Ingeniería Investigación y Tecnología
volumen XXII (número 2), abril-junio 2021 1-10
ISSN 2594-0732 FI-UNAM artículo arbitrado
Información del artículo: Recibido: 14 de mayo de 2020, reevaluado: 16 de septiembre de 2020, aceptado: 8 de febrero 2021
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) license
https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.2.012

Ingeniería Investigación y Tecnología

Análisis de la marcha y fatiga durante la manipulación de bombas aspersoras agrícolas de tipo mochila

Analysis of the gait cycle and fatigue during the manipulation of agricultural backpack sprayers

Badillo-Gómez Maritza Miroslava
Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de la Ciénega, Jalisco
Correo: maritza.mbadillo@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0003-1539-1326

Vaca-García Claudia Carolina
Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de la Ciénega, Jalisco
Correo: carovaca@cuci.udg.mx
https://orcid.org/0000-0003-1279-0567

Sánchez-Morales María Eugenia
Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de la Ciénega, Jalisco
Correo: eugenia.sanchez@cuci.udg.mx
https://orcid.org/0000-0003-4018-672X

Acosta-Lúa Cuauhtémoc
Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de la Ciénega, Jalisco
Correo: cuauhtemoc.acosta@cuci.udg.mx
https://orcid.org/0000-0002-7398-2629

Resumen

La industrialización del sector agrícola ha provocado el aumento del uso de sustancias químicas especialmente utilizadas en tierras agrícolas, por sus beneficios en el aumento de productividad y el manejo de enfermedades en las plantas. La actividad que más utiliza los plaguicidas es la agricultura, consumiendo 85 % de la producción mundial, por ello, la evolución de la maquinaria agrícola es vital para satisfacer los requisitos del mercado. Sin embargo, los numerosos efectos secundarios causados por la alta exposición ocupacional a equipos poco funcionales implican un alto riesgo en la salud del trabajador, quien está expuesto principalmente a elementos como posturas forzadas y manipulación manual de cargas de maquinaria pesada durante tiempos prolongados. En este estudio se analizó el efecto que tiene la manipulación de cargas sobre los movimientos angulares del ciclo de la marcha y fatiga, enfocada en el manejo de tres tipos de aspersores agrícolas en distintos estudiantes masculinos. Se realizaron pruebas de marcha de 75 min sobre terreno de césped natural con distintas cargas y durante una caminata normal sin carga. Se colocaron goniómetros sobre ambas rodillas de los sujetos analizados para obtener la velocidad y el ángulo de la marcha. La fatiga se calculó para evaluar el impacto que tiene la manipulación de cargas sobre la marcha. Los resultados mostraron que durante el análisis de la marcha con carga y sin carga hay una diferencia notoria en el rizo que crea la fase del apoyo del caminado, por el peso que genera el aspersor agrícola sobre la espalda y, a su vez, sobre las rodillas; esto se debe al cambio de postura, forzada por la manipulación de cargas sobre la espalda. Los resultados se enfatizan cuando el sujeto analizado tiene sobrepeso y no practica deporte.
Descriptores: Sector agropecuario, exposición ocupacional, aspersor agrícola, fatiga laboral.

Abstract

The agricultural sector's industrialization has led to an increase in the use of chemicals, especially on agricultural lands, for its benefits in increasing productivity and managing plant diseases. The activity that most uses pesticides is agriculture, consuming 85 % of world's production, therefore the evolution of agricultural machinery is vital to satisfy market requirements, however, the numerous side effects caused by high occupational exposure to ineffective equipment imply a high risk in the health of the worker, they involve a worker's high risk health, which is exposed mainly to elements such as forced postures and the manual handling of heavy machinery for long periods of time. In this study was analyzed the effect of the heavy load handling on angular movements of the gait cycle and fatigue, focused on the use of three types of agricultural sprayers in different male students. 75 min gait tests were carried out on natural grass terrain with different weight loads and during a normal walk without extra weight. Goniometers were placed on both knees of the analyzed subjects to obtain the speed and angle of the walk. Fatigue was calculated to assess the impact of load handling on the go. The results showed that during the analysis of the gait with and without weight, there is a noticeable difference in the curl that the phase of the support of the walk creates, due to the weight that the agricultural sprayer generates on the back and knees. This is due to the change of posture, forced by the manipulation of heavy loads on the back. The results are emphasized when the analyzed subject is overweight and does not practice any type of sport.
Keywords: Agricultural sector, occupational exposure, agricultural sprayers, occupational fatigue.

