

Área de Consolidación

Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria

Revisión sistemática y meta-análisis

“Efectos de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en trigo”

Autores:

Buttarelli, Francisco

Díaz Pucheta, Rodrigo

Ghiglione, Matías

Poncio, Joaquín

Tutora:

Balzarini, Mónica

Cotutoras:

Delvechio, Estefanía

Rueda Calderón, Angélica

Lugar:

Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba.

Córdoba, mayo 2019



ÍNDICE

Resumen.....	4
Introducción	5
Objetivos	9
Materiales y métodos	9
Recolección de la información a través de la RS.....	9
Conformación de la bases de datos para realizar el meta-análisis.....	11
Meta-análisis	11
Resultados y discusión	12
Conclusión	13
Referencias bibliográficas	14
Anexo	16
Referencias bibliográficas de la RS.....	19

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1.....	10
Figura 2.....	11
Tabla 1	13
Figura 3.....	16
Figura 4.....	17
Figura 5.....	18

RESUMEN

El rendimiento del cultivo de trigo, es el resultado de la interacción entre factores ambientales, genéticos, tecnológicos y de manejo. La nutrición mineral a través de la fertilización, principalmente nitrogenada, constituye una de las principales limitantes en los rendimientos del cultivo de trigo en Argentina; siendo las dosis promedio nacionales inferiores a los requerimientos del cultivo. Debido a la cantidad considerable de información disponible relacionada a esta temática, se realizó una revisión sistemática de literatura; evaluando 16 papers. Se llevó a cabo un meta-análisis (MA), para los rendimientos en grano de trigo evaluando la respuesta a la fertilización nitrogenada. Para ello se ajustó un modelo de efectos aleatorios (MEA) y un análisis por subgrupos para los niveles altos, medios y bajos de fertilización, debido a la alta heterogeneidad. El MEA ajustado dio una estimación global de 1,70 (esto evidencia un incremento en el rendimiento en un 70% con respecto al testigo); siendo este estadísticamente significativo. Con la información obtenida, es posible concluir que la fertilización nitrogenada incrementa el rendimiento del cultivo en comparación al del testigo, en un 37, 74 y 102% para las dosis bajas, medias y altas, respectivamente. No obstante, se sugiere contemplar otras variables que podrían influir en el rendimiento del cultivo trigo.

Palabras clave: Efecto global, revisión sistemática, modelo de efectos aleatorios, forest plot.

INTRODUCCIÓN

El trigo se encuentra entre los tres tipos de granos más producidos a nivel mundial, junto al maíz y el arroz. Este tipo de granos son los de mayor consumo humano en la cultura occidental y esto se remonta desde la antigüedad. La palabra “trigo” proviene del vocablo latino *triticum*, que significa “quebrado”, “triturado” o “trillado”, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo y de la cascarilla que lo recubre. El grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios. El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, en la zona de Mesopotamia. Además, el cultivo del trigo se difundió desde Oriente Medio hacia todas las direcciones. El trigo produjo más alimento al ser cultivado por iniciativa de los seres humanos, pues de otra manera éste no habría podido tener éxito en estado salvaje. Debido que la agricultura y la ganadería exigen un cuidado continuo de las plantaciones, se vio la necesidad de considerar factores externos como, por ejemplo, el tiempo, las estaciones, posibilitando de esta manera que algunas poblaciones guardasen/almacenasen provisiones para las épocas menos generosas. Además, esto es posible ya que el grano de trigo permite su fácil almacenamiento ya sea a través del uso de silos u otras formas de almacenaje.

Se dice que el cultivo de trigo en América, fue introducido por la colonización inglesa en las tierras conquistadas. Por otra parte, existen teorías que plantean que el trigo entró a América cuando inmigrantes rusos lo trajeron a Kansas, Estados Unidos, en la década de 1870. A nivel mundial, el mejoramiento de las técnicas de cultivo y la selección genética ha conducido un incremento considerable de su rendimiento, pasando de menos de 10 qq/ha en 1900 a más de 25 en 1990. El rendimiento promedio en Argentina de la campaña 2017/18 fue de 32,2 qq/ha. La producción mundial fue de 758,2 millones de toneladas durante el mismo ciclo. La Unión Europea con 151,6 millones de toneladas, continúa liderando el ranking de productores al generar el 20% del trigo global, seguida de China con 130 millones de toneladas y de India con 98,3 millones. Argentina, con 18 millones de toneladas durante el mismo ciclo, sube dos escalones dentro del ranking de los países productores de trigo colocándose en la decimoprimera posición. Nuestro país obtuvo un incremento interanual del 20% al pasar de 15 a 18 millones de Tn, representando el 2,4% del mercado internacional. Esta campaña se coloca cómo la segunda mejor desde el año 2007 donde la producción nacional llegó a 18,6 millones de Tn. Adicionalmente, en Argentina entre 4 y 5 millones de toneladas de grano se destinan al consumo interno para panificación, representando el 30% de la producción anual; el

resto de la producción se divide entre lo que es exportado y las semillas guardadas que son aproximadamente 500.000 toneladas. El mercado de trigo es atomizado en producción, consumo y exportación, siendo Argentina un exportador relativamente importante en la cadena mundial. El rendimiento del cultivo de trigo, es el resultado de la interacción entre factores ambientales, genéticos, tecnológicos y de manejo; aunque el factor ambiental siempre prevalece por sobre los demás (Campillo *et al.*, 2007), siendo la disponibilidad hídrica durante el ciclo del cultivo la principal limitante para la producción. Sin embargo, en muchas ocasiones los bajos rendimientos no deben ser solo atribuidos a cuestiones climáticas, también la escasa oferta de otros recursos necesarios para el buen desarrollo del cultivo.

La nutrición mineral a través de la fertilización y su optimización, constituye una de las principales limitantes de la producción de trigo en nuestro país (García, 2004); y bajo este contexto, la eficiencia en el uso de los fertilizantes es fundamental. El manejo de la nutrición en trigo a través del agregado de fertilizantes químicos considerando la heterogeneidad del lote, puede resultar en un factor de mejora sobre la condición general del cultivo (Muñoz *et al.*, 2017). El Nitrógeno (N) es el principal elemento requerido para la producción de los cereales de invierno, como es el caso del trigo (Echeverría y Sainz Rozas, 2005). Deficiencias de este nutriente reducen la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y grano. Una adecuada nutrición nitrogenada del cultivo posee, a su vez, un efecto positivo en la eficiencia de uso del agua (EUA) debido a la mejora en el crecimiento del cultivo, mayor eficiencia fotosintética, incremento de la transpiración y disminución de la evaporación desde el suelo (Micucci y Alvarez, 2003).

