

MODELO DIFUSO PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA EN EL SECTOR AGROPECUARIO: INTEGRACIÓN DEL MÉTODO JOB STRAIN INDEX Y LÓGICA DIFUSA PARA LA EVALUACIÓN DEL ESFUERZO

FUZZY MODEL FOR ERGONOMIC ASSESSMENT IN THE AGRICULTURAL SECTOR: INTEGRATION OF THE JOB STRAIN INDEX METHOD AND FUZZY LOGIC FOR EFFORT ASSESSMENT

Artículo recibido el: 11/10/2025

Artículo aceptado el: 2/9/2026

Lidilia Cruz Rivero*

*TECNM-ITS de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9399-3002>

lilirivero@gmail.com

Lorena Jocelyn Pacheco Lozano*

*TECNM-ITS de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México

jocelynpacheco90@gmail.com

Nicolás Francisco Mateo Díaz**

**Universidad del Caribe, Cancún, Quintana Roo, México

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4799-6434>

pacomatthew06@gmail.com

The authors declare that there is no conflict of interest

Resumen

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) representan uno de los riesgos laborales más prevalentes en el sector agrícola, donde el trabajo manual intensivo expone a los trabajadores a elevadas demandas físicas y posturas forzadas. El presente estudio propone un modelo híbrido difuso que integra el método del Índice de Tensión Laboral (Job Strain Index, JSI) con lógica difusa, con el propósito de mejorar la evaluación ergonómica de puestos de trabajo manuales. El JSI evalúa seis variables clave: intensidad del esfuerzo, duración del esfuerzo por ciclo, esfuerzos por minuto, desviación de la muñeca, velocidad de trabajo y duración de la tarea, las cuales se combinan de forma multiplicativa para cuantificar el riesgo de trastornos traumáticos acumulativos en las extremidades superiores. Dada la subjetividad de algunas de las variables del JSI, se incorporó la lógica difusa mediante funciones de pertenencia y reglas de inferencia, con el fin de modelar la incertidumbre e imprecisión propias del proceso de evaluación. El modelo fue validado en un proceso de compactación de alimento para ganado, representativo del trabajo manual intensivo en el ámbito agrícola. Los resultados demuestran que la integración JSI-difuso genera evaluaciones de riesgo más robustas y discriminantes, permitiendo diferenciar eficazmente entre condiciones de trabajo

Abstract

Musculoskeletal disorders (MSDs) represent one of the most prevalent occupational hazards in the agricultural sector, where intensive manual labor exposes workers to high physical demands and awkward postures. This study proposes a hybrid fuzzy model integrating the Job Strain Index (JSI) method with fuzzy logic to improve the ergonomic assessment of manual workstations. The JSI evaluates six key variables: effort intensity, effort duration per cycle, efforts per minute, wrist deviation, work speed, and task duration, which are multiplicatively combined to quantify the risk of cumulative traumatic disorders in the upper extremities. Given the subjectivity of some JSI variables, fuzzy logic was incorporated through membership functions and inference rules to model evaluator uncertainty and imprecision. The model was validated in a cattle feed compaction process, representative of intensive agricultural manual work. Results demonstrate that the fuzzy-JSI integration yields more robust and discriminating risk assessments, effectively differentiating between safe work, moderate risk, and hazardous conditions for the upper limbs. This hybrid approach provides a reliable decision-support tool for occupational health and safety management in the agricultural sector.

seguras, de riesgo moderado y de riesgo elevado para las extremidades superiores. Este enfoque híbrido constituye una herramienta confiable de apoyo a la toma de decisiones en la gestión de la seguridad y salud ocupacional en el sector agrícola.

Palabras clave: Bienestar de los Trabajadores. Lógica Difusa. Riesgo Ergonómico. Salud Ocupacional

Keywords: *Ergonomic Risk. Fuzzy Logic. Occupational Health. Workers' Well-Being*

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, muchas de las actividades que se llevan a cabo en el sector agropecuario pueden tener un impacto directo en la salud ocupacional de quienes las realizan (Barneo-Alcántara *et al.*, 2021). No es un tema menor. Con frecuencia, este sector opera en zonas marginadas donde el acceso a herramientas adecuadas y materiales de calidad es limitado, lo que hace que el trabajo diario sea todavía más exigente.

Gran parte de las tareas requieren un esfuerzo físico considerable. Levantar peso, mantener posturas forzadas o repetir los mismos movimientos durante horas termina pasando factura. Y si a eso se suma la falta de equipo apropiado o el desconocimiento de los riesgos asociados a ciertas posturas prolongadas, las consecuencias pueden ser importantes. No solo se trata del cansancio al final de la jornada; con el tiempo pueden aparecer enfermedades osteomusculares que afectan seriamente la salud (Kolln *et al.*, 2022).

Además, estas condiciones no solo impactan al trabajador en lo personal. También influyen en la eficiencia y en la calidad del trabajo realizado. Cuando el cuerpo duele o se resiente, el rendimiento disminuye. Por eso, hablar de salud ocupacional en el sector agropecuario no es exagerar: es reconocer una realidad que merece atención y mejores condiciones para quienes sostienen esta actividad con su esfuerzo diario.

La evaluación ergonómica en el sector agropecuario se ha vuelto cada vez más importante, y no es difícil entender por qué. Las labores del campo suelen ser físicamente demandantes: implican posturas incómodas, movimientos repetitivos y el levantamiento constante de cargas pesadas. Con el paso del tiempo, estas exigencias pueden aumentar el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos (Fales *et al.*, 2022). No se trata

solo del cansancio diario, sino de un desgaste acumulado que puede afectar seriamente la salud.

Ahora bien, evaluar ese esfuerzo no siempre es sencillo. La percepción del cansancio es subjetiva y las condiciones de trabajo pueden variar mucho de un lugar a otro. Por eso, incorporar metodologías más avanzadas, como la lógica difusa, resulta una alternativa interesante y necesaria. Este enfoque permite manejar mejor la incertidumbre y la complejidad que caracterizan los datos ergonómicos, logrando análisis más ajustados a la realidad de cada entorno laboral y más cercanos a cómo los propios trabajadores experimentan el esfuerzo físico (TARAKÇI & Can, 2024).

En este contexto, el presente documento propone un modelo difuso que combina el método Job Strain Index con la lógica difusa para evaluar el esfuerzo en el sector agropecuario. La intención es ofrecer una herramienta sólida y flexible, capaz de superar algunas de las limitaciones de los métodos tradicionales. Y es que estos enfoques convencionales suelen tener dificultades para cuantificar la incertidumbre y la imprecisión propias de la evaluación del riesgo ergonómico, especialmente en entornos tan cambiantes como el agrícola (Kamala & Robert, 2022).

La alta presencia de trastornos musculoesqueléticos en los trabajadores agrícolas, especialmente en la zona lumbar, pone en evidencia la urgencia de incorporar nuevas formas de evaluación ergonómica. Esto se debe a que la fatiga es una consecuencia natural del esfuerzo físico y, para no afectar la salud, debería mantenerse dentro de márgenes que permitan al cuerpo recuperarse tras un periodo adecuado de descanso. Sin embargo, este equilibrio se pierde cuando las tareas laborales demandan más energía de la que el trabajador puede soportar, lo que incrementa de manera significativa el riesgo de sufrir daños físicos (Fales *et al.*, 2022).

A partir de esta problemática surge la necesidad de buscar alternativas que contribuyan a mejorar la calidad de vida en aquellos empleos que implican un mayor esfuerzo físico y la adopción de posturas repetitivas durante lapsos prolongados.

En este escenario, la lógica difusa ha ido ganando espacio como una herramienta valiosa dentro de los estudios cualitativos y sociales, especialmente cuando se integra en métodos ergonómicos con el objetivo de reducir los riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores en diferentes entornos laborales. A partir de esta perspectiva, la presente investigación plantea el desarrollo de un modelo difuso aplicado al método JSI (Job Strain Index), el cual permite analizar actividades que implican riesgo de trastornos

en la extremidad superior distal mediante la evaluación de diversas variables presentes en los puestos de trabajo. Con frecuencia, estos factores ergonómicos se consideran, de forma errónea, como aspectos secundarios; sin embargo, la evidencia muestra que atender estas condiciones y mejorar las tareas no solo favorece la eficiencia, sino que también refuerza la protección y la satisfacción de los trabajadores, disminuyendo así la probabilidad de que aparezcan lesiones más severas a largo plazo (Dimitrov *et al.*, 2023).