Introducción

La producción de alimentos para satisfacer el mercado se ha vuelto una necesidad imperiosa, ya que actualmente México cuenta con aproximadamente 130 millones de pobladores y se pronostica que para el 2025 tendrá una población de 146 millones de habitantes y para el año 2050 serán 201 millones (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2017-2018), provocando un aumento de tareas y rendimiento, tanto de la maquinaria como de los trabajadores.

La necesidad de cubrir la demanda alimenticia induce a que los productores agrícolas busquen acelerar los procesos de germinación, desarrollo y producción, así como para la prevención y el control de enfermedades en las plantas haciendo uso de agroquímicos, logrando así el desarrollo óptimo de los cultivos (Luna & Mesa, 2017). Es por ello que la evolución de la maquinaria agrícola es de igual importancia para satisfacer los requisitos del mercado. Conforme al paso del tiempo, los fabricantes de maquinaria agrícola deben ir adaptándose al entorno social, diseñando dispositivos que permitan la mejora de la calidad en los productos y el aumento de productividad en el trabajo a realizar. La maquinaria agrícola consta de distintos tipos de aplicadores destinados a la fumigación, los cuales están diseñados dependiendo la altura y tipo de cultivo, volumen de carga, control de dosis a asperjar, etcétera (Sánchez, 2014, p.1-14).

Entre la maquinaria comúnmente utilizada para la fumigación agrícola se encuentran los pulverizadores manuales y los hidráulicos (Valero & Gil, 2006), ya que cuando la altura del cultivo excede los 50 cm, el tractor (vehículo agrícola multifuncional) ya no puede entrar porque dañaría la planta, ya que tiene una distancia libre de 60 cm al suelo (Instituto Navarro de Salud Laboral, s.f.). El pulverizador manual es uno de los equipos más utilizados para la aplicación de agroquímicos, empleados en superficies donde el follaje o marco de plantación no permite el acceso de pulverizadores de mayor tamaño. Son fabricados con materiales anticorrosivos, como plástico o fibra de vidrio; tiene una capacidad de 15 a 20 litros. El trabajo de aplicación es de forma manual, en el cual se opera una palanca que acciona una bomba de diafragma o de pistón. Para mantener la presión requerida para que el flujo pulverizado sea constante, se debe accionar la palanca mediante brazadas, aproximadamente 30 por min (Inostroza *et al.*, 2011).

El diseño de los pulverizadores agrícolas de tipo mochila se ha mantenido prácticamente igual desde su aparición en los años 1800 (Brambilla, s.f.), ya que su diversidad de uso y bajo costo de adquisición han provocado que se mantengan en el mercado, gracias a que pueden ser utilizados tanto para cultivos extensos como para pequeñas zonas. Si bien existen distintos tipos, cuyas características difieren desde la capacidad, tamaño, presión y diseño; encontrando pulverizadores accionados de forma manual, de gasolina y eléctrica, los cuales han ido evolucionando para mejorar la velocidad de flujo, productividad, aumento de capacidad de almacenaje, calidad y cantidad de la gota asperjada, etcétera.

Se observa que entre las características antes mencionadas no se encuentra con alguna que haga referencia al bienestar del trabajador. Cuando la ergonomía no es tomada en cuenta para el acondicionamiento de las herramientas de trabajo, el riesgo de contraer enfermedades laborales es mayor. En una investigación en la provincia del Carchi Ecuador, enfocada en la eficiencia de la ergonomía postural y su incidencia en las complicaciones músculo-esqueléticas en trabajadores del sector agrícola de 30-40 años de edad. Al realizar el análisis se encontró que 80 % de la población posee trastornos a nivel esqueleto-muscular, originadas por el uso inadecuado de equipo, herramienta, levantamiento de cargas pesadas, movimientos repetitivos y posiciones forzadas (Lozano *et al.*, 2015).

En otro estudio para evaluar las enfermedades causadas por falta de agentes ergonómicos en trabajadores afiliados al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), se encontró con que el principal trastorno musculo-esquelético es tenosinovitis radial de Quervain, que es la inflamación de la cubierta que rodea a los tendones del dedo pulgar, con 58 casos registrados; el síndrome de túnel carpiano, la cual se manifiesta mediante la presión excesiva en el nervio en la muñeca que permite la sensibilidad y el movimiento a partes de la mano, con 46 casos; la entesopatía, que es un proceso inflamatorio que afecta el área donde los ligamentos o tendones se fijan al hueso, con 39 casos; lesiones en los hombros 25 casos y epicondilitis (codo de tenista), 11 casos (Franco *et al.*, 2017).