Según la estimación mensual Nacional de la Bolsa de Comercio de Rosario, se agregaron 138 mil hectáreas a la estimación del área triguera. En este sentido, especialistas del INTA Balcarce, Buenos Aires, aseguran que una adecuada estrategia de fertilización ayudará a mejorar el rinde, el contenido y la calidad de la proteína del grano (Reussi Calvo *et al.*, 2015). A escala nacional, las dosis promedio de nitrógeno aplicadas están muy por debajo de los requerimientos del cultivo, estas rondan alrededor de los 60 Kg/ha de nitrógeno, esto explica, en parte, la brecha entre el rendimiento posible (limitado por agua) y el rendimiento realmente obtenido, el cual es de 1,4 toneladas por hectáreas (promedio a nivel nacional). De acuerdo con Reussi Calvo *et al.* (2015) especialista en fertilización de cultivos del INTA Balcarce, un aumento de la dosis del 35 % en el caso del nitrógeno, podría lograr un incremento de la producción del 13 al 15 %, esto es, pasar de 18,4 a 21,2 millones de toneladas. Una de las causas de las bajas dosis utilizadas, es la escasa adopción del muestreo de suelo y de metodologías apropiadas de diagnóstico; como

herramientas para la toma de decisiones, solo del 30 al 35 % del área cultivada con trigo es analizada para conocer los niveles de nutrientes del suelo. Para determinar de manera correcta la dosis óptima de nitrógeno, un adecuado diagnóstico debe contemplar la disponibilidad inicial de nitratos en suelo a la siembra y el aporte por mineralización durante el ciclo del cultivo (Reussi Calvo *et al.*, 2014). Además, para lograr un mayor rendimiento de grano y mejorar su calidad comercial e industrial, la elección adecuada de la zona a cultivar generaría considerables beneficios a la hora de fertilizar. Para esto, es necesario un adecuado diagnóstico inicial mediante el análisis de suelo y el monitoreo del estado nitrogenado del cultivo durante estadios reproductivos. El análisis conjunto de una cantidad considerable de ensayos podría mejorar la comprensión del efecto de variables de suelo, clima y manejo sobre los patrones de respuesta. Por ejemplo, mediante la integración de varios cientos de ensayos de fertilización nitrogenada. El escenario científico contemporáneo se caracteriza por un crecimiento sin precedentes de la publicación de artículos de investigación, principalmente en formato digitalizado. Esta característica facilita la recolección de considerables/abundantes cantidades de información que describen el “conocimiento acerca del conocimiento”, también denominado como “meta-conocimiento” (Evans y Foster, 2011). En este contexto, existen diferentes técnicas de revisión que, de manera simplificada, podemos agrupar según dos enfoques diferenciados: i) cualitativo, cuando el objetivo principal es hacer una descripción del estado de un tema, comúnmente denominadas “revisiones sistemáticas”; y ii) cuantitativo, cuando incluye el procesamiento matemático de los datos recolectados, también denominadas como “meta-análisis” (Borenstein *et al.*, 2009; Philibert *et al.*, 2012). Ambos enfoques son de suma utilidad para resumir, a partir de un gran número de investigaciones previas. El término meta-análisis (MA) fue introducido por primera vez por (Glass, 1976), para denotar la síntesis estadística de los resultados de estudios similares. El MA tuvo sus inicios en las ciencias médicas, sociales y del comportamiento (Hao *et al.*, 2010; Karlsson Linnér *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2013; McDaniel, 2005; Zeggini y Ioannidis, 2009). No obstante, este tipo de técnica está siendo usada en el contexto de las ciencias agrícolas como herramienta de análisis de varios caracteres de interés agronómico; *e.g.*, efectos ambientales que podrían modificar la composición de la semilla (Rotundo y Westgate, 2009), comparación de rendimientos de maíz y trigo en diferentes sistemas de cultivo (Hossard *et al.*, 2016; Miguez y Bollero, 2005), análisis de QTL (*Quantitative Trait Loci*) relacionados a la misma característica y mapeados sobre el mismo grupo de ligamiento (Goffinet y Gerber, 2000) y QTLs para la resistencia a enfermedades en el maíz y para la tolerancia a la sequía en el maíz (Hao *et al.*, 2010; Rossi *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2015). Uno de los principales desafíos que enfrenta la agronomía es referido al diseño de protocolos para la estandarización y el armado de bases de

datos. Por ejemplo, establecer criterios de agrupamiento a experimentos que fueron diseñados de distintas formas y cuya finalidad es evaluar diferentes factores de interés *i.e.*, dosis, fuente, momento, forma de aplicación.

Los agro-ecosistemas enfrentan problemas de complejidad creciente, la comunidad científica debe comenzar a analizar la información de una manera más consensuada y organizada. Actualmente, el grueso de las investigaciones en fertilización en Argentina corresponde a ensayos aislados y, ocasionalmente, redes de ensayos con análisis estadísticos clásicos. Para analizar/estudiar relaciones entre dosis de fertilizantes nitrogenados y rendimientos en cultivo de trigo de manera conjunta, la revisión sistemática (RS) podría ser una adecuada herramienta de recopilación de información relacionada a esta temática. La RS permite extraer información relevante de estudios primarios relacionados a una pregunta de investigación, sintetizar la información científica disponible, incrementar la validez de las conclusiones de estudios primarios e identificar áreas para futuras investigaciones (Ferreira González *et al.*, 2011). No obstante, la RS deberá contemplar los siguientes pasos para su elaboración: (i) formular la pregunta de investigación, a partir de esta pregunta se realizará el constructo de búsqueda; (ii) realizar la búsqueda de manera exhaustiva y comprensiva de estudios primarios en diferentes bases de datos; (iii) compactar la información obtenida de las diferentes bases de datos a través de un gestor bibliográfico; (iv) establecer los criterios de exclusión e inclusión para la selección de estudios primarios; (v) determinar la relevancia de los estudios identificados y (vi) extracción de los datos (Pai *et al.*, 2004).