La lógica difusa puede describirse, además, como una herramienta matemática cuya utilidad se apoya en la idea de conjuntos con límites poco definidos. A diferencia de los enfoques tradicionales, las variables difusas permiten representar y manejar observaciones marcadas por la incertidumbre de una manera más cercana a la realidad cotidiana. Estas se expresan a través de los llamados términos lingüísticos, los cuales pueden incorporarse en sistemas difusos para modelar situaciones complejas y poco precisas (García-Izquierdo *et al.*, 2020).

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Los trastornos musculoesqueléticos se han convertido en una de las principales causas de enfermedad relacionada con el trabajo en la actualidad, con consecuencias claras tanto en la calidad de vida de los trabajadores como en los costos sociales y económicos vinculados a la salud ocupacional (Duarte *et al.*, 2021). En el sector agrícola, esta situación suele intensificarse debido a las condiciones propias del trabajo, que con frecuencia se realiza de forma manual y sin apoyo de sistemas mecanizados, lo que termina afectando aún más la salud de quienes lo desempeñan (Massó *et al.*, 2023).

Entre los problemas más comunes se encuentran el dolor lumbar y cervical, especialmente frecuentes en los agricultores. Estas molestias se relacionan directamente con tareas que exigen mantener posturas prolongadas en flexión o extensión, así como con el traslado manual de cargas pesadas (Kundu *et al.*, 2021). A ello se suma la repetición constante de movimientos y la necesidad de aplicar fuerza considerable, factores que incrementan de manera importante el riesgo ergonómico (Rodríguez & López, 2022). Además, la complejidad de estas actividades y las diferencias individuales en la forma de percibir el esfuerzo convierten la evaluación ergonómica en un verdadero reto, ya que se requieren métodos capaces de manejar la imprecisión y la subjetividad (Ciccarelli *et al.*, 2025). En este sentido, la incorporación de la lógica difusa resulta especialmente

pertinente, pues permite modelar variables cualitativas y gestionar la incertidumbre propia de la evaluación del esfuerzo físico, ofreciendo una visión más amplia y ajustada a las particularidades del trabajo agrícola (Dimitrov *et al.*, 2023).

Dentro de este marco, la presencia de dolores musculoesqueléticos en trabajadores rurales es elevada, con una afectación notable en la columna vertebral, los hombros y las rodillas (Fiegenbaum *et al.*, 2021). La literatura especializada insiste en la necesidad de desarrollar técnicas específicas que no se limiten únicamente a valorar los riesgos laborales, sino que también integren factores individuales, ambientales y psicosociales (Shamsipour & Kouhnavard, 2025). Esta perspectiva multidimensional exige un enfoque más completo, capaz de considerar no solo los aspectos biomecánicos del trabajo, sino también las condiciones del entorno y el impacto psicológico en la salud del trabajador, lo que pone de relieve la utilidad de sistemas de evaluación ergonómica más avanzados.

Diversos estudios han señalado que la región lumbar es particularmente vulnerable, con un alto porcentaje de trabajadores que reportan molestias asociadas a posturas inadecuadas y al levantamiento de cargas superiores a los 15 kg (Carrasco *et al.*, 2023). Esta problemática se agrava por el carácter repetitivo de muchas labores agrícolas y por la exposición constante a condiciones ambientales desfavorables (Bairwa *et al.*, 2022). Situaciones similares se observan en otros sectores productivos, donde las posturas forzadas y los espacios reducidos, como ocurre en la minería subterránea, favorecen la aparición de trastornos musculoesqueléticos en la zona lumbar, el torso, el cuello y las extremidades superiores (Sakinala *et al.*, 2024).

Adicionalmente, se ha observado que la ausencia de pausas adecuadas durante ciclos de trabajo extensos y el mantenimiento de posturas forzadas contribuyen significativamente al desarrollo de patologías musculares en extremidades superiores e inferiores (Porrás *et al.*, 2023; Rodríguez & López, 2022).

Estas condiciones, generadas por el uso del cuerpo como herramienta de trabajo y la falta de protección adecuada, pueden conducir a enfermedades osteomusculares crónicas, inflamaciones articulares y problemas de columna (Kolln *et al.*, 2022).

Las granjas lecheras diversificadas, por ejemplo, presentan riesgos particulares asociados a actividades como la carga, el trabajo manual intenso y la adopción de posturas incómodas. Estas condiciones suelen traducirse en dolor musculoesquelético, sobre todo en la zona lumbar, el cuello y la extremidad superior dominante (Buisseret *et al.*, 2024). A esto se suma el carácter físicamente exigente del trabajo agrícola, que con frecuencia

implica manipular objetos pesados y mantener posiciones poco adecuadas durante largos periodos, lo que incrementa de manera notable la probabilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos (Aksüt & Eren, 2023).

De hecho, diversas investigaciones han reportado una alta presencia de dolor en la parte baja de la espalda, las rodillas, los tobillos, el cuello y las muñecas entre trabajadores lecheros de entre 25 y 40 años, principalmente como consecuencia del levantamiento y transporte continuo de cargas (Gurnani *et al.*, 2022). Esta exposición constante a factores de riesgo ergonómicos pone en evidencia la necesidad de contar con herramientas de evaluación capaces de reflejar la complejidad y la variabilidad de las exigencias físicas propias del sector agropecuario (Fales *et al.*, 2022; Shamsipour & Kouhnavard, 2025).

Por otro lado, la falta de intervenciones ergonómicas en el diseño de estaciones de trabajo y en las herramientas manuales, que suelen utilizarse de forma intensiva y prolongada, contribuye al agravamiento de las lesiones en muñecas, dedos, manos y antebrazos. Esto refuerza la importancia de replantear y rediseñar estos elementos con el fin de mejorar la eficiencia del trabajo y, al mismo tiempo, reducir los riesgos para la salud (Gurnani *et al.*, 2022).

Un enfoque verdaderamente integral de la evaluación ergonómica no debería centrarse únicamente en la biomecánica de las tareas, sino que también tendría que incorporar factores individuales y contextuales que influyen en cómo se percibe el esfuerzo y en la probabilidad de sufrir lesiones (Gómez & Robledo, 2015). En este sentido, resulta necesario contar con un modelo sólido que ayude a la industria a superar las limitaciones de depender exclusivamente de valoraciones subjetivas al momento de realizar evaluaciones ergonómicas (Sakinala *et al.*, 2024). La incorporación de un modelo difuso que combine el Job Strain Index con la lógica difusa podría representar una alternativa más avanzada para cuantificar el riesgo ergonómico, al permitir evaluaciones más flexibles y ajustadas a las variaciones propias del trabajo agrícola (Golabchi *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2020).

Este modelo permitiría una clasificación más precisa de los niveles de riesgo y la identificación de las áreas prioritarias para la intervención ergonómica. Contribuiría a la prevención de lesiones y la mejora de la calidad de vida de los trabajadores agrícolas (Ertuğrul *et al.*, 2025). Dada la naturaleza crítica de estos desafíos, el desarrollo de

herramientas de evaluación ergonómica que consideren la complejidad y la imprecisión inherente a los entornos agrícolas resulta imperativo.

La lógica difusa es un enfoque teórico sostenido en el principio de la simultaneidad gradual, que define un fenómeno como cierto o no a la vez, siempre y cuando se le asigne un nivel a lo que se considera cierto y a lo que no y permite, de forma práctica, abordar problemas como se presentan en el mundo real. Se origina en la teoría de conjuntos difusos propuesta por Zadeh (1975), que representa una generalización de la teoría clásica de conjuntos y se aplica a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que fluctúan entre la verdad absoluta y la falsedad total.