Asimismo, las estimaciones de la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) muestran que 170,000 trabajadores del sector agrícola mueren cada año, considerándose como uno de los tres sectores de actividad laboral más peligrosos; siendo víctimas de lesiones graves, causadas por accidentes con maquinaria, así como por envenenamiento por el uso inadecuado de agroquímicos (Organización Internacional del Trabajo, 2015).

Las investigaciones antes mencionadas se han relacionado con los efectos que provoca el manipular cargas, sin embargo, pocos estudios se han publicado

sobre el análisis biomecánico de la caminata con peso extra, con el fin de conocer la causa que genera los trastornos músculo esqueléticos (TME) en personas que manipulan cargas.

En Collado (2004) se mostró el análisis sobre la influencia que las distintas distribuciones de carga tienen sobre las fuerzas verticales, anteroposteriores y mediolaterales durante las distintas fases del ciclo de la marcha, utilizando plataformas dinamométricas de tipo piezoeléctrico evaluando a hombres y mujeres, en la cual se observan diferencias significativas entre caminar con carga o sin peso extra. En otro estudio (Hong *et al.*, 2008) se evaluó el efecto de la caminata prolongada con cargas de mochila en niños para observar las principales zonas de actividad y fatiga muscular, utilizando electromiografía integrada (IEMG) y frecuencia media de potencia (MPF) en cada músculo de carga, lo cual demuestra que sí existe un efecto en el cuerpo humano cuando se está realizando una actividad con peso. En Solano *et al.* (2017) se realizó un análisis de los movimientos angulares al caminar sin carga evaluando ambos sexos, observando la fatiga que ocurre al caminar, haciendo uso de sensores de ángulo como equipo de medición, demostrando que después de una caminata prolongada se encuentran diferencias en la amplitud del paso y en la uniformidad del ciclo del caminado.

Ha surgido entonces la necesidad de evaluar la fatiga que presenta una persona al caminar enfocada a la industria agrícola, utilizando los distintos tipos de pulverizadores agrícolas de tipo mochila, conocidos en México como bombas aspersoras, para determinar el impacto que tiene la manipulación de cargas pesadas durante tiempos prolongados.

Después de realizar un análisis de la literatura existente, no se encontraron estudios previos con estas características, por lo que se propuso efectuar un análisis del ciclo de la marcha utilizando tres tipos de bombas aspersoras agrícolas: manual, eléctrica y de gasolina.

Para este estudio se seleccionaron personas con diferentes condiciones físicas. Además, se calculó el Índice de Masa Corporal (IMC) utilizando el peso y la estatura de las mismas. Se colocaron goniómetros en ambas rodillas, los cuales fueron conectados al recopilador de datos Xplorer GLX PASCO. En las gráficas obtenidas, se puede observar cómo la carga soportada influyó en la disminución de la amplitud y velocidad del paso a lo largo del tiempo de análisis, signo de fatiga en los sujetos de estudio.

Desarrollo

Muestra

Las pruebas se realizaron con 64 alumnos varones del Centro Universitario de la Ciénega de la Universidad de Guadalajara de edades entre 18 y 23 años, quienes accedieron a realizar el análisis de manera voluntaria.

De acuerdo con la cantidad de alumnos dispuestos a participar en el estudio se determinó el tamaño de la muestra aplicando la fórmula de población infinita:

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2} \tag{1}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra
z = nivel de confianza (90 %)
p = variabilidad negativa (50 %)
q = variabilidad positiva (50 %)
e = es error muestral (10 %)

Los participantes del estudio llenaron la ficha informativa mostrada en la Tabla 1, con el fin de recolectar datos personales y antropométricos.

De la Tabla 1 se extrajeron los datos de peso y estatura para encontrar los extremos de la muestra, así como otros datos estadísticos mostrados en la Tabla 2.

Material

Los materiales que se utilizaron para desarrollar el análisis de la marcha se muestran en la Tabla 3.

Método

Las pruebas se iniciaron con la recolección de los datos establecidos en la ficha informativa (Tabla 1), datos personales y antropométricos de los sujetos a evaluar; se tomó la talla y peso de cada sujeto con ayuda de un flexómetro y una báscula digital; el calzado que se solicitó que utilizaran para las pruebas fueron botas industriales sencillas de trabajo.

Se calculó el IMC de cada sujeto analizado para conocer si se encontraban dentro los parámetros señalados por la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2020), la cual define el sobre peso de un adulto cuando el IMC es mayor o igual a 25 y sufre de obesidad cuando el IMC es mayor o igual a 30.