Después de la RS de la literatura relacionada a la pregunta de investigación, información relevante de los estudios individuales suele ser agrupada para ser analizada simultáneamente con modelos estadísticos propios del MA (Akobeng, 2005; Borenstein *et al.*, 2009, 2010; Sánchez-Meca, 2010). Además, el MA es una herramienta metodológica que permite: (i) analizar el tamaño del efecto de los estudios primarios, este puede ser continuo o discreto, (ii) sintetizar los resultados de estudios primarios obtenidos de la RS para incrementar la potencia, (iii) estimar el tamaño del efecto de interés, (iv) evaluar el sesgo de publicación, (v) evaluar heterogeneidad entre estudios a través de un análisis por subgrupos o meta-regresiones (Borenstein *et al.*, 2009; Sargeant *et al.*, 2006) De igual manera, el MA puede contribuir a mejorar la estimación del efecto global de tratamiento usando distintos modelos estadísticos, *i.e.*, modelos de efectos fijos y aleatorios; estos se pueden visualizar a través del gráfico Forest Plot (FP). El FP es de los gráficos más usados en el contexto de MA, este se caracteriza por reflejar información conjunta de los estudios primarios y su efecto global; también, es posible observar las ponderaciones o “pesos” estimados para el modelo estadístico usado, estos pesos influyen en la estimación global del

tamaño del efecto. Además, el tamaño del efecto global/promedio estimado, tendrá en cuenta información propia de cada estudio primario, es decir, el tamaño de la muestra evaluada y/o número de eventos reportados. Cabe mencionar que, la exclusión de estudios relevantes, como la inclusión de estudios inadecuados en el MA, pueden agregar/generar sesgo. Para evitar este tipo de problemáticas, lo ideal sería seguir un esquema de selección adecuado en la RS. Una herramienta gráfica que permite la identificación de posibles sesgos de publicación, es el Funnel Plot (Duval y Tweedie, 2000; Sterne *et al.*, 2011).

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo fueron los siguientes, i) realizar una revisión sistemática (RS) de literatura científica publicada sobre análisis de rendimientos de trigo en respuesta a la fertilización nitrogenada con respecto a un testigo, ii) aplicar técnicas propias del meta-análisis para analizar y concluir la respuesta en el rendimiento de trigo a partir de la fertilización con nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN A TRAVÉS DE LA RS

Para la realización de la RS se seleccionaron palabras claves relacionadas a la pregunta de investigación, con estas palabras se hizo el constructo de búsqueda que tuvo la estructura de P-I-O (Population-Intervention-Outcome) siendo (*wheat* OR "*triticum aestivum*") AND ("*Nitrogen fertilization*" OR "*fertilization trials*") AND (*yield* OR *efficiency* OR *production*). Este tipo de configuración de búsqueda de literatura, permitió la obtención de una cantidad considerable de estudios primarios relacionados a efectos de la fertilización sobre el rendimiento en trigo. La búsqueda de trabajos científicos fue llevada a cabo en múltiples bases de datos como fuentes de información, estas son: Scopus, Science Direct, Jstor y ESCOhost, encontradas en la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología (MinCyT). Los hallazgos fueron descargados en formato .ris en un ordenador y luego importados a un gestor bibliográfico llamado Zotero, el mismo nos permitió compactar, organizar, sincronizar diferentes citas bibliográficas y eliminar estudios primarios duplicados. Luego, se seleccionaron aquellos estudios primarios que en primera instancia tuviesen alguna de las palabras claves presentes en el constructo de búsqueda en el título. Seguidamente, se seleccionó por resumen; este proceso se realizó por al menos dos lectores para aumentar la fiabilidad del proceso de inclusión y exclusión, los cuales debían estar

relacionados a la pregunta de investigación. Posteriormente, los estudios que pasaron la etapa anterior fueron leídos de manera completa. Como resultado de la última selección se obtuvo un total de 16 papers de los que se extrajeron datos específicos, previamente definidos y que son necesarios para el armado/conformación de la base de datos, estos son: número de individuos del grupo experimental (a los que se les aplicó el fertilizante), media del grupo experimental, desviación estándar del grupo experimental, número de individuos del grupo control (a los que no se les aplicó el fertilizante), media del grupo control, desviación estándar del grupo control y la dosis de nitrógeno. De los papers se extrajeron una totalidad de 47 observaciones para la confección de la base de datos. El tamaño del efecto usado en el MA, fue el cociente de medias (CM), siendo este el cociente entre la media del grupo experimental y la media del grupo control. Finalmente, la cantidad de estudios primarios seleccionados y/o descartados en cada instancia ya sea por criterios de inclusión o de exclusión para ser analizados en el MA (Fig. 1).

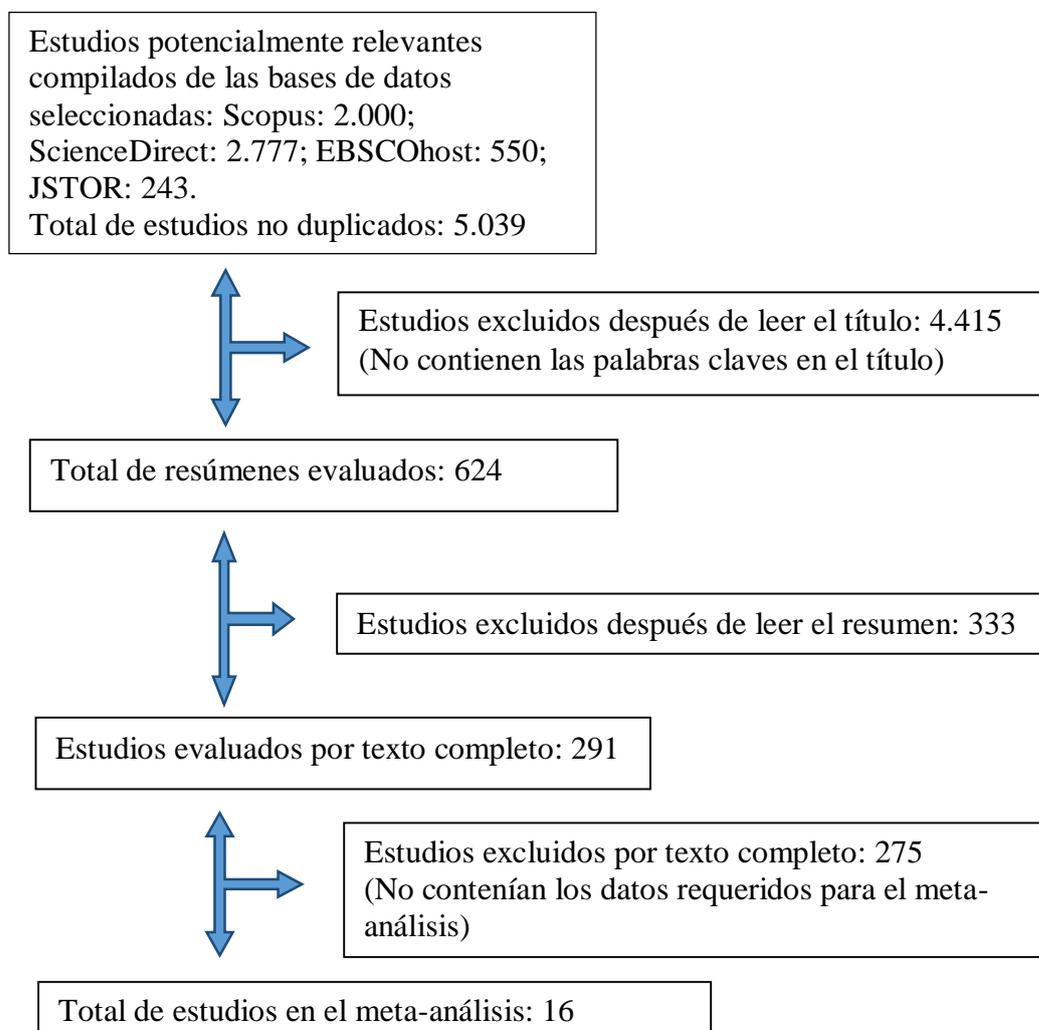


Figura 1. Diagrama de flujo de los criterios de exclusión para el meta-análisis.

CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA REALIZAR EL META-ANÁLISIS

A los estudios primarios obtenidos en la etapa final de la RS (Ver en Anexo, referencias bibliográficas de la RS), se les extrajo información relevante para la elaboración/conformación de la base de datos que se usó posteriormente para aplicar técnicas propias del MA. La primera columna del archivo es “Paper”, que contiene los autores de los estudios y el año de la publicación del hallazgo; la segunda columna “Ne”, que tiene la información del número de individuos del grupo experimental; la tercera columna del archivo es “Me”, la media del grupo experimental, es decir, los rendimientos promedios de grano cuando se fertiliza; la cuarta columna es “Se”, desviación estándar del grupo experimental; En la quinta, sexta y séptima columna contienen “Nc”, “Mc”, “Sc” que son las mismas variables pero para el grupo control, es decir, sin fertilizar. La octava columna es “N dosis” que contiene las diferentes dosis de nitrógeno de los tratamientos. La novena columna “Dosis N” donde se categorizó las dosis de nitrógeno (baja [30;80), media [80;160) y alta [160;360]) (Fig. 2); por último, en la décima columna se calculó el cociente de medias “CM”.

Caso	Paper	Ne	Me	Se	Nc	Mc	Sc	N dosis	Dosis N	CM
1	Basso et al. 2011	7	3541,000	1014,00	7	2092,00	580,000	60	Baja	1,69
2	Basso et al. 2011	7	3546,000	1035,00	7	2092,00	580,000	90	Media	1,70
3	Basso et al. 2011	7	3794,000	1197,00	7	2092,00	580,000	120	Media	1,81
4	Basso et al. 2011	7	3782,000	1171,00	7	2092,00	580,000	150	Media	1,81
5	Basso et al. 2011	7	3788,000	1173,00	7	2092,00	580,000	180	Alta	1,81
6	Basso et al. 2011	7	2723,000	685,00	7	2092,00	580,000	30	Baja	1,30
7	Belete et al. 2018	5	4219,000	422,00	5	1498,00	150,000	120	Media	2,82
8	Belete et al. 2018	5	4781,000	478,00	5	1498,00	150,000	240	Alta	3,19
9	Belete et al. 2018	5	5012,000	501,00	5	1498,00	150,000	360	Alta	3,35
10	David et al. 2005	2	5700,000	570,00	2	2300,00	230,000	210	Alta	2,48
11	David et al. 2005	2	2200,000	220,00	2	2300,00	230,000	50	Baja	0,96
12	David et al. 2005	2	4800,000	480,00	2	2300,00	230,000	140	Media	2,09
13	David et al. 2005	2	4500,000	450,00	2	2300,00	230,000	180	Alta	1,96
14	Erns et al. 2016	5	3774,000	1007,00	5	2987,00	1015,000	80	Baja	1,26
15	Grahman et al. 2014	6	6310,000	631,00	6	2330,00	233,000	150	Media	2,71

Figura 2. Base de datos para el meta-análisis.

META-ANÁLISIS

Se llevó a cabo un MA para obtener medidas globales de la respuesta a la fertilización de trigo e identificar las dosis adecuadas para obtener mejores rendimientos. Además, se ajustaron modelos de efectos fijos y aleatorios para el tamaño del efecto, *i.e.*, cociente de medias de los

rendimientos en grano de trigo. Para analizar la variabilidad entre estudios se realizó un análisis por subgrupos para la categorización de las dosis de nitrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El MA permite combinar la evidencia de estudios individuales entorno a una pregunta de investigación de manera tal que sea posible analizarlos conjuntamente a través de técnicas estadísticas (Borenstein *et al.*, 2009, 2010). Además, el MA se caracteriza por analizar simultáneamente una cantidad considerable de observaciones/casos y obtener estimaciones globales de los tamaños de efecto que no podrían lograrse al analizar estudios primarios de manera individual. Cantor *et al.* (2010) exponen que el MA es un enfoque estadístico bien establecido y validado para combinar la evidencia de cualquier número de estudios independientes, cada uno de los cuales está diseñado para examinar la misma hipótesis de investigación. Generalmente, las bases de datos en las que se aplican técnicas de MA consideran dos grupos, es decir, grupo control o grupo experimental; donde el tamaño del efecto va a depender el tipo de información recolectada, *i.e.*, si es de naturaleza continua o binaria (*e.g.*, diferencia de medias, cociente de medias, cociente de chances, diferencia de riesgos), siendo esta la variable a analizar en el MA. Se usó el cociente de medias (CM) como el tamaño del efecto para realizar el MA (Borenstein *et al.*, 2009, 2010). Se decidió llevar a cabo un MA para el CM de los rendimientos en grano de trigo. Para evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo, se ajustó un modelo de efectos fijos (MEF). El MEF se caracteriza por considerar la misma varianza para todos los estudios primarios analizados, es decir, no contempla la presencia de posibles fuentes de heterogeneidad entre los hallazgos recolectados. No obstante, al realizar un MEF se está asumiendo que los estudios primarios evaluados poseen las mismas/similares condiciones de análisis, es decir, los estudios son funcionalmente iguales (*e.g.*, las mismas dosis de nitrógeno, tipos de suelos). Se ajustó un MEF para el CM del rendimiento de grano, la estimación del efecto global para este modelo fue de 1,80; este valor se encuentra en un intervalo cuyos límites inferior y superior son 1,76 y 1,85, respectivamente (ver Anexo, Fig. 3). Esto evidencia que existen diferencias estadísticamente significativas, es decir, se rechaza la hipótesis nula que indica que no hay heterogeneidad entre estudios, siendo necesario realizar el ajuste de un modelo de efectos aleatorios (MEA). Se ajustó un MEA donde la estimación del efecto global fue de 1,70 que está en el intervalo [1,54; 1,89] que fue estadísticamente significativa (ver Anexo, Fig. 4). Para este modelo se obtuvieron las estimaciones del I^2 que mide cuan fuerte es la heterogeneidad entre estudios (un valor mayor al 75% indica alta heterogeneidad entre estudios) y de la varianza entre estudios (τ^2) (Borenstein *et al.*, 2009). En

este caso, el I^2 fue del 94% y el τ^2 fue aproximadamente de 0,11. El valor p asociado a la varianza entre estudios fue estadísticamente significativo (valor- $p \leq 0,05$), es decir, existe heterogeneidad entre estudios. Debido a la presencia de una alta heterogeneidad entre estudios, se llevó a cabo un análisis por subgrupos de la variable “Dosis N”. Se observó en el análisis por subgrupos que las estimaciones globales del MEA para cada uno de los niveles, fueron estadísticamente significativas; donde el valor fue superior para un nivel alto de N (1,95), superando este valor al obtenido por el ajuste del mismo modelo, pero considerando todos los estudios primarios en simultáneo, esto es, 1,70 (ver Anexo, Fig. 5). Los resultados obtenidos al realizar el análisis por subgrupos evidenciaron que al incrementar la dosis de N, el τ^2 aumentó. Las estimaciones del τ^2 fueron estadísticamente significativas para todos los niveles de N. Esto podría deberse, a que la cantidad de estudios primarios aumentó, a medida que el nivel de N fue mayor. Debido a que solo se llevó a cabo el análisis por subgrupos para la variable “Dosis N”, queda expuesta la posibilidad en futuras investigaciones, analizar otro tipo de variables que podrían influir a la heterogeneidad entre estudios. Por ejemplo, MO, pH del suelo, tipo de suelo, cultivo de secano o bajo riego, etc.

Tabla 1. Medidas resumen para el cociente de medias en los niveles de N

Dosis N	n	Media	D.E.	Mín	Máy
Alta	19	2,02	0,68	1,02	3,35
Baja	10	1,37	0,34	0,96	2,11
Media	18	1,74	0,49	1,14	2,82

Se calculó el cociente de medias, indicando que, al fertilizar con dosis bajas de N, el rendimiento en trigo se incrementó un 37% con respecto al testigo. Mientras que al fertilizar con dosis medias y altas el incremento fue de un 74 y 102%, respectivamente en comparación con el testigo (Tabla 1).

CONCLUSIONES

El MA permitió analizar relaciones entre dosis de fertilizantes nitrogenados y rendimientos en cultivo de trigo de manera conjunta, a través de las estimaciones globales del tamaño del efecto calculado en cada uno de los hallazgos obtenidos de la RS. Usar este tipo de técnica permite mejorar la precisión y la potencia estadística al considerarse una mayor cantidad de información en simultáneo, que al analizar individualmente cada uno de los estudios primarios.

Es posible concluir con la información obtenida, que la fertilización nitrogenada incrementa el rendimiento del cultivo en comparación al del testigo, con valores de un 37, 74 y 102% para las dosis bajas, medias y altas, respectivamente. No obstante, se sugiere contemplar otras variables que podrían influir en el rendimiento del cultivo trigo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, C., y Micucci, F. (2003). El agua en la producción de cultivos extensivos; III Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. In *Archivo Agronómico*, 8.
- Akobeng, A. K. (2005). Understanding systematic reviews and meta-analysis. *Archives of Disease in Childhood*, 90(8), 845–848.
- Borenstein, M., Hedges, L. V, Higgins, J. P. T., and Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons.
- Borenstein, M., Hedges, L. V, Higgins, J. P. T., and Rothstein, H. R. (2010). A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, 1(2), 97–111.
- Campillo R, R., Jobet F, C., y Undurraga D, P. (2007). Optimización de la Fertilización Nitrogenada para Trigo de Alto Potencial de Rendimiento en Andisoles de la Región de La Araucanía, Chile. *Agricultura Técnica*, 67(3), 281–291.
- Cantor, R. M., Lange, K., and Sinsheimer, J. S. (2010). Prioritizing GWAS results: a review of statistical methods and recommendations for their application. *The American Journal of Human Genetics*, 86(1), 6–22.
- Duval, S., and Tweedie, R. (2000). Trim and fill: a simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), 455–463.
- Echeverría, H., Barbieri, P., Sainz Rozas, H., y Covacevich, F. (2005). Fertilización nitrogenada y métodos de diagnóstico de requerimiento de nitrógeno en trigo. *Informaciones Agronómicas*, 26(1), 8–15.
- Evans, J. A., and Foster, J. G. (2011). Metaknowledge. *Science*, 331(6018), 721–725.
- Ferreira González, I., Urrútia, G., y Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688–696.
- García, F. O. (2004). Avances en el Manejo Nutricional del Cultivo de Trigo. Actas Congreso “A Todo Trigo”. FCEGAC. Mar Del Plata, 13–14.
- Glass, G. V. (1976). Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5(10), 3–8.
- Goffinet, B., and Gerber, S. (2000). Quantitative Trait Loci: A Meta-analysis. *Genetics*, 155(1), 463 LP-473.
- Hao, Z., Li, X., Liu, X., Xie, C., Li, M., Zhang, D., and Zhang, S. (2010). Meta-analysis of constitutive and adaptive QTL for drought tolerance in maize. *Euphytica*, 174(2), 165–177.
- Hossard, L., Archer, D. W., Bertrand, M., Colnenne-David, C., Debaeke, P., Ernfors, M., ... Sanford, G. R. (2016). A meta-analysis of maize and wheat yields in low-input vs. conventional and organic systems. *Agronomy Journal*, 108(3), 1155–1167.
- Karlsson Linnér, R., Marioni, R. E., Rietveld, C. A., Simpkin, A. J., Davies, N. M., Watanabe, K., ... Benjamin, D. J. (2017). An epigenome-wide association study meta-analysis of educational attainment. *Molecular Psychiatry*, 22(12), 1680–1690.
- Li, H., Fu, W.-P., and Hong, Z.-H. (2013). Replication study in Chinese Han population and meta-analysis supports association between the MBL2 gene polymorphism and HIV-1 infection. *Infection, Genetics and Evolution*, 20, 163–170.
- McDaniel, M. A. (2005). Big-brained people are smarter: A meta-analysis of the relationship between in vivo brain volume and intelligence. *Intelligence*, 33(4), 337–346.
- Miguez, F. E., and Bollero, G. A. (2005). Review of corn yield response under winter cover cropping systems using meta-analytic methods. *Crop Science*, 45(6), 2318–2329.
- Muñoz, S., Alberione, E., Donaire, G., Mir, L., Conde, M. B., Salines, N., ... Ariosti, C. (2018). Manejo de la fertilización en el cultivo de trigo con el uso de imágenes satelitales durante el año 2017.
- Pai, M., McCulloch, M., Gorman, J. D., Pai, N., Enanoria, W., Kennedy, G., ... Colford, J. J. M. (2004). Systematic reviews and meta-analyses: an illustrated, step-by-step guide. *The National Medical Journal of India*, 17(2), 86–95.

- Reussi Calvo, N. I., Echeverría, H. E., Sainz Rozas, H. R., Berardo, A., and Diovisalvi, N. (2014). Can a soil mineralization test improve wheat and corn nitrogen diagnosis? *Better Crops*, 98(2), 12–14.
- Rossi, E. A., Ruiz, M., Rueda Calderón, M. A., Bruno, C. I., Bonamico, N. C., and Balzarini, M. G. (2019). Meta-Analysis of QTL Studies for Resistance to Fungi and Viruses in Maize. *Crop Science*, 59(1), 125–139.
- Rotundo, J. L., and Westgate, M. E. (2009). Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*, 110(2), 147–156.
- Sánchez-Meca, J. (2010). Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula Abierta*, 38(2), 53–64.
- Sargeant, J. M., Rajic, A., Read, S., and Ohlsson, A. (2006). The process of systematic review and its application in agri-food public-health. *Preventive Veterinary Medicine*, 75(3–4), 141–151.
- Sterne, J. A. C., Sutton, A. J., Ioannidis, J. P. A., Terrin, N., Jones, D. R., Lau, J., ... Higgins, J. P. T. (2011). Recommendations for examining and interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ*, 343, d4002.
- Zeggini, E., and Ioannidis, J. P. A. (2009). Meta-analysis in genome-wide association studies. *Pharmacogenomics*, 10(2), 191–201.
- Zhao, L., Liu, H. J., Zhang, C. X., Wang, Q. Y., and Li, X. H. (2015). Meta-analysis of constitutive QTLs for disease resistance in maize and its synteny conservation in the rice genome. *Genetics and Molecular Research : GMR*, 14(1), 961–970.

ANEXO

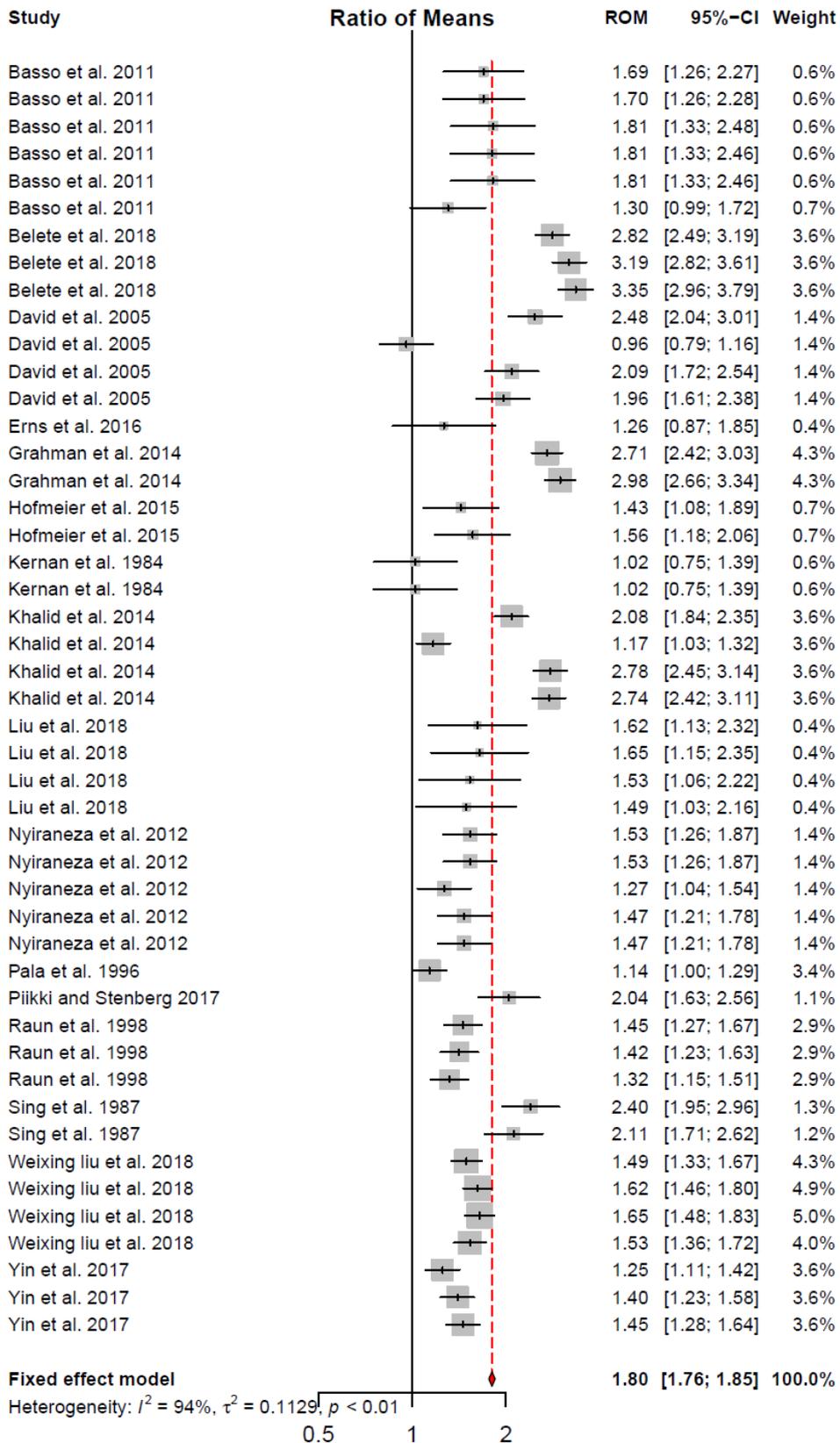


Figura 3: Gráfico de cociente de medias para el modelo de efectos fijos.