El fundamento de los conjuntos difusos es el hecho de que los elementos de construcción del razonamiento humano no son números, sino etiquetas lingüísticas; así, la lógica difusa emula estas características y usa datos aproximados para hallar soluciones precisas (Sharma & Garg, 2016).

En la actualidad hay muy pocos estudios en donde se combinen la lógica difusa con algún método de evaluación de posturas, los estudios demuestran que la lógica difusa permite la valoración de etiquetas lingüísticas y se puede utilizar en diversas áreas. Esta capacidad para manejar la imprecisión inherente a las valoraciones subjetivas y los datos cualitativos la convierte en una herramienta idónea para la evaluación de riesgos ergonómicos, donde las descripciones lingüísticas del discomfort o la dificultad son comunes (Atli, 2024; Sakinala *et al.*, 2024).

La lógica difusa puede utilizarse para definir la personalidad de un individuo, ya que los métodos utilizados están compuestos por un conjunto de preguntas que son analizadas por especialistas y de acuerdo con unos parámetros establecido se genera un diagnóstico, pero ese método potencia la aparición de errores, por ello buscando evitar sesgos en los resultados, disminuyendo también los tiempos y cantidades de errores, propusieron un mecanismo para definir rasgos de la personalidad de un individuo usando lógica difusa (Kyriazos & Poga, 2024).

La aplicación de lógica difusa es muy variada, lógica difusa se ha empleado para modelar la incertidumbre en sistemas de inferencia, lo que permite abordar problemas complejos donde la información es imprecisa o vaga (Pedraza *et al.*, 2024).

Tomando el enfoque de la lógica difusa en combinación con métodos de evaluación de posturas, se encontró un estudio que propone un enfoque de lógica difusa

para la evaluación ergonómica basado en la postura de los operarios. Seleccionaron el método de evaluación rápida de extremidades superiores (RULA) como caso de estudio para describir un sistema de puntuación modelado en la lógica difusa y poder aplicar este modelo en una empresa. Los resultados de la validación revelaron que el sistema propuesto produce más precisión en los resultados que los métodos tradicionales y por lo tanto ayuda a minimizar los errores humanos en la observación de evaluación ergonómica fiable (Golabchi *et al.*, 2016).

Por consiguiente, la presente investigación propone la creación de un modelo difuso que integre el método Job Strain Index con la lógica difusa para evaluar de manera más precisa el esfuerzo físico y el riesgo de trastornos musculoesqueléticos en trabajadores del sector agropecuario, considerando la incertidumbre y la variabilidad inherentes a sus tareas.

3 METODOLOGÍA

El método JSI permite evaluar el riesgo de desarrollar desórdenes musculoesqueléticos en tareas en las que se usa intensamente el sistema mano-muñeca, valora si los trabajadores están expuestos a desarrollar desórdenes traumáticos acumulativos en la parte distal de las extremidades superiores debido a movimientos repetitivos, por lo que es aplicable a gran cantidad de puestos de trabajo. Sin embargo, a pesar de su utilidad, el JSI, al igual que otros métodos observacionales, presenta limitaciones como la susceptibilidad al sesgo del observador y la falta de consideración de la variabilidad individual y contextual (Li, 2024).

El análisis se realiza considerando la elaboración de bloques multinutricionales de alimento para ganado bovino. Estos bloques se elaboran utilizando una mezcla de pasto y melaza, actividad que se realiza de manera manual. (Ver figura 1).

Figura 1

Elaboración de bloques multinutricionales para ganado bovino



Los bloques multinutricionales (BM) constituyen una tecnología para la fabricación de alimentos sólidos que contienen una alta concentración de energía, proteína y minerales, principalmente. Son elaborados utilizando urea, melaza y un agente solidificante. En forma adicional, pueden incluirse minerales, sal y una harina que proporcione energía; generalmente, el uso de los BM ha sido como una forma de alimentación estratégica durante la época seca, son resistentes a la intemperie y es consumido lentamente por lo que garantiza el consumo dosificado de la urea; la implementación de estos suplementos optimiza la eficiencia ruminal al reducir significativamente la retención de sólidos y las emisiones de gases de efecto invernadero, como el metano y el dióxido de carbono, permitiendo mejoras en la ganancia diaria de peso de hasta un 37% (Herrera-Torres *et al.*, 2022).

Se implican en la valoración la mano, la muñeca, el antebrazo y el codo (Malek, 2022). El método se basa en la medición de seis variables, que una vez valoradas, dan lugar a seis factores multiplicadores de una ecuación que proporciona el Strain Index (Mahmoud, 2021). Este último valor indica el riesgo de aparición de desórdenes en las extremidades superiores, siendo mayor el riesgo cuanto mayor sea el índice (Moura *et al.*, 2022).

Las variables a medir por el evaluador son: la intensidad del esfuerzo, la duración del esfuerzo por ciclo de trabajo, el número de esfuerzos realizados en un minuto de trabajo, la desviación de la muñeca respecto a la posición neutra, la velocidad con la que se realiza la tarea y la duración de esta por jornada de trabajo. Mientras que tres de las seis variables del método son valoradas cuantitativamente, las otras tres son medidas subjetivamente basándose en las apreciaciones del evaluador y empleando escalas como la CR10 de Borg (Prieto *et al.*, 2024). Esta subjetividad puede introducir inconsistencias significativas, haciendo que el método JSI, aunque ampliamente aceptado, carezca de la

robustez necesaria para capturar la complejidad total de los riesgos ergonómicos (Duarte *et al.*, 2021).

El método fue propuesto originalmente por Moore y Garg del Departamento de Medicina Preventiva del Medical College de Wisconsin, en Estados Unidos (Moore & Garg, 1995; Jorgensen, Martínez & Hakansson, 2024).

La aplicación del método comienza con la determinación de cada una de las tareas que realiza el trabajador y la duración de los ciclos de trabajo. Una vez conocidas las tareas que se evaluarán, se observará cada una de ellas dando el valor adecuado a las seis variables que se mencionaron anteriormente. Una vez valoradas, se calcularán los factores multiplicadores de la ecuación para cada tarea mediante las tablas correspondientes que el método propone. Y así finalmente, conocido el valor de los factores, se calculará el Strain Index de cada tarea como el producto de los mismos. El método original presenta seis variables y cada una cuenta con cinco niveles de valoración, a excepción de la variable postura de la muñeca, ya que esta se divide en tres variables distintas como son: extensión, flexión y desviación.

Para la actividad a evaluar, se procedió a calcular cada una de las variables, tomando en cuenta el conocimiento previo al cálculo y la obtención de estas mismas. Los valores de cada una se muestran en la siguiente tabla y, posteriormente, con la multiplicación de cada una de ellas, se obtiene el índice de esfuerzo (ver Figura 2).

Figura 2

Actividad compactada de bloques multinutricionales para ganado bovino

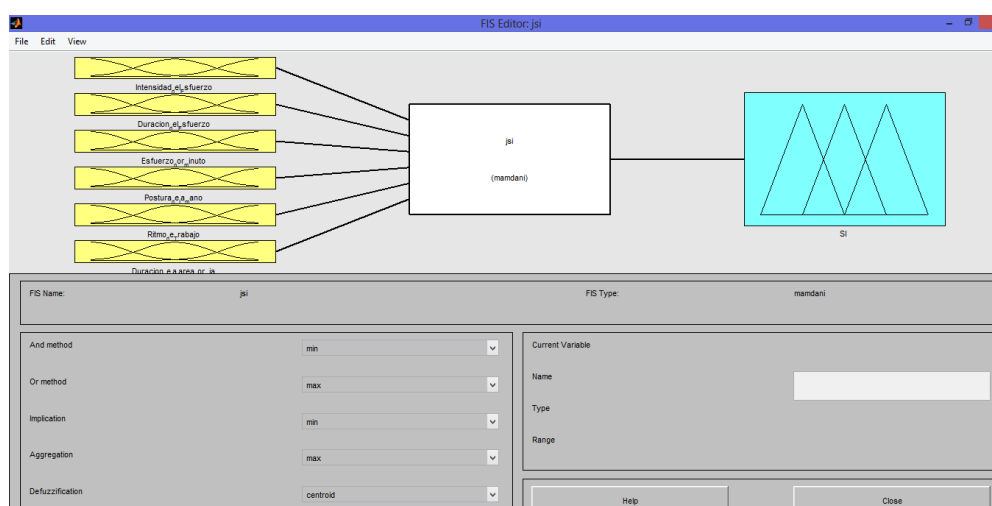


Con la ayuda de la lógica difusa se buscó hacer la aplicación del método más fácil y sencillo para el evaluador, aprovechando la experticia y conocimiento que se tengan sobre el método, con ello se buscó simplificar los niveles de las variables ya que el método tradicional cuenta con 15,625 combinaciones y el modelo propuesto reduce considerablemente ese número de combinaciones a unas cuantas reglas que generalizan la mayoría de estas, sin que el resultado se vea afectado de forma considerable y tratando de conseguir el resultado ideal al momento de la evaluación.

El modelo de lógica difusa propuesto para el método JSI cuenta con seis variables de entrada y se redujo el número de niveles de las variables a tres y en un par de casos a solo dos niveles, y cuenta con una variable de salida como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Variables del modelo difuso para el método JSI



Las variables intensidad del esfuerzo, esfuerzo por minuto, postura de la mano y duración de la tarea por día tienen tres niveles los cuales son *ligero*, *algo ligero* e *intenso* como se puede apreciar en las figuras 1 a la 6, y para cada una de ellas se tomaron escalas diferentes.

En los casos de las variables duración del esfuerzo y ritmo de trabajo se redujo el número de niveles a sólo dos, que son *soportable* e *intenso* y se les asignaron las escalas pertinentes para llevar a cabo la aplicación adecuada del método. Para la propuesta del modelo difuso se tomó la decisión de que la variable postura de la mano se tomara como una sola, sin la distinción de flexión, extensión y desviación con una escala del 0 al 100.

Figura 4

Intensidad del esfuerzo

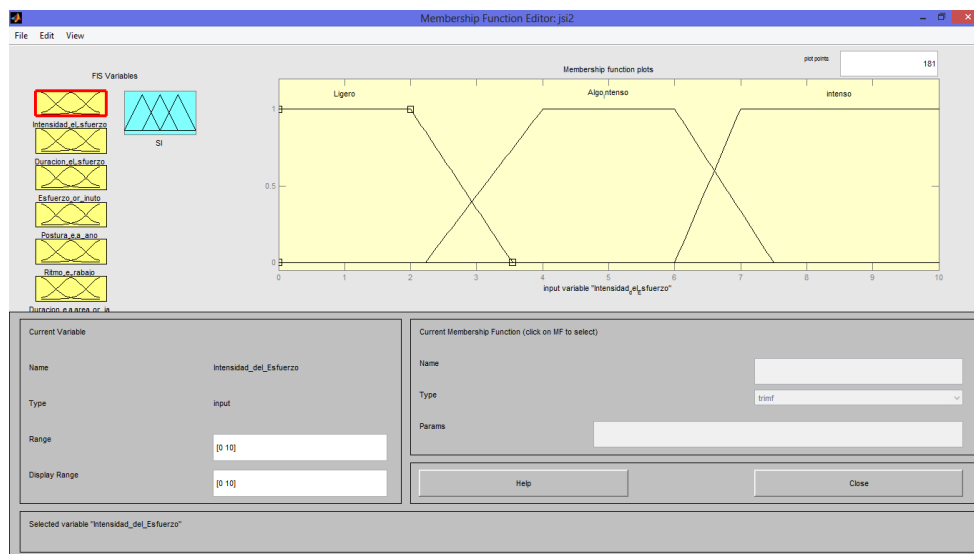


Figura 5

Duración del esfuerzo.

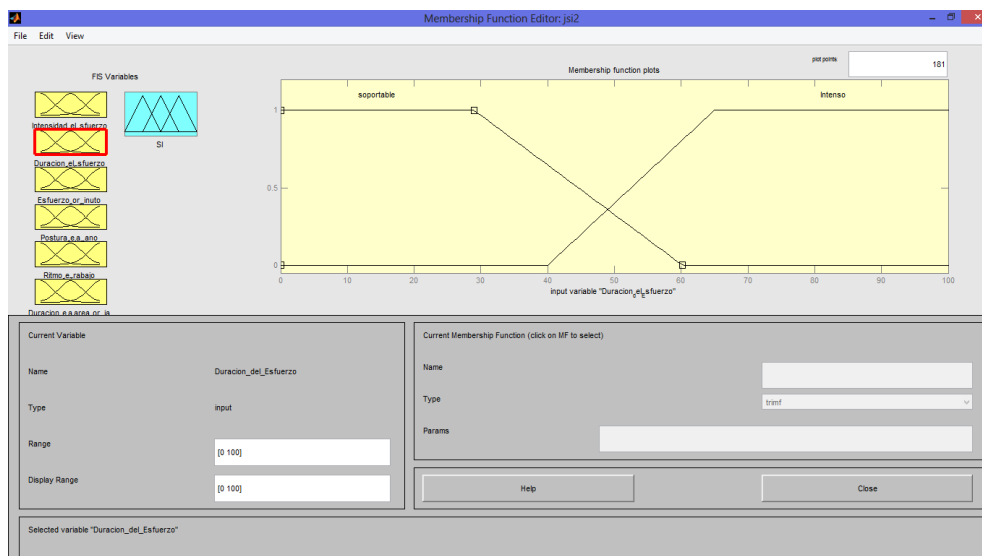


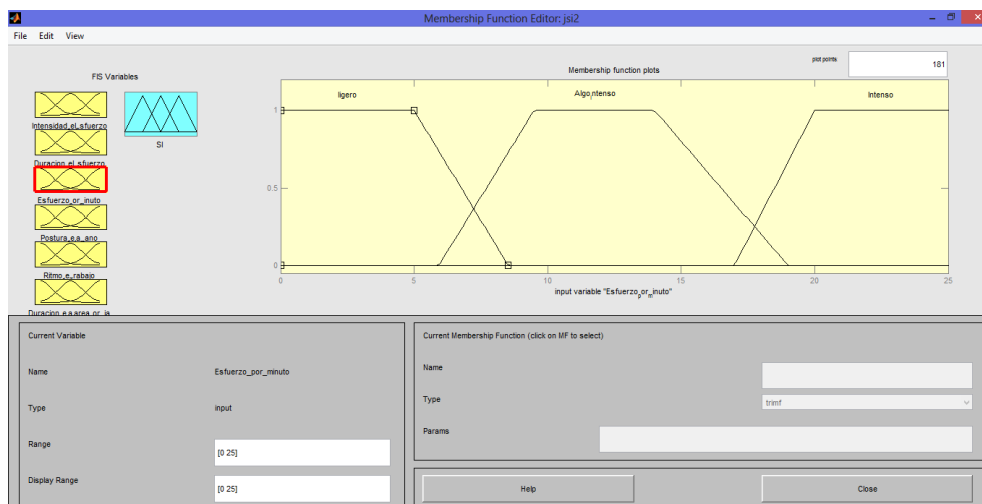
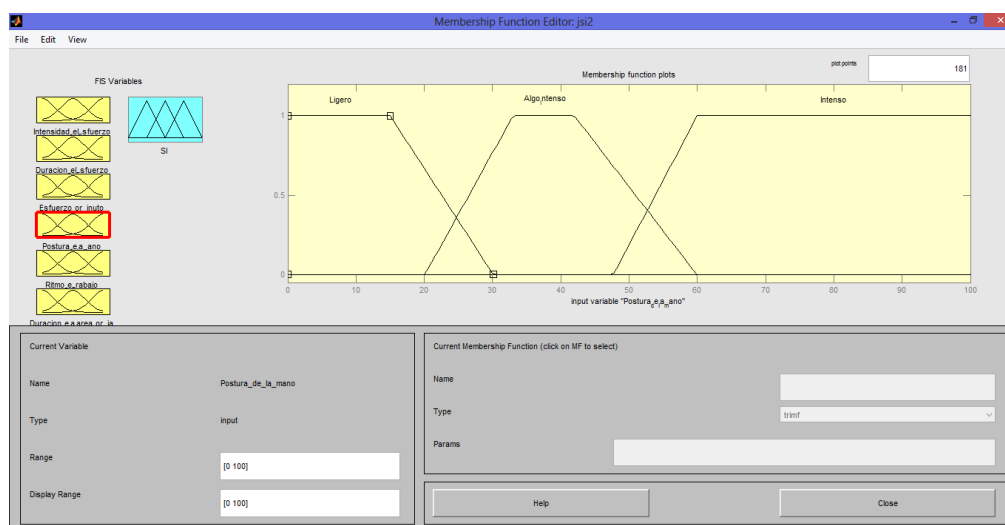
Figura 6*Esfuerzo por minuto***Figura 7***Postura de mano*

Figura 8

Ritmo de trabajo

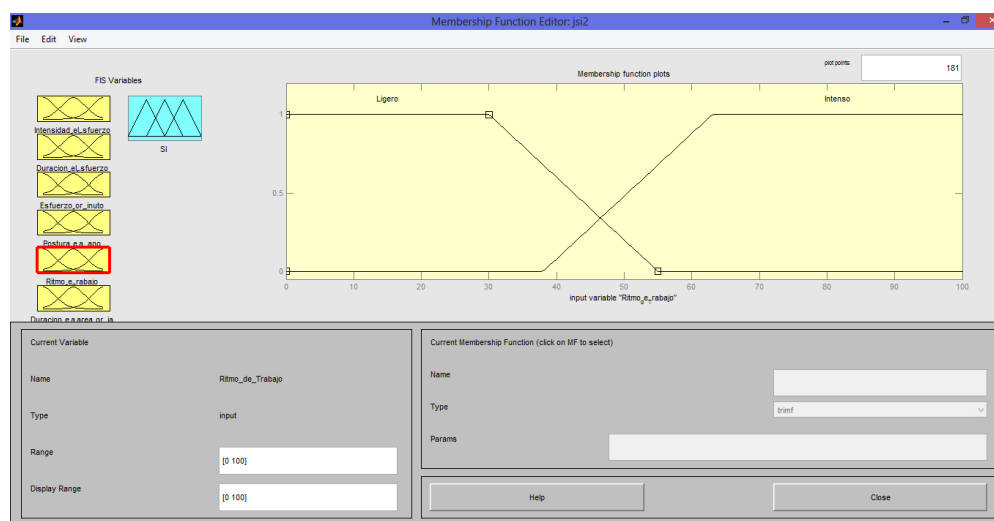
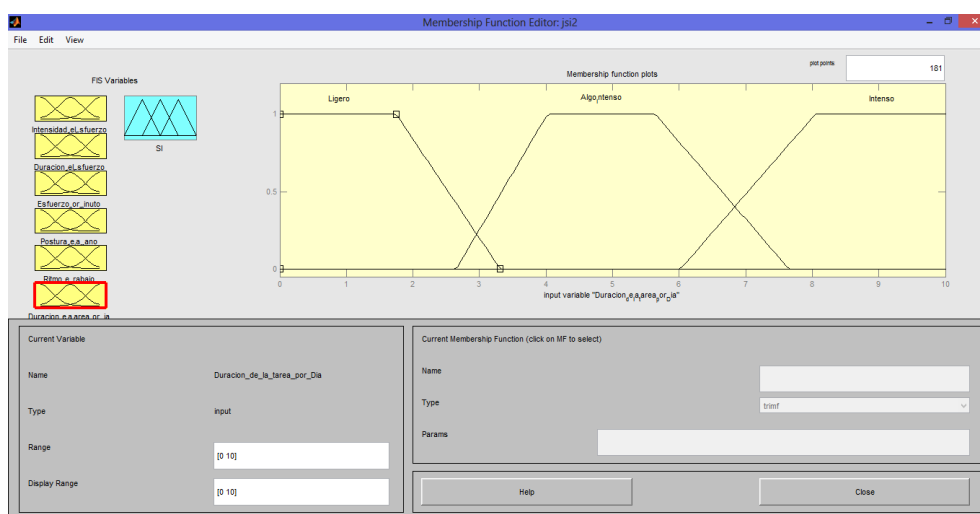


Figura 9

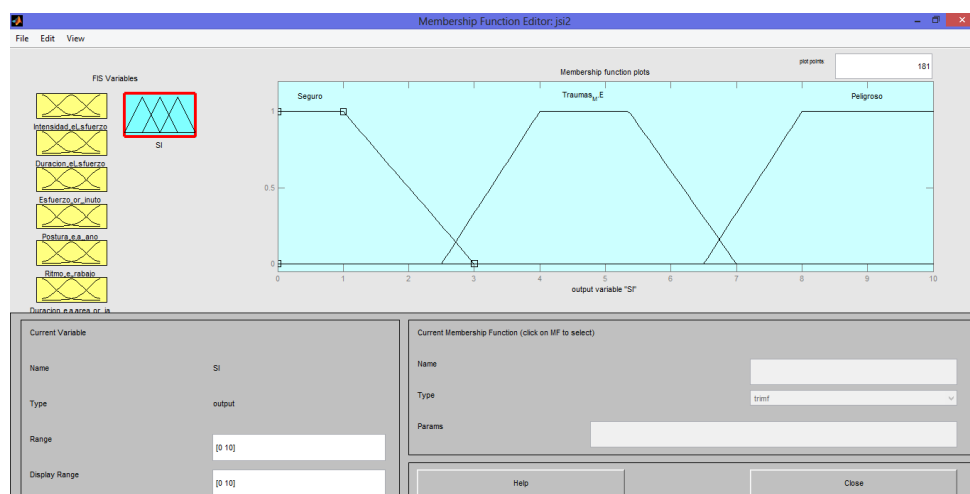
Duración de la tarea



Para la variables intensidad del esfuerzo se tomó como referencia la escala de Borg(Suazo *et al.*, 2019), la variable esfuerzos por minutos se manejó con un máximo de 25 esfuerzos y las demás variables se manejaron con la escala del porcentaje , a la variable Duración de la tarea se le asigno una escala máxima de 10 que serían los días en que se realizara la jornada de trabajo. Las escalas de las respectivas variables se pueden apreciar en las imágenes adjuntas.

Figura 10

Variable de salida del modelo difuso.



El modelo de lógica difusa tiene una salida, y al igual que el método tradicional cuenta con tres niveles que son: *Seguro* para valores no mayores a 3, *Traumas musculoesqueléticos* para valores comprendidos entre 2.5 y 7 y *Peligroso* para valores que sobre pasen valores de 7, ver figura 8.

Es importante mencionar que se realizaron cambios considerables al momento de elegir los niveles con los que contarían cada una de las variables, para el modelo de lógica difusa se combinaron estos niveles logrando reducir el número a tres niveles y en algunos casos a solo dos como se mencionó en un principio.

Se procede a la captura de las reglas difusas obteniendo así un total de 40 reglas que engloban los resultados del método original, las cuales se muestran a continuación:

1. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)*
2. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)*
3. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano*

- is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)
4. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)
 5. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)
 6. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Ligero) then (SI is Seguro) (1)
 7. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Ligero) then (SI is Seguro) (1)
 8. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)
 9. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)
 10. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is not soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)
 11. If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is

- Algo_Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Algo_intenso) then (SI is Peligroso) (1)*
12. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Algo_Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Intenso) then (SI is Peligroso) (1)*
13. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is Algo_Intenso) and (Postura_de_la_mano is Algo_Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Algo_intenso) then (SI is Peligroso) (1)*
14. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is Algo_Intenso) and (Postura_de_la_mano is Algo_Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Algo_intenso) then (SI is Peligroso) (1)*
15. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Ligero) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is Intenso) and (Postura_de_la_mano is Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Intenso) then (SI is Peligroso) (1)*
16. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)*
17. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Ligero) then (SI is Traumas_M.E) (1)*
18. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)*
19. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is not*

- Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)*
20. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Seguro) (1)*
21. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is not soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Peligroso) (1)*
22. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Ligero) then (SI is Peligroso) (1)*
23. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Peligroso) (1)*
24. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Peligroso) (1)*
25. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Traumas_M.E) (1)*
26. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is Algo_Intenso) and (Postura_de_la_mano is Algo_Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Algo_intenso) then (SI is Peligroso) (1)*
27. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is Algo_Intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is Intenso) and (Postura_de_la_mano is*

- Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Intenso) then (SI is Peligroso) (1)*
28. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Traumas_M.E) (1)*
29. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Ligero) then (SI is Traumas_M.E) (1)*
30. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Traumas_M.E) (1)*
31. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Traumas_M.E) (1)*
32. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Traumas_M.E) (1)*
33. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is not soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Peligroso) (1)*
34. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is not soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Peligroso) (1)*
35. *If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is not ligero) and (Postura_de_la_mano*

- is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Peligroso) (1)
36. If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Ligero) then (SI is Peligroso) (1)
37. If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Ligero) then (SI is Peligroso) (1)
38. If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Intenso) then (SI is Peligroso) (1)
39. If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is Intenso) and (Esfuerzo_por_minuto is Intenso) and (Postura_de_la_mano is Intenso) and (Ritmo_de_Trabajo is Intenso) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is Intenso) then (SI is Peligroso) (1)
40. If (Intensidad_del_Esfuerzo is intenso) and (Duracion_del_Esfuerzo is soportable) and (Esfuerzo_por_minuto is ligero) and (Postura_de_la_mano is not Ligero) and (Ritmo_de_Trabajo is not Ligero) and (Duracion_de_la_tarea_por_Dia is not Ligero) then (SI is Peligroso) (1)

4 RESULTADOS

Para la validación del modelo difuso se eligieron 50 combinaciones del método JSI original y se hizo una comparación con sus equivalentes en el método propuesto obteniendo los resultados que se muestran en las tablas. Los resultados arrojaron un 78% de coincidencias y solo un 22% de diferencia en los resultados.

Tabla 1*Resultados de las combinaciones del método original*

D.E	E.M	P.M	R.T	D.D	L	A.I	I	M.I	C.M
1	1	1	1	0.5	0.5	1.5	3	4.5	6.5
1	1	1	1.5	0.5	0.75	2.25	4.5	6.75	9.75
1	3	1	1	0.5	1.5	4.5	9	13.5	19.5
1	1	3	2	1.5	9	27	54	81	117
2	3	3	2	1.5	54	162	324	486	702
2	1	1	1	0.5	1	3	6	9	13
2	1.5	1	1	0.5	1.5	4.5	9	13.5	19.5
3	3	3	2	1.5	81	243	486	729	1053
3	1	1	1	0.5	1.5	4.5	9	13.5	19.5
3	1	1	2	0.5	3	9	18	27	39

Tabla 2*Resultados de las combinaciones del método propuesto*

D.E	Ex M.	P.M	V.T	D.T	Ligero	Algo intenso	Intenso
Soportable	Ligero	Ligero	Ligero	Ligero	Seguro	Seguro	T.M.E
Soportable	Ligero	Ligero	Intenso	Ligero	Seguro	T.M.E	T.M.E
Soportable	Intenso	Ligero	Ligero	Ligero	Seguro	Seguro	T.M.E
Soportable	Ligero	Intenso	Intenso	Intenso	T.M.E	Peligroso	Peligroso
Intenso	Intenso	Intenso	Intenso	Intenso	Peligroso	Peligroso	Peligroso
Intenso	Ligero	Ligero	Ligero	Ligero	Seguro	T.M.E	Peligroso
Intenso	Algo intenso	Ligero	Ligero	Ligero	Seguro	T.M.E	Peligroso
Intenso	Intenso	Intenso	Intenso	Intenso	Peligroso	Peligroso	Peligroso
Intenso	Ligero	Ligero	Ligero	Ligero	Seguro	T.M.E	Peligroso
Intenso	Ligero	Ligero	Intenso	Ligero	T.M.E	Peligroso	Peligroso

La validación del modelo se realizó mediante la comparación de sus resultados con la evaluación ergonómica tradicional del método JSI, a fin de asegurar su precisión y aplicabilidad práctica en la detección de riesgos biomecánicos en tareas agrícolas(Choi *et al.*, 2020).

Este proceso de validación permitió que la matriz correlacional propuesta identifique patrones y tendencias y que los resultados provean información útil y relevante para el caso de estudio y a futuro.

5 DISCUSIÓN

La identificación de riesgos biomecánicos en la agricultura es una actividad crucial que requiere metodologías precisas para reconocer las condiciones de peligro y gestionar los controles adecuados, previniendo así enfermedades laborales (Vélez-Silva *et al.*, 2023).

Específicamente, la capacidad de la lógica difusa para manejar información imprecisa y ambigua resulta crucial para representar de manera efectiva la complejidad de las posturas y movimientos en entornos agrícolas (TARAKÇI & Can, 2024). Este

enfoque de lógica difusa permite una evaluación matizada de los riesgos biomecánicos, yendo más allá de las clasificaciones binarias para abarcar el espectro continuo del movimiento humano y las variables ambientales presentes en las tareas agrícolas. (Golabchi *et al.*, 2016; TARAKÇI & Can, 2024).

Esta metodología propuesta supera las limitaciones de las evaluaciones ergonómicas tradicionales, que a menudo simplifican excesivamente la naturaleza dinámica del trabajo agrícola (Fales *et al.*, 2022).

Al integrar el Job Strain Index con la lógica difusa, se logra una evaluación más profunda y holística que considera la interacción de múltiples factores de riesgo, tales como la intensidad del esfuerzo, la duración de la tarea y la frecuencia de las acciones, lo que permite una valoración más precisa del nivel de riesgo ergonómico (Govindan & Li, 2023; Navas-Reascos *et al.*, 2022).

Esta capacidad de adaptación y refinamiento metodológico facilita la identificación de acciones preventivas más dirigidas, trascendiendo las conclusiones limitadas de estudios específicos sobre operaciones agrícolas que no detectan riesgos urgentes sino también áreas de mejora (Faria *et al.*, 2024; Freire *et al.*, 2023).

6 CONCLUSIÓN

Este enfoque permite, por tanto, una optimización de las intervenciones ergonómicas, dirigiéndolas hacia los puntos más críticos y con mayor potencial de impacto en la salud y el bienestar de los trabajadores agrícolas. Se ha demostrado que la integración de prácticas ergonómicas, como las informadas por este modelo de lógica difusa, mejora la seguridad ocupacional, reduce los trastornos musculoesqueléticos y aumenta la satisfacción laboral entre los trabajadores agrícolas, lo que conduce a mejoras generales en la productividad agrícola (Ertuğrul *et al.*, 2025).

La aplicación de este modelo difuso puede contribuir significativamente a la reducción de los riesgos laborales en un sector que, a pesar de su importancia global, se caracteriza por una alta prevalencia de enfermedades relacionadas con el trabajo, así como por elevadas tasas de accidentes y mortalidad (Junkes *et al.*, 2024).

Este modelo también es escalable y adaptable, lo que permite su implementación en diversas regiones agrícolas y tipos de cultivos, abriendo así nuevas vías para la gestión proactiva de la salud ocupacional y la seguridad en el trabajo agrícola (Short *et al.*, 2023).

Además, la flexibilidad inherente a los sistemas difusos permite la incorporación de nuevos parámetros y reglas a medida que se adquiere más conocimiento sobre las dinámicas ergonómicas específicas de diferentes contextos agrícolas, enriqueciendo continuamente la capacidad predictiva del modelo (Mendes *et al.*, 2019; Rojas & Sosa, 2016).

Un ejemplo de ello es la posible integración con tecnologías portátiles con potencial para mejorar la seguridad laboral, incluyendo la mitigación de riesgos ergonómicos y térmicos en entornos agrícolas (McQuerry & Grzywacz, 2023; Villanueva-Gómez *et al.*, 2023). Esta sinergia entre el modelo difuso y el método tradicional no solo optimizaría la seguridad laboral, sino que también contribuiría a la formulación de políticas públicas más efectivas para la protección de la salud de los trabajadores agrícolas.

Esta identificación es fundamental para el diseño de intervenciones ergonómicas que no solo aborden las demandas físicas de las tareas, sino también los factores ambientales que pueden exacerbar el riesgo de lesiones y enfermedades ocupacionales (Sakinala *et al.*, 2024)

Con los resultados que se mostraron anteriormente podemos decir que el modelo aún necesita mejoras para que en un futuro la coincidencia de resultados sea del 100% al momento de hacer la comparación con método original. Se espera que en trabajos futuros se logre llegar a ese porcentaje y con ello poder hacer más fácil la utilización del método al momento de realizar una evaluación.

REFERENCIAS

- Aksüt, G., & Eren, T. (2023). Evaluation of the Reasons for Health and Safety Risks in Agriculture by Integration of ANP and PROMETHEE Methods. *Research Square (Research Square)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2409071/v1>
- Atli, H. F. (2024). Safety of agricultural machinery and tractor maintenance planning with fuzzy logic and MCDM for agricultural productivity. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 8(1), 25. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2024.1.4>
- Bairwa, R. C., Meena, M. L., Dangayach, G. S., & Jain, R. (2022). Prevalence of Musculoskeletal Disorders Among the Agricultural Workers: A Review [Review of *Prevalence of Musculoskeletal Disorders Among the Agricultural Workers: A Review*]. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 439. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94277-9_38

- Barneo-Alcántara, M., Díaz-Pérez, M., Gómez-Galán, M., Carreño-Ortega, Á., & Ferre, Á. J. C. (2021). Musculoskeletal Disorders in Agriculture: A Review from Web of Science Core Collection [Review of *Musculoskeletal Disorders in Agriculture: A Review from Web of Science Core Collection*]. *Agronomy*, 11(10), 2017. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102017>
- Benos, L., Tsaopoulos, D., & Bochtis, D. (2020). A Review on Ergonomics in Agriculture. Part I: Manual Operations. *Applied Sciences*, 10(6), 1905. <https://doi.org/10.3390/app10061905>
- Buisseret, F., Draye, N., Santo, C. D., Pacewicz, J., Pannetier, J., Dierick, F., & Telliez, F. (2024). Occupational Risk Factors for Musculoskeletal Disorders among Workers in Dairy Diversification. *Healthcare*, 12(2), 178. <https://doi.org/10.3390/healthcare12020178>
- C., R. M. A., V., M. L. S., O., M. M. P., G., M. L. J., & Moreno, N. (2013). Condiciones de vida y trabajo de familias campesinas agricultoras de Marinilla, un pueblo agrario del oriente Antioqueño, Colombia, 2011. *Revista de La Escuela Nacional de Salud Pública*, 31(3), 319. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.13473>
- Carrasco, J. L., Asqui, A. I. L., & Gadvay, A. D. B. (2023). Riesgos ergonómicos y su influencia en el desempeño laboral. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.836>
- Choi, K., Kim, D.-M., Cho, M.-U., Park, C.-W., Kim, S.-Y., Kim, M., & Kong, Y. (2020). Application of AULA Risk Assessment Tool by Comparison with Other Ergonomic Risk Assessment Tools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6479. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186479>
- Ciccarelli, M., Papetti, A., & Germani, M. (2025). Empowering industry 5.0: automated sensor-based ergonomic risk assessment. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. <https://doi.org/10.1007/s12008-025-02412-5>
- Dimitrov, V., Borisova, L. V., & Nurutdinova, I. (2023). Formalization of Fuzzy Statements in the Task of Technological Adjustment of Grain Combines. *E3S Web of Conferences*, 398, 1002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339801002>
- Duarte, J. A. L., Martínez-Cadena, G., & Olea-Miranda, J. (2021). Sistema automatizado de análisis de movimiento para la detección del factor de riesgo ergonómico en la industria de la construcción. *Información Tecnológica*, 32(6), 213. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000600213>
- Ertuğrul, G. Ö., Aygün, İ., & Urkan, E. (2025). A Study Examining the Potential of the 5S Methodology for Improving Efficiency in Agricultural Production Processes. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(3), 587. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i3.587-593.7503>
- Fales, C., Stone, R., Mgaedeh, F., & Kim, J. (2022). Know thy user, know thy tool: a population review and critique of current ergonomic analysis tools for the agricultural workforce [Review of *Know thy user, know thy tool: a population review*

- and critique of current ergonomic analysis tools for the agricultural workforce*]. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 9(2), 128. <https://doi.org/10.1504/ijhfe.2022.122395>
- Faria, J. A. A. de, Andrade, E. T. de, & Oliveira, F. da S. de. (2024). Occupational Risks of Agricultural Workers Exposed to Heat: Literature Review. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(1). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n1-169>
- Fiegenbaum, T. R., Santana, E. V. S., Rempel, C., & Grave, M. T. Q. (2021). Prevalência de Dores Musculoesqueléticas em Trabalhadores Rurais: Uma Revisão de Literatura. *Research Society and Development*, 10(8). <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17305>
- García-Izquierdo, A. L., Ramos-Villagrasa, P. J., & Lubiano, M. A. (2020). Developing Biodata for Public Manager Selection Purposes: A Comparison between Fuzzy Logic and Traditional Methods. *Journal of Work and Organizational Psychology*, 36(3), 231. <https://doi.org/10.5093/jwop2020a22>
- Golabchi, A., Han, S., & Fayek, A. R. (2016). A fuzzy logic approach to posture-based ergonomic analysis for field observation and assessment of construction manual operations. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(4), 294. <https://doi.org/10.1139/cjce-2015-0143>
- Gómez, M. M., & Robledo, M. M. (2015). Factores de riesgo biomecánicos y psicosociales presentes en la industria venezolana de la carne. *Ciencia & Trabajo*, 17(54), 171. <https://doi.org/10.4067/s0718-24492015000300003>
- Govindan, A. R., & Li, X. (2023). Fuzzy logic-based decision support system for automating ergonomics risk assessments. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 96, 103459. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2023.103459>
- Gurnani, U., Singh, S. K., Sain, M. K., & Meena, M. L. (2022a). A Postural Risk Assessment of Manual Dairy Farm Workers using NIOSH Lifting Equation. *Evergreen*, 9(3), 721. <https://doi.org/10.5109/4843105>
- Gurnani, U., Singh, S. K., Sain, M. K., & Meena, M. L. (2022b). Musculoskeletal Health Problems and their Association with Risk Factors among Manual Dairy Farm Workers. *Evergreen*, 9(4), 950. <https://doi.org/10.5109/6622881>
- Herrera-Torres, E., Pámanes-Carrasco, G. A., Araiza-Rosales, E. E., Sánchez-Arroyo, J. F., Palacios-Torres, J., & Murillo-Ortiz, M. (2022). In vitro gas production, rumen fermentation and production performance of steers fed multinutritional prickly pear blocks. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 31(3), 258. <https://doi.org/10.22358/jafs/149991/2022>
- Junkes, V. H., Matos, C., Matias, G. de S., Lermen, F. H., Patriarca, R., Siqueira, H. V., & Lenzi, G. G. (2024). Occupational risks of work in the agricultural sector: a systematic literature review. *Production*, 34. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20230042>
- Jorgensen, M. J., Martinez, A., & Hakansson, N. A. (2024). Comparison of multi-task ergonomic assessment methods for risk of upper extremity and low back