Tabla 1. Características de la muestra

Nombre			Código
Condición Física			Edad
Dominancia:	Diestro	Zurdo	Peso (kg)
Estatura (cm)			IMC

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Datos estadísticos descriptivos

n (64)	Estatura (m)	Peso (kg)	IMC
Media	1.74	78	25.84
Mediana	1.73	78	25.45
Moda	1.70	80	27.34
Mínimo	1.70	65	22.49
Máximo	1.78	95	29.98
Desviación estándar	0.03	7.3	2.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Equipo de análisis

Materiales	Marca	Peso	Capacidad (volumen)
Bomba aspersora manual de tipo mochila	PRETUL	4.5kg	15 L
Bomba aspersora eléctrica de tipo mochila	MPOWER	7kg	20 L
Bomba aspersora de gasolina de tipo mochila	KNAPSACK POWER SPRAYER	9.5kg	30 L
Xplorer GLX PS-2002	PASCO		
Goniómetro PS-2138	PASCO		
Sensor de ángulo PS-2139	PASCO		

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis de la marcha con peso, se utilizaron tres tipos de aspersores agrícolas de tipo mochila: bomba aspersora manual, bomba aspersora eléctrica y bomba aspersora de gasolina.

Se colocó un goniómetro conectado al sensor de ángulo y al Xplorer GLX en cada rodilla de los sujetos analizados para obtener el estudio de fatiga.

Cada uno de los modelos de bomba aspersora de tipo mochila utilizados se llenaron con la misma cantidad de líquido (15 L), esto se hizo con el fin de que el volumen del líquido no fuera un factor de variabilidad en el análisis de los resultados. Se utilizó agua para llenar cada una de ellas, para evitar que los sujetos estuvieran en contacto con algún tipo de agroquímico y se pusiera en riesgo su salud.

El primer análisis se realizó con la bomba aspersora manual, el segundo análisis se realizó con la bomba aspersora eléctrica y el tercer análisis se realizó con la bomba aspersora de gasolina.

Se hizo caminar a cada sujeto por la cancha de futbol que se encuentra en el Centro Universitario de la Ciénega, esto con el fin de que la actividad se realizara sobre suelo con textura similar a la de un cultivo.

Cada prueba se efectuó durante el tiempo que tardó en vaciarse cada una de las distintas bombas aspersoras de tipo mochila utilizadas. La bomba aspersora manual tardó 25 min en pulverizar 15 L de agua, la bomba aspersora eléctrica y de gasolina tardaron 20 min aproximadamente en pulverizar la misma cantidad de agua. Debido a que la fatiga no se presentó en el primer vaciado, se cargó el tanque dos veces más.

En la Figura 1, se presenta de manera visual la forma en la que se realizaron las pruebas.

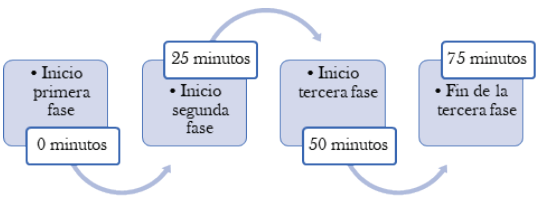

Figura 1. Línea de tiempo de cada prueba
Fuente: Elaboración propia

La bomba aspersora manual de tipo mochila se llenó a su máxima capacidad (15 L) posteriormente, se colocó el equipo de recolección de datos y se prosiguió a situar la bomba aspersora manual sobre la espalda del sujeto a analizar y así comenzar a caminar. El análisis se realizó de la siguiente manera: tres repeticiones por sujeto por cada una de las bombas aspersoras analizadas, seguido de tres repeticiones por sujeto sin carga. En total se efectuaron 768 pruebas, las cuales se llevaron a cabo en un periodo de seis meses.

La dinámica de recolección de datos sin carga, con la bomba aspersora manual, la bomba aspersora eléctrica y la bomba aspersora de gasolina, se realizó con una semana de diferencia entre cada una, esto para no causar efecto de fatiga acumulada.

Posteriormente se realizó el análisis de la marcha sin peso extra, de la misma manera que se hizo con los tres tipos de aspersores de tipo mochila (Figura 1), con los mismos sujetos.

Para poder interpretar los datos obtenidos en las pruebas con carga y sin ella, se muestran en la Figura 2 los movimientos que el cuerpo humano realiza al momento de caminar, en los cuales se observan los tres principales que realiza la parte inferior del cuerpo durante el ciclo de la marcha: impulso (A), apoyo (B) y balanceo (C).