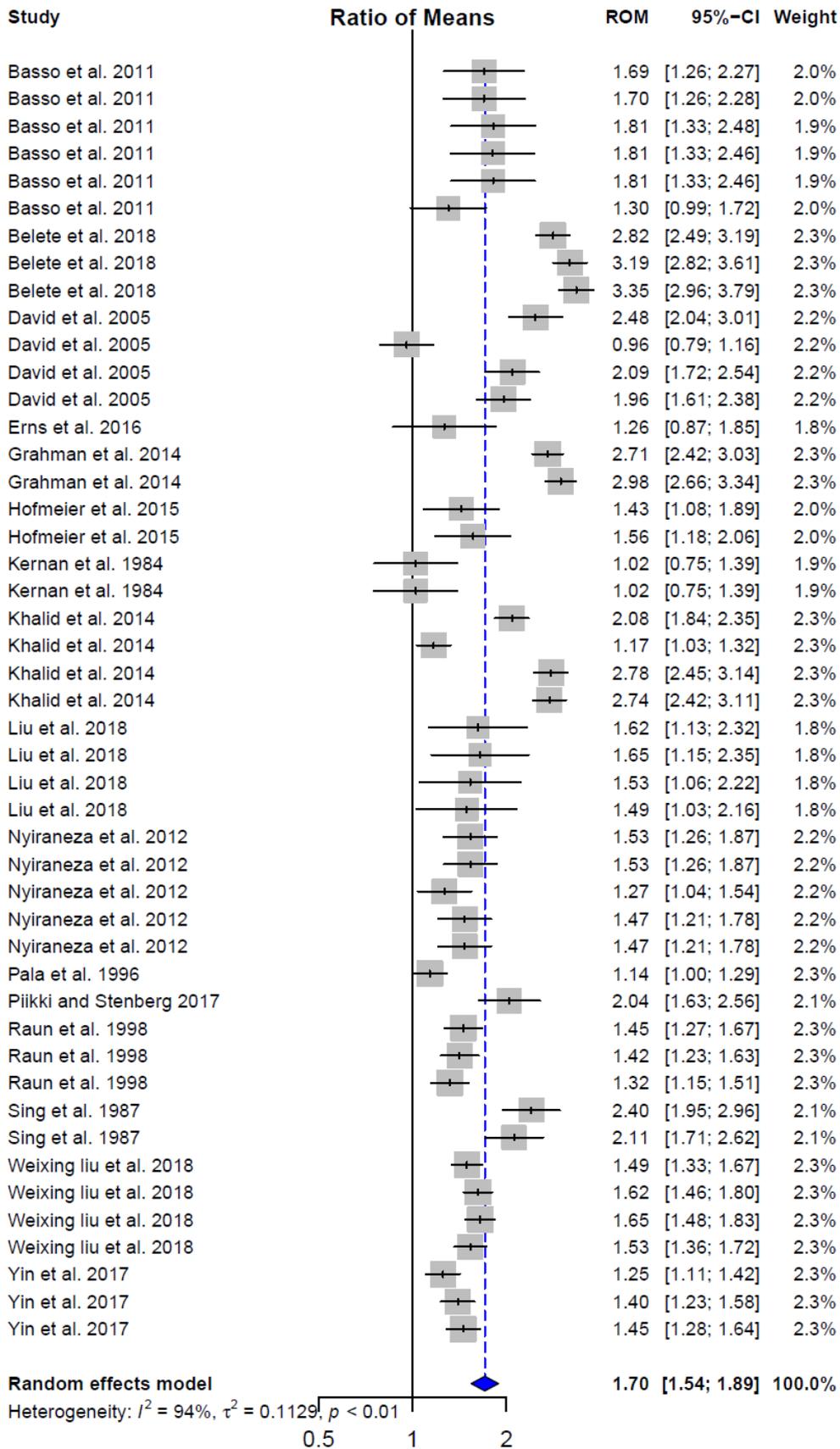


Figura 4: Gráfico de cociente de medias para el modelo de efectos aleatorios.