- musculoskeletal disorders. *Applied Ergonomics*, 119, 104313. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104313>
- Kamala, V., & Robert, T. (2022). Fuzzy-logic-based ergonomic assessment in an automotive industry. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 33(4). <https://doi.org/10.7166/33-4-2593>
- Kim, D., Zarei, M., Lee, S., Lee, H., Lee, G., Lee, S. G., Lee, S. G., & Lee, S. G. (2025). Wearable Standalone Sensing Systems for Smart Agriculture. *Advanced Science*, 12(16). <https://doi.org/10.1002/advs.202414748>
- Kyriazos, T., & Poga, M. (2024). Exploring fuzzy logic as an alternative approach in psychological scoring. *The Open Psychology Journal*, 17, Article e18743501337527. <https://doi.org/10.2174/0118743501337527241125044301>
- Kodaloğlu, m., & Kodaloğlu, f. a. (2022). Evaluation of thermal comfort in terms of occupational safety in weaving facilities by fuzzy logic. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(2), 273. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1081567>
- Kolln, A. M., Kolln, F. T., Gonçalves, A. P. A., & Lopes, H. (2022). Riscos laborais na agricultura familiar em Rondônia. *Research Society and Development*, 11(10). <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32936>
- Kong, Y., Lee, S. J., Lee, K. S., Kim, G. R., & Kim, D. (2015). Development of an Ergonomics Checklist for Investigation of Work-Related Whole-Body Disorders in Farming – AWBA: Agricultural Whole-Body Assessment. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 21(4), 207. <https://doi.org/10.13031/jash.21.10647>
- Kundu, T., Kumar, M., Joshi, P., Bharadwaj, A., Marwaha, S., & Pal, S. (2021). Development and validation of mobile based decision support system for Human Physical Drudgery Index (HPDI). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 91(8). <https://doi.org/10.56093/ijas.v91i8.115805>
- Li, Y. (2024). Model Based Work Assessment: Combining Spatial and Temporal Modeling for Structured Proactive Work Analysis. *Deep Blue (University of Michigan)*. <https://doi.org/10.7302/22889>
- Mahmoud, O. H. (2021). Discomfort estimation using machine learning for pick and place tasks in industry. *HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe)*. <https://inria.hal.science/tel-03496989>
- Malek, H. A. (2022). Methodology of a vehicles assembly line's organization based on the analysis of automation variations in a multi modal production context. *HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe)*. <https://pastel.hal.science/tel-03811852>
- Massó, D. V., Sánchez, V. V., & Rivero, A. R. (2023). Cambios en la frecuencia del consumo de alimentos y el estado nutricional en campesinos de Yaguajay, centro de Cuba, 2017-2022. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 25(2), 69. <https://doi.org/10.24215/18536387e069>

- McQuerry, M., & Grzywacz, J. G. (2023). Thermal comfort assessment of active cooling technology for agricultural end use: a field study. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 9(1), 14. <https://doi.org/10.15406/jteft.2023.09.00327>
- Mendes, W. R., Araújo, F. M. U. de, & Er-Raki, S. (2019). Integrating Remote Sensing Data into Fuzzy Control System for Variable Rate Irrigation Estimates. In *IntechOpen eBooks*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87023>
- Moore, J. S., & Garg, A. (1995). The Strain Index: A Proposed Method to Analyze Jobs For Risk of Distal Upper Extremity Disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(5), 443. <https://doi.org/10.1080/15428119591016863>
- Moura, V. B., Farias, V. D. da S., Sousa, D. de P., Nunes, H. G. G. C., & Souza, P. J. de O. P. de. (2022). Riscos ambientais e segurança do coletor no extrativismo do fruto de açaízeiro na Amazônia Oriental. *Ciência Florestal*, 32(2), 597. <https://doi.org/10.5902/1980509842790>
- Navas-Reascos, G. E., Romero, D., Rodríguez, C. A., Guedea-Elizalde, F., & Stahre, J. (2022). Wire Harness Assembly Process Supported by a Collaborative Robot: A Case Study Focus on Ergonomics. *Robotics*, 11(6), 131. <https://doi.org/10.3390/robotics11060131>
- Pedraza, B. de los Á. P., Olvera-Romero, G. D., Valdés-García, K. P., & Praga-Alejo, R. J. (2024). Normas sociales, publicidad y consumo alimentario en escolares: modelado mediante lógica difusa tipo 2. *CienciaUAT*, 75. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i2.1782>
- Porras, J. O., Erquínigo, A. B., Chávez, T. C., Palma, L. H., & Guevara, L. R. (2023). Método ergonómico para reducir el nivel de riesgo de trastornos musculoesqueléticos en una pyme de confección textil de Lima - Perú. *Industrial Data*, 25(2), 143. <https://doi.org/10.15381/idata.v25i2.22769>
- Prieto, N. W., Leite, J. C., Silva, C. A. de S., & Brito, J. de A. (2024). Assessment of ergonomic risks in car radio manufacturing using the Suzanne Rodgers and NIOSH criteria: a practical application. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 15(5). <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i5.3800>
- Rodríguez, V. M. P., & López, J. L. H. (2022). Propuesta de estrategias de prevención de enfermedades musculoesqueléticas en agricultores. *Sapienza International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(5), 16. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i5.440>
- Rojas, N. M., & Sosa, H. H. A. (2016). Integración de la Lógica Difusa a la Dinámica de Sistemas para la selección de terrenos de cultivos agrícolas. *ELEMENTOS*, 6(6), 149. <https://doi.org/10.15765/e.v6i6.842>
- Sakinala, V., Paul, P. S., & Fissha, Y. (2024). Promoting safety of underground machinery operators through participatory ergonomics and fuzzy model analysis to foster sustainable mining practices. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67375-1>

- Santos, R. C., Lovatto, J., Sanches, A. C., Gomes, É. P., & Souza, C. M. A. de. (2020). Expert systems as a tool to manage accident risks in grain storage facilities. *Semina Ciências Exatas e Tecnológicas*, 41(1), 87. <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2020v41n1p87>
- Shamsipour, M., & Kouhnavard, B. (2025). Investigation of Observational Techniques Ergonomic Risk Assessment of Work-Related Musculoskeletal Disorders among Farmers - A Systematic Review [Review of *Investigation of Observational Techniques Ergonomic Risk Assessment of Work-Related Musculoskeletal Disorders among Farmers - A Systematic Review*]. *Journal of Agromedicine*, 30(3), 616. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/1059924x.2024.2436447>
- Sharma, D., & Garg, S. (2016). A critical study of fuzzy logic systems and its applications. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 56. <https://doi.org/10.31142/ijtsrd105>
- Short, N. M., Woodward-Greene, M. J., Buser, M. D., & Roberts, D. P. (2023). Scalable Knowledge Management to Meet Global 21st Century Challenges in Agriculture. *Land*, 12(3), 588. <https://doi.org/10.3390/land12030588>
- Suazo, D. M., Muñoz, J. N., Lazarraga, P. C., Rodríguez, A., Alcayde, M. I., Díaz-Román, A., & Cano, R. (2019). Mejora de la atención en niños y niñas con TDAH tras una intervención física deportiva dirigida. *Cuadernos de Psicología Del Deporte*, 19(3), 37. <https://doi.org/10.6018/cpd.360451>
- TARAKÇI, E., & Can, E. (2024). A novel approach to ergonomic risk analyses. In *IntechOpen eBooks*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004385>
- Vélez-Silva, D.-A., Solano-Natera, R.-J., & Ortiz-Barrios, M. (2023). Caracterización de Operación de Montacarga para Identificación de Nivel de Riesgo Biomecánico en Empresa del Sector Minero: Un Caso de Estudio. *Boletín de Innovación Logística y Operaciones*, 5(1), 40. <https://doi.org/10.17981/bilo.5.1.2023.04>
- Villanueva-Gómez, R., Thamsuwan, O., Castro, R. A. B., & Barrero, L. H. (2023). Seasonal Migrant Workers Perceived Working Conditions and Speculative Opinions on Possible Uptake of Exoskeleton with Respect to Tasks and Environment: A Case Study in Plant Nursery. *Sustainability*, 15(17), 12839. <https://doi.org/10.3390/su151712839>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338. [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual al desarrollo de este artículo.

Disponibilidad de datos

Todos los conjuntos de datos relevantes para los resultados de este estudio están disponibles en su totalidad en el artículo.

Cómo citar este artículo (APA)

Rivero, L. C., Lozano, L. J. P., & Díaz, N. F. M. MODELO DIFUSO PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA EN EL SECTOR AGROPECUARIO: INTEGRACIÓN DEL MÉTODO JOB STRAIN INDEX Y LÓGICA DIFUSA PARA LA EVALUACIÓN DEL ESFUERZO. Veredas Do Direito, e235043.
<https://doi.org/10.18623/rvd.v23.5043>