Cada fase del caminado consta de una serie de movimientos que conforman el ciclo de la marcha, las cuales se concentran en el apoyo y el balanceo. La fase del balanceo está conformada por aceleración, balanceo medio y desaceleración; la fase del apoyo está conformada por contacto inicial, apoyo plantar, apoyo medio, elevación de talón y despegue del pie (Srinath *et al.*, 2019; López, 2008).

El centro de gravedad juega un papel importante dentro del movimiento del cuerpo humano, ya que es la parte en la que se encuentra el equilibrio del cuerpo, el cual se concentra en la pelvis. Al momento de caminar, el cuerpo se balancea de un lado a otro y de arriba hacia abajo, es ahí cuando el centro de gravedad crea un punto de equilibrio para lograr el desarrollo óptimo de la marcha (Osorio & Valencia, 2013).

En cuanto a las limitaciones de este estudio, se puede mencionar que fue realizado con jóvenes de entre 18 y 23 años debido a su disponibilidad para participar en el mismo. Sin embargo, los trabajadores del campo tienen una edad promedio de 41.7 años (INEGI, 2016). De igual manera, los jóvenes que participaron en el estudio habitualmente no realizan estas tareas, por lo que el tiempo de fatiga podría presentarse en un tiempo mayor en los trabajadores agrícolas. Asimismo, los terrenos de cultivo generalmente son disparejos y arcillosos y las plantas maduras entorpecen el desplazamiento a través de la parcela, a diferencia del terreno plano y sin plantas, en el cual se realizaron las pruebas.

Discusión y análisis de resultados

Con base en los datos de la Tabla 2 y con el fin de mostrar las diferencias del comportamiento de la marcha y la fatiga durante la manipulación de bombas aspersoras de individuos con diferentes características antropométricas, para este estudio se tomaron en cuenta dos sujetos en los extremos de la muestra. En la Tabla 4 se muestra la información de ambos sujetos.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la pierna dominante al inicio del análisis de la marcha cargando la bomba aspersora manual, comparándolo con el comportamiento de la pierna dominante sin carga del sujeto uno (S1).

Se observa que hay una diferencia notoria en el rizo que crea el apoyo del caminado por el peso que genera

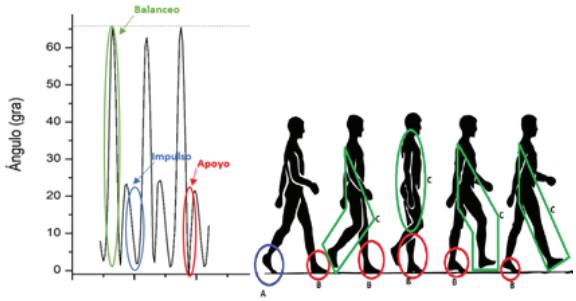

Figura 2. Ciclo de la marcha
Fuente. Solano *et al.* (2017)

Tabla 4. Datos antropométricos

Sujeto	Estatura (cm)	Peso (kg)	IMC	Condición física	Lateralidad
S1	170	65	22.49	Activo	Diestro
S2	178	95	29.98	Sedentario	Diestro

Fuente: Elaboración propia

la bomba aspersora de mochila sobre la espalda y esta a su vez sobre las rodillas. El rizo que presenta la marcha sin peso es recto al contrario de lo que se muestra en el rizo con peso extra, el cual es de manera curva; esto se debe al cambio de postura y forma de caminar al momento de manipular cargas pesadas sobre la espalda, así mismo se aprecia que el ángulo del caminado disminuye considerablemente. Sin embargo, el ángulo del balanceo es prácticamente del mismo tamaño.

Este comportamiento de la marcha se presentó en cada uno de los sujetos evaluados, sin embargo, el rizo y el ángulo de la marcha se presentan de una manera más notoria cuando el sujeto analizado sufre de sobrepeso o sedentarismo, como se observa en la gráfica empalmada de la pierna derecha del sujeto dos (S2) (Figura 4).

La diminución en el ángulo del balanceo de S2 disminuye significativamente a diferencia de S1, ya que S2 no está acostumbrado a realizar ningún tipo de actividad física y esto lo demuestra al cerrar el ángulo del caminado debido a la carga extra que soporta su cuerpo.

Estos resultados recalcan la importancia de la evaluación de los tiempos en los que se presenta la fatiga laboral durante la realización de cualquier tipo de trabajo, ya sea físico o mental realizado durante largos periodos de tiempo; ya que de esta depende que el trabajador se encