de validez de contenido por medio del Coeficiente de Hernández-Nieto (Hernández-Nieto, 2002), y un piloteo con 79 estudiantes de licenciatura en pedagogía, proceso donde registró un coeficiente de fiabilidad del alfa 20 de Kuder Richardson con un valor de 0.89.

La segunda parte del estudio que ocupa la presente investigación, se realizó con el objetivo general de conocer si el IMDA está preparado para un proyecto de mayor escala, esta situación se verificó por medio de dos vías: a) Determinación de las propiedades psicométrica de fiabilidad y validez de contenido, la primera mediante el coeficiente del alfa 20 de Kuder-Richarson y la segunda a través de la calidad del ítem y; b) Medida de variabilidad mediante la aplicación del método de Regresión Lineal Múltiple.

Método

Esta investigación se realizó con base en el enfoque metodológico cuantitativo con un diseño de carácter instrumental, de acuerdo con Montero y León (2007), el estudio se considera de carácter instrumental, dado que el estudio consistió en determinar las propiedades psicométricas del IMDA.

Muestra y participantes

La muestra total se integró con 333 estudiantes en formación docente que al momento realizaban sus estudios de licenciatura en diversas instituciones públicas de educación superior del estado de Durango, México. La selección de los participantes fue de tipo no probabilístico (Otzen, y Manterola, 2017). El tamaño de la muestra se determinó en función del criterio expuesto por Roco et al. (2021), que consiste en contar

con un mínimo de cinco y máximo de 10 sujetos por ítem, cantidad ideal para la aplicación de un instrumento mejorado.

Instrumento y proceso de validación

En la primera parte del estudio el diseño del IMDA quedó integrado por 30 ítems distribuidos en cinco dimensiones (García et al. 2019), con la siguiente estructura: a) Dimensión 1; Paso de la Aritmética al álgebra (PAA), con seis ítems; b) Dimensión 2; Reversibilidad del Pensamiento (RP), con seis ítems; c) Dimensión 3; Identificación de Patrones (IP), con seis ítems; d) Dimensión 4; Generalización del Conocimiento (GC), con seis ítems y; e) Dimensión 5; La Abstracción y la Reflexión en los Procesos Matemáticos (ARPM), con seis ítems. El IMDA se localizan en la sección de Anexos (ver Anexo 1).

Análisis de datos

Los datos tratados en el proceso de investigación fueron organizados y clasificados con el uso de la hoja de cálculo de Excel y objeto de análisis con apoyo del programa estadístico SPSS, las pruebas realizadas con los resultados de la aplicación del IMDA, fueron las siguientes: medidas de tendencia central, prueba de fiabilidad, prueba de calidad del ítem y prueba de variabilidad mediante el modelo de regresión lineal múltiple.

Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central utilizadas en el análisis fue la puntuación obtenida en cada dimensión del IMDA y la puntuación total.

Prueba de fiabilidad

El cálculo de la fiabilidad del instrumento se realizó a través del coeficiente de Kuder-Richardson, en concreto con la fórmula KR20, debido a que es un método utilizado para evaluar la consistencia interna de una medida basada en datos dicotómicos. El cálculo para determinar esta propiedad psicométrica es una fórmula que considera la varianza de las puntuaciones de los ítems y es el equivalente dicotómico del coeficiente alfa (López et al., 2019).

Prueba de Calidad de ítems

La calidad de un ítem se midió en función del valor de su índice de dificultad e índice de discriminación, estos estadísticos están estrechamente relacionados, sin embargo, es importante señalar el efecto especial del índice de discriminación, pues de acuerdo con la afirmación de Hurtado (2018), la determinación del valor norma de discriminación influye en la interpretación de la calidad de la prueba de rendimiento. Para determinar el valor del índice de dificultad y discriminación del ítem, se utilizó el método utilizado por Backhoff y Rosas (2000); en la Tabla 1 se encuentra el rango de valores del índice de dificultad y discriminación para interpretar la calidad del ítem.

Tabla 1*Clasificación e interpretación de índices de dificultad y discriminación*

Índice de dificultad		Índice de discriminación		Recomendación
Clasificación del ítem	Valor del índice	Clasificación del ítem	Valor del índice	
Fácil	0,91-1	Pésimo	< 0,01	Descartar
Relativamente fácil	0,81-0,90	Pobre	0 a 0,19	Descartar o revisar
Dificultad adecuada	0,51-0,80	Regular	0,20 a 0,29	Revisar
Relativamente difícil	0,40-0,50	Buena	0,30 a 0,39	Posibilidad de mejorar
Difícil	0-0,39	Excelente	0,40 a 1	Conservar

Medida de variabilidad del IMDA

A través del modelo de regresión se determinó la variabilidad de la puntuación de la variable dependiente con respecto al valor de su media estadística, a la vez de evaluar si dicha variabilidad es explicada de manera significativa por las variables independientes que intervinieron en el modelo

El modelo de regresión emite como principal evaluador de variabilidad el coeficiente de determinación R^2 (Rodríguez y Salmerón, 2018). Las variables que intervinieron en el proceso fueron la puntuación total y por dimensión que obtuvieron los participantes en la respuesta al IMDA, para efecto del trabajo operativo en el programa estadístico SPSS, estas fueron codificadas de la siguiente manera:

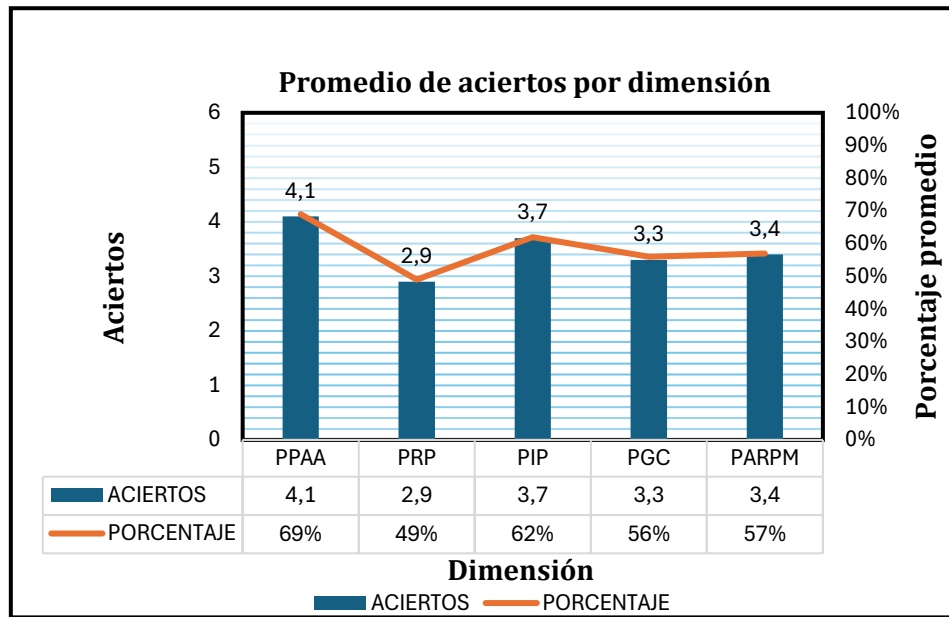
- 1) Puntuación que obtuvieron los participantes en la respuesta al IMDA (P_{IMDA}). De acuerdo con el modelo de regresión esta variable corresponde a la variable dependiente o variable respuesta.
- 2) Puntuación que obtuvieron los participantes en cada una de las dimensiones del IMDA, estas fueron: a) Puntuación en *Paso de la Aritmética al Álgebra* (P_{PAA}); b) Puntuación en *Reversibilidad del Pensamiento* (P_{RP}); c) Puntuación en *Identificación de Patrones* (P_{IP}); d) Puntuación en *Generalización del Conocimiento* (P_{GC}) y; e) Puntuación en *La Abstracción y la Reflexión en los Procesos Matemáticos* (P_{ARPM}). De acuerdo con el modelo de regresión estas variables corresponden a las variables independientes o variables predictoras.

Para determinar de dependencia y relación entre estas variables, el análisis de regresión se realizó en función del siguiente modelo de regresión.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i$$

Resultados**Medidas de tendencia central**

En la gráfica de la figura 1, se localiza el valor de la media estadística de aciertos registrada en cada dimensión del IMDA, aquí se puede apreciar que existe una puntuación equilibrada entre dimensiones que se confirma con referencia al valor de la media de las medias estadísticas de aciertos ($M_{DIMENSIONES}=3.5$)

Figura 1*Promedio de aciertos por dimensión del IMDA*

La puntuación obtenida por los participantes en la respuesta al IMDA (P_{IMDA}) se encuentra en la sección de anexos (ver anexo 1), en estos datos se encuentra el valor del estadístico de la media de la puntuación P_{IMDA} ($M_{IMDA}=17$ aciertos), este valor indica que, en promedio, los 333 estudiantes obtuvieron 17 aciertos en la respuesta a los 30 ítems del IMDA.

Medida de fiabilidad

El resultado de la medida de fiabilidad se indica en la Tabla 2, el cálculo se realizó a través de la fórmula alfa 20 de Kuder-Richardson, de acuerdo con Duran y Abad (2021), el valor del coeficiente ($KR-20=.846$) es bueno, ya que los autores lo consideran aceptable cuando se encuentra entre .75 y .90.

Tabla 2*Resultado de la prueba de fiabilidad*

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa 20 de Kuder-Richardson	N de elementos
.846	30

Validez de contenido del IMDA

Calidad de ítems

En la Tabla 3, se encuentra el valor del índice de dificultad e índice de discriminación de cada ítem, en ella se observa que los 30 ítems se consideran de calidad aceptable puesto que se ubicaron dentro del rango de calidad preestablecido, de igual

manera, se aprecia que el valor de la media estadística del índice de dificultad ($M_{Idif} = .59$) se reconoce con una *dificultad adecuada* y el valor de la media estadística del índice de discriminación ($M_{Idisc} = .31$) se reconoce como *bueno*, ambos con la posibilidad de ser mejorados.

Tabla 3
Índices de dificultad y discriminación

ítem	Idif	Idisc	ítem	Idif	Idisc	ítem	Idif	Idisc
1	0.49	0.31	11	0.48	0.33	21	0.52	0.35
2	0.68	0.38	12	0.52	0.38	22	0.61	0.36
3	0.77	0.26	13	0.59	0.38	23	0.50	0.24
4	0.70	0.27	14	0.43	0.40	24	0.59	0.30
5	0.77	0.27	15	0.63	0.34	25	0.64	0.33
6	0.72	0.34	16	0.70	0.26	26	0.61	0.31
7	0.44	0.37	17	0.60	0.22	27	0.47	0.43
8	0.63	0.34	18	0.78	0.29	28	0.41	0.21
9	0.49	0.36	19	0.66	0.20	29	0.59	0.21
10	0.38	0.35	20	0.47	0.22	30	0.69	0.31
							$M_{Idif} = .59$	$M_{Idisc} = .31$

Prueba de variabilidad

En la tabla 4, se encuentra el resumen del modelo de regresión; el valor del coeficiente de determinación R-cuadrado del modelo 1, indica que la variabilidad de la variable independiente P_{IP} , explica en un 64.2 % la variabilidad de la variable dependiente P_{IMDA} . En los modelos posteriores se observa que el valor del coeficiente de determinación R-cuadrado se va incrementando con la incorporación progresiva de las variables independientes P_{PAA} , P_{ARPM} , P_{GC} , y P_{RP} , hasta indicar que la variabilidad explicada que aportan las puntuaciones cubre prácticamente el 100% de la variabilidad de la puntuación P_{IMDA} . La explicación de variabilidad que ofrecen todas las variables es importante, así lo deja ver el valor del estadístico de cambio de Fisher-Snedecor (F) cuyo valor en cada modelo es aceptable y con un valor “p” significativo.

Tabla 4
Resumen del modelo

Resumen del modelo							
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	gl	F	Sig.
1	,801 ^a	,642	,641	3,695	331	593,499	,000
2	,908 ^b	,824	,823	2,594	330	773,031	,000
3	,951 ^c	,905	,904	1,914	329	1038,982	,000
4	,977 ^d	,955	,955	1,315	328	1742,881	,000
5	1,000 ^e	1,000	1,000	,000	.	.	.

a. Predictores: (Constante), P_{IP}
b. Predictores: (Constante), P_{IP} , P_{PAA}
c. Predictores: (Constante), P_{IP} , P_{PAA} , P_{ARPM}
d. Predictores: (Constante), P_{IP} , P_{PAA} , P_{ARPM} , P_{GC}
e. Predictores: (Constante), P_{IP} , P_{PAA} , P_{ARPM} , P_{GC} , P_{RP}

Un resultado complementario a la prueba del coeficiente de determinación R^2 , es el diagnóstico de colinealidad Salmerón y Rodríguez (2017). En la Tabla 5, se aprecia que, en cada modelo de regresión, la estadística de colinealidad *Tolerancia* arrojó valores cercanos a “1”, estos valores son indicativo de baja colinealidad entre las variables independientes, resultado que reafirma su efecto en el modelo de regresión.

Tabla 5
Estadísticas de colinealidad

		Variables excluidas ^a			Correlación parcial	Estadísticas de colinealidad Tolerancia
Modelo		En beta	t	Sig.		
1	P _{PAA}	,483 ^b	18,485	,000	,713	,781
	P _{RP}	,502 ^b	17,176	,000	,687	,671
	P _{GC}	,400 ^b	12,750	,000	,574	,738
	P _{ARPM}	,466 ^b	16,501	,000	,672	,747
2	P _{RP}	,350 ^c	14,631	,000	,628	,565
	P _{GC}	,316 ^c	14,918	,000	,635	,710
	P _{ARPM}	,345 ^c	16,648	,000	,676	,674
3	P _{RP}	,299 ^d	18,787	,000	,720	,552
	P _{GC}	,270 ^d	19,207	,000	,728	,693
4	P _{RP}	,286 ^e	.	.	1,000	,551

Otro indicador de ausencia de colinealidad entre las puntuaciones de las variables independientes es la existencia de correlación moderada y ausencia de alta correlación entre pares, en la Tabla 8 se observa que los valores de correlación entre pares oscilan en el intervalo de valores ($.386 < r < .574$), es decir, se cumple la condición que demuestra ausencia de colinealidad que establece Goode-Romero (2019), y consiste en excluir a los pares de variables que indiquen un coeficiente de correlación ($r > 0.6$).

Tabla 6
Correlación entre pares de variables

		Correlaciones				
		P _{PAA}	P _{RP}	P _{IP}	P _{GC}	P _{ARPM}
P _{PAA}	Correlación de Pearson	1	,556**	,468**	,386**	,473**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,000
	N	333	333	333	333	333
P _{RP}	Correlación de Pearson	,556**	1	,574**	,392**	,471**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000
	N	333	333	333	333	333
P _{IP}	Correlación de Pearson	,468**	,574**	1	,512**	,503**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,000
	N	333	333	333	333	333
P _{GC}	Correlación de Pearson	,386**	,392**	,512**	1	,411**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,000
	N	333	333	333	333	333
P _{ARPM}	Correlación de Pearson	,473**	,471**	,503**	,411**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	
	N	333	333	333	333	333

Discusión y conclusiones

Respecto al resultado de la aplicación del IMDA, las medidas de tendencia central indicaron que existe un equilibrio entre el valor de la media estadística de aciertos de las cinco dimensiones, situación que de entrada refleja homogeneidad en la respuesta al IMDA e indicativo de la medida adecuada del constructo *dominio del álgebra*.

Con atención al objetivo planteado en esta investigación, el IMDA fue aplicado a 333 estudiantes en formación docente y se encontró que el estadístico de fiabilidad sigue indicando un valor bastante aceptable ($KR-20=.84$), solo cinco centésimas por debajo del valor obtenido en la prueba piloto ($KR-20=.89$); con este resultado se confirma que existe una buena consistencia interna entre ítems y estabilidad a través del tiempo del IMDA.

En relación con la medida de calidad del ítem, se encontró que cada uno de los 30 ítems registró valores aceptables en sus índices de dificultad y discriminación, ya que se ubicaron dentro del rango establecido para ser considerados de buena calidad; lo mismo ocurrió con el set de ítems que registró valores aceptables en la media estadística de su índice de dificultad ($M_{dif} = .59$) y, en la media estadística de su índice de discriminación ($M_{dif} = .31$); estos resultados indican que, en su generalidad, los ítems del IMDA son moderadamente sencillos y que diferencian entre quienes tienen y no tienen dominio del álgebra.

La prueba de variabilidad que se realizó a través del modelo de regresión indicó que la variabilidad de la variable dependiente fue explicada de manera significativa por cada una de las variables independientes hasta cubrir el 100%, este resultado tuvo sustento en el valor del coeficiente de determinación R-cuadrado que se registró en cada modelo que se expone en el resumen del modelo de regresión. Estos resultados indican que la variabilidad observada del IMDA es sistemática o aleatoria, característica que contribuye a obtener información confiable y consistente, para el caso particular, en la medida del dominio del álgebra que tienen estudiantes en formación docente.

Un resultado que complementa la medida de variabilidad del IMDA es el diagnóstico de colinealidad *Tolerancia* que arrojó valores cercanos a "1", el valor de este estadístico indica baja colinealidad entre las variables independientes del modelo de regresión, esto significa que las variables no están fuertemente correlacionadas entre sí y que cada variable independiente aporta información única de la variable dependiente, consecuentemente, el modelo de regresión es más estable y los coeficientes son más confiables, características que mejoran la precisión en las estimaciones del IMDA. En sustento al resultado de la prueba de colinealidad, se realizó la prueba de correlación entre pares de variables independientes y se encontró la existencia de correlación positiva moderada en cada uno de ellos.

Una vez que el IMDA fue sometido a estudios rigurosos con una mayor cantidad de participantes, se confirmó que cuenta con propiedades psicométricas de fiabilidad y validez de contenido, además, los resultados de la prueba de variabilidad indicaron que el IMDA también tiene capacidad para detectar diferencias significativas entre individuos o grupos.

Estas propiedades y características psicométrica que exhibe el IMDA aumentan su robustez y generalización de los resultados, garantía de que el instrumento es preciso y útil para aplicarse en poblaciones en formación docente donde convergen estudiantes con amplia diversidad en el dominio del álgebra, puesto que, a nivel licenciatura, concurren estudiantes que estudiaron su bachillerato en escuelas técnicas y humanistas.

Con la aplicación del IMDA, se espera obtener una evaluación diagnóstica que permita emprender acciones enfocadas a fortalecer el desarrollo del pensamiento matemático de estudiantes en formación docente, de tal manera que, cuando se integren

a su práctica educativa, tengan más y mejores herramientas para facilitar el aprendizaje y práctica educativo de sus alumnos en esta área de conocimiento.

Con el propósito de extender la utilidad del IMDA, queda el pendiente de ser probado en poblaciones de diferente nivel educativo, pues en la redacción de sus ítems se cuidó su estructura y nivel de complejidad, por otra parte, queda también la inquietud de hacer la prueba para determinar si tiene validez de predicción, propiedad psicométrica a través de la cual se puede predecir el éxito de los estudiantes.

Referencias

- Aguirre, A. E., y Cerati, E. (2020). Sentidos del álgebra que priorizan textos escolares: Un análisis de libros de textos. *Revista Iberoamericana de Educación matemática*, XVI(59), 252-274. file:///C:/Users/usuario/Downloads/106-Texto%20del%20art%C3%ADculo-869-1-10-20200831.pdf
- Aké, L. P. (2019). Conocimiento matemático de maestros en formación sobre la simbología algebraica. *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 10(19), 55-70. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v10i19.506
- Alsina, A. (2015). Panorama internacional contemporáneo sobre la educación matemática infantil. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, (42), 210-232. <https://fisem.org/2021/09/06/union-publicado-un-nuevo-numero/>
- Avila, A. (2016). La investigación en educación matemática en México: una mirada a 40 años de trabajo. *Educación matemática*, 28(3), 31-59. <https://www.scielo.org.mx/pdf/edumat/v28n3/1665-5826-ed-28-03-00031.pdf>
- Backhoff, E., Larrazolo, N., y Rosas, M. (2000). Nivel de dificultad y poder de discriminación del Examen de Habilidades y Conocimientos Básicos (EXHCOBA). *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 2 (1). <http://redie.uabc.mx/vol2no1/contenido-backhoff.html>
- Bueno, O., y Vivanco, M. (2023). Lógica, lenguajes formales y modalidad. *Andamios*, 20(53), 45-60. <https://doi.org/10.29092/uacm.v20i53.1030>
- Craveri, A. M. (2009) El aprendizaje de matemática con herramienta computacional en el marco de la teoría de los estilos de aprendizaje. *Revista Estilos de Aprendizaje*, 3(2), 102-123. <https://revistaestilosdeaprendizaje.com/article/view/879/1567>
- Duran, F. B., y Abad, G. (2021). Aplicación del coeficiente de confiabilidad de Kuder Richardson en una escala para la revisión y prevención de los efectos de las rutinas. *Boletín Científico de la Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 8(15), 51-55. <https://doi.org/10.29057/esat.v8i15.6693>
- García, M. D. C., (2019). *Formación y aprendizaje del álgebra*. Red de Posgrados de Educación, A. C.
- Gómez et al. (2020). Índice de dificultad y discriminación de ítems para la evaluación en asignaturas básicas de medicina. *Educación Médica Superior*, 34(1), 1-12. <http://scielo.sld.cu/pdf/ems/v34n1/1561-2902-ems-34-01-e1727.pdf>
- Goode-Romero, G., Aguayo-Ortiz, R., y Domínguez, L. (2019). Relaciones cuantitativas estructura-actividad/propiedad en dos dimensiones empleando el programa R. *Educación Química*, 30 (2), 27-40. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67211>
- Hamodi, C., López, V. M., y López, A. T. (2015). Medios, técnicas e instrumentos de evaluación formativa y compartida del aprendizaje en educación superior. *Perfiles Educativos*, XXXVII(147), 146-161. <https://www.scielo.org.mx/pdf/peredu/v37n147/v37n147a9.pdf>

- Hernández-Nieto, R. (2002). Contribuciones al análisis estadístico. *Revista Venezolana de Ciencia Política*, (23), 132-134.
- Hurtado, L. L. (2018). Relación entre los índices de dificultad y discriminación. *Revista digital de investigación en docencia universitaria*, 12(1), 273-300. <http://dx.doi.org/10.19083/ridu.12.614>
- López, R., Avello, R., Palmero, D. E., Sánchez, S., y Quintana, M. (2019). Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 48(2), 441-450. <http://scielo.sld.cu/pdf/mil/v48s1/1561-3046-mil-48-s1-e390.pdf>
- Márquez, M. A. (2019). ¿Por qué importa aprender álgebra elemental? *DOCERE*, 25-28. file:///C:/Users/usuario/Downloads/mhguerre,+2019_6_Por+que+importa+aprender+algebra-25-28.pdf
- Montero, I., y León, O. (2007). A guide for naming research studies in psychology. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 7(3), 847-862. <https://www.redalyc.org/pdf/337/33770318.pdf>
- Ochoa, O. L., y Rivera, M. L. (2024). Diseño de un instrumento para medir el dominio del álgebra. *Revista Inventio*, 20(51), 1-13. <https://doi.org/10.30973/inventio/2024.20.51/8>
- Otzen, T. y Manterola C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227-232. <https://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Pérez, E. T. (2022). Formación del docente para la enseñanza de las matemáticas: una mirada hacia el futuro de los estudiantes universitarios. *Educare*, 26(1). <https://portal.amelica.org/ameli/journal/375/3753509004/html/>
- Pincheira, N., y Alsina, Á. (2021). El álgebra temprana en los libros de texto de Educación Primaria: implicaciones para la formación docente. *Bolema, Rio Claro (SP)*, 35(71), 1316-1337. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-4415v35n71a05>
- Pinto, E., Ayala-Altamirano, C., Molina, M. y Cañadas, M. C. (2023). Desarrollo del pensamiento algebraico a través de la justificación en educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(1), 149-173. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5835>
- Pires, L. M. (2024). Los efectos de la formación continua en la competencia en evaluación de los profesores. *MLS - Educational Research*, 8(2), 344-357.
- Rodríguez-Álvarez, D. J., y Duran-Llaro, K. L. (2023). Estrategia de fortalecimiento en la enseñanza de los docentes. *Revista KOINONIAI*, VIII(2), 504-522. <http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v8i2.2889>
- Roco, A., Hernández, M., y Silva, O. (2021). ¿Cuál es el tamaño muestral adecuado para validar un cuestionario? *Nutr Hosp*, 38(4), 877-878. <http://dx.doi.org/10.20960/nh.03633>
- Rodríguez, A. y Salmerón, R. (2018). The Coefficient of Determination in the Ridge Regression. *Anales de Asepuma*, 26, 1-12
- Salmerón, R. y Rodríguez, M. (2017). Métodos cuantitativos para un modelo de regresión lineal con multicolinealidad. Aplicación a rendimientos de letras del tesoro. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 24, 169-189. www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2886
- Sepúlveda-Obreque, A., Payahuala-Vera, H., Lemarie-Oyarzún, F., y Opazo-Salvatierra, M. (2017). ¿Cómo evalúan el aprendizaje los profesores de matemática?: percepción de los estudiantes de escuelas básicas municipalizadas de la décima región. *REXE*.

Revista de Estudios y Experiencias en Educación, 16(30), 63-79.
<https://www.redalyc.org/pdf/2431/243150283004.pdf>
 Universidad Europea (23 de Junio de 2023). ¿Qué es el álgebra y por qué es tan importante? *Blog de Ciencias*. <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-algebra/#:~:text=El%20%C3%A1lgebra%20sirve%20para%20varios,transmitir%20ideas%20y%20resolver%20problemas>

Anexos

Anexo 1

Puntuación del IMDA (P_{IMDA})

P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
1	30	37	26	73	23	109	21	145	18	181	16	217	14	253	12	289	11	325	9
2	30	38	26	74	23	110	21	146	18	182	16	218	14	254	12	290	11	326	8
3	30	39	26	75	23	111	21	147	18	183	16	219	14	255	12	291	11	327	8
4	30	40	26	76	23	112	20	148	17	184	16	220	14	256	12	292	11	328	8
5	30	41	26	77	23	113	20	149	17	185	16	221	14	257	12	293	10	329	8
6	30	42	26	78	23	114	20	150	17	186	16	222	14	258	12	294	10	330	8
7	30	43	26	79	23	115	20	151	17	187	15	223	14	259	12	295	10	331	8
8	29	44	26	80	23	116	20	152	17	188	15	224	14	260	12	296	10	332	8
9	29	45	26	81	23	117	20	153	17	189	15	225	14	261	12	297	10	333	7
10	29	46	26	82	23	118	20	154	17	190	15	226	14	262	12	298	10		
11	29	47	26	83	23	119	20	155	17	191	15	227	13	263	12	299	10	<u>$M_{\text{IMDA}}=17$</u>	
12	29	48	26	84	23	120	20	156	17	192	15	228	13	264	12	300	10		
13	29	49	25	85	22	121	20	157	17	193	15	229	13	265	11	301	10		
14	29	50	25	86	22	122	20	158	17	194	15	230	13	266	11	302	10		
15	29	51	25	87	22	123	19	159	17	195	15	231	13	267	11	303	10		
16	29	52	25	88	22	124	19	160	17	196	15	232	13	268	11	304	10		
17	29	53	25	89	22	125	19	161	17	197	15	233	13	269	11	305	10		
18	29	54	25	90	22	126	19	162	17	198	15	234	13	270	11	306	10		
19	28	55	25	91	22	127	19	163	17	199	15	235	13	271	11	307	10		
20	28	56	25	92	22	128	19	164	17	200	15	236	13	272	11	308	10		
21	28	57	25	93	22	129	19	165	17	201	15	237	13	273	11	309	10		
22	28	58	25	94	22	130	19	166	16	202	15	238	13	274	11	310	10		
23	28	59	25	95	22	131	19	167	16	203	15	239	13	275	11	311	10		
24	28	60	25	96	22	132	19	168	16	204	15	240	13	276	11	312	10		
25	28	61	24	97	22	133	19	169	16	205	15	241	13	277	11	313	10		
26	28	62	24	98	22	134	19	170	16	206	15	242	13	278	11	314	10		
27	27	63	24	99	21	135	19	171	16	207	14	243	12	279	11	315	10		
28	27	64	24	100	21	136	19	172	16	208	14	244	12	280	11	316	10		
29	27	65	24	101	21	137	18	173	16	209	14	245	12	281	11	317	10		
30	27	66	24	102	21	138	18	174	16	210	14	246	12	282	11	318	9		
31	27	67	24	103	21	139	18	175	16	211	14	247	12	283	11	319	9		
32	27	68	24	104	21	140	18	176	16	212	14	248	12	284	11	320	9		
33	27	69	24	105	21	141	18	177	16	213	14	249	12	285	11	321	9		

34	27	70	24	106	21	142	18	178	16	214	14	250	12	286	11	322	9
35	27	71	23	107	21	143	18	179	16	215	14	251	12	287	11	323	9
36	27	72	23	108	21	144	18	180	16	216	14	252	12	288	11	324	9

Anexo 2

Instrumento IMDA

Items No	Item
1-6 (PAA)	Determine el resultado de la expresión algebraica: $2x + 3y =$ (para $x = 1$; $y = -2$)
	Determine el resultado de la expresión algebraica: $3a - 2b =$ (para $a = \frac{3}{5}$; $b = \frac{1}{10}$)
	Indique el valor de "x" en la expresión algebraica: $x = 8 + y$; considere que: $y = 4$
	Se busca el valor de "x" en la expresión algebraica: $8x - 8 = 6$.
	Indique el valor de "x" para lograr la igualdad en la siguiente operación algebraica: $-11 + 7 = x - 6$
	Indique el equivalente de la siguiente expresión algebraica: $4(x - 2) + 6 =$
7-12 (RP)	Indique el número que cumple con la igualdad: $(a)(b + c) = (ab + ac)$
	Indica el valor de "x" en la siguiente operación algebraica: $\frac{3x}{4} - 12 = 0$
	De la igualdad: $r^4 = 256$ ¿Qué expresión determina el valor de "r"?
	Indique el resultado de la suma algebraica: $4x(y - 4xy) + 12x^2y =$
	Indique los factores correspondientes al trinomio cuadrado: $x^2 - 3x - 18$
	Indique las soluciones para el sistema de ecuaciones simultáneas: $(2x + 4y = 28)$; $(-4x + 2y = -6)$
13-18 (IP)	Indique el término en la quinta posición de la progresión geométrica siguiente: 3, 9, 27, ..., (...),
	Indique el patrón de la siguiente progresión geométrica: 7, 11, 15, 19, ...
	La suma de 6 números consecutivos vale 45. ¿Cuál deberá ser el rango de dichos números?
	¿Cuál es la sumatoria de los primeros 5 términos de la progresión aritmética: 15, 13, 11, ..., ...?
	¿A qué progresión geométrica corresponde el patrón: $3n^2 - 2$
	¿Qué monomio acomoda en la quinta posición de la progresión geométrica: $2xy, 4xy^2, 8xy^3, \dots, (\dots)$?
19-24 (GC)	Indique la igualdad que proporciona la solución a un problema de proporción directa.
	Indique la igualdad que aporta la solución al problema de proporción inversa.
	De la fórmula $R = \frac{V}{I}$, indique la ecuación apropiada para calcular el valor de (I).
	Derivado de la fórmula: $x = \frac{4}{(y+z)}$, indique la ecuación apropiada para calcular el valor de "y".
	De la fórmula $^{\circ}C = \frac{^{\circ}F - 32}{1.8}$; indique la ecuación para obtener la temperatura en $^{\circ}F$
	Indique la fórmula para obtener el valor de la altura (h) de un trapecio: $A = \frac{(B+b)h}{2}$
25-30 (ARPM)	Escriba el modelo matemático para representar: El dinero de María (M) más una cuarta parte de Lupe (L)
	Escriba el modelo matemático para representar: Luis (L) tiene 8 monedas menos que Paco (P)
	Escriba el modelo matemático para representar: Juan tiene 15 monedas más que Pedro

	Escriba el modelo matemático para representar: el escritor "B" escribió 2.5 veces más páginas que "A"
	Escriba el modelo matemático para representar: En un grupo hay 27 alumnos y el número de mujeres (M) es el doble de hombres (H).
	Escriba el modelo matemático para obtener un número impar