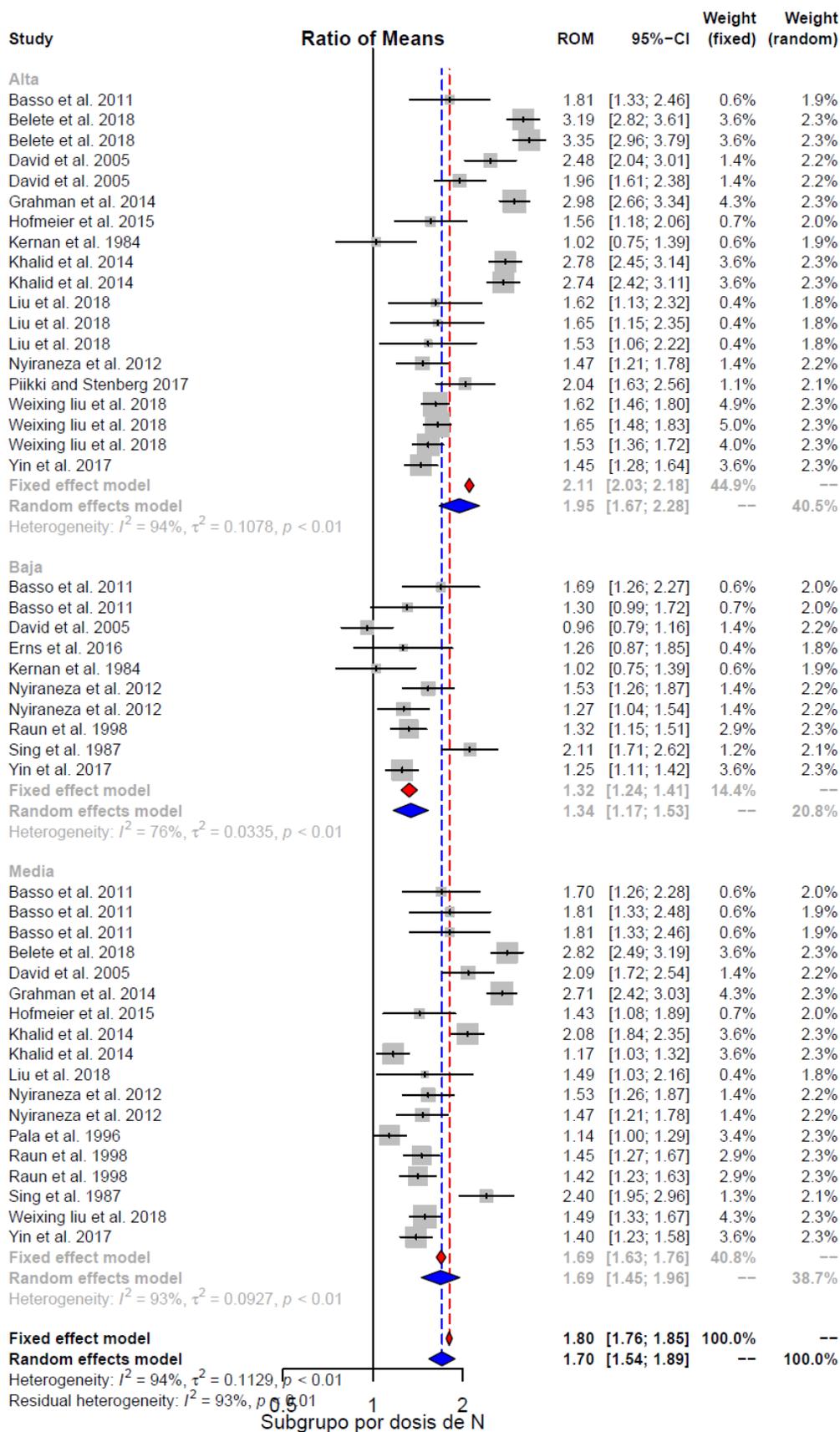


Figura 5: Análisis por subgrupos para las categoría dosis de nitrógeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE LA RS

- Basso, B., Ritchie, J. T., Cammarano, D., and Sartori, L. (2011). A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. *European Journal of Agronomy*, 35(4), 215–222.
- Belete, F., Dechassa, N., Molla, A., and Tana, T. (2018). Effect of nitrogen fertilizer rates on grain yield and nitrogen uptake and use efficiency of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties on the Vertisols of central highlands of Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 7(1), 78.
- David, C., Jeuffroy, M. H., Laurent, F., Mangin, M., and Meynard, J. M. (2005). The assessment of Azodyn-Org model for managing nitrogen fertilization of organic winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 23(3), 225–242.
- Ernst, O. R., Kemanian, A. R., Mazzilli, S. R., Cadenazzi, M., and Dogliotti, S. (2016). Depressed attainable wheat yields under continuous annual no-till agriculture suggest declining soil productivity. *Field Crops Research*, 186, 107–116.
- Hofmeier, M., Roelcke, M., Han, Y., Lan, T., Bergmann, H., Böhm, D., ... Nieder, R. (2015). Nitrogen management in a rice–wheat system in the Taihu Region: Recommendations based on field experiments and surveys. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 209, 60–73.
- Kernan, J. A., Coxworth, E. C., Crowle, W. L., and Spurr, D. T. (1984). The nutritional value of crop residue components from several wheat cultivars grown at different fertilizer levels. *Animal Feed Science and Technology*, 11(4), 301–311.
- Khalid, U., Ejaz Ahmad, K., Niamatullah, K., Abdur, R., Fazal, Y., and Saleem, U. D. (2014). Response of wheat to tillage plus rice residue and nitrogen management in rice-wheat system. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(11), 2389–2398.
- Liu, J., Feng, H., He, J., Chen, H., and Ding, D. (2018). The effects of nitrogen and water stresses on the nitrogen-to-protein conversion factor of winter wheat. *Agricultural Water Management*, 210, 217–223.
- Liu, W., Ma, G., Wang, C., Wang, J., Lu, H., Li, S., ... Kang, G. (2018). Irrigation and nitrogen regimes promote the use of soil water and nitrate nitrogen from deep soil layers by regulating root growth in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 9, 32.
- Nyiraneza, J., Cambouris, A. N., Ziadi, N., Tremblay, N., and Nolin, M. C. (2012). Spring wheat yield and quality related to soil texture and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 104, 589–599.
- Pala, M., Stockle, C. O., and Harris, H. C. (1996). Simulation of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) growth under different water and nitrogen regimes in a mediterranean environment using CropSyst. *Agricultural Systems*, 51(2), 147–163.
- Piikki, K., and Stenberg, B. (2017). A modified delta yield approach for estimation of economic optimal nitrogen rate (EONR) for wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). *Agricultural and Food Science*, 26(4), 233–241.
- Raun, W. R., Johnson, G. V., Phillips, S. B., and Westerman, R. L. (1998). Effect of long-term N fertilization on soil organic C and total N in continuous wheat under conventional tillage in Oklahoma. *Soil and Tillage Research*, 47(3), 323–330.
- Ravier, C., Meynard, J.-M., Cohan, J.-P., Gate, P., and Jeuffroy, M.-H. (2017). Early nitrogen deficiencies favor high yield, grain protein content and N use efficiency in wheat. *European Journal of Agronomy*, 89, 16–24.
- Singh, P. N., Joshi, B. P., and Singh, G. (1987). Water use and yield response of wheat to irrigation and nitrogen on an alluvial soil in North India. *Agricultural Water Management*, 12(4), 311–321.
- Xu, H., Zhong, G., Lin, J., Ding, Y., Li, G., Wang, S., ... Ding, C. (2015). Effect of nitrogen management during the panicle stage in rice on the nitrogen utilization of rice and succeeding wheat crops. *European Journal of Agronomy*, 70, 41–47.
- Yin, M. -h., Li, Y. -n., and Xu, Y. -b. (2017). Comparative effects of nitrogen application on growth and nitrogen use in a winter wheat/summer maize rotation system. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(9), 2062–2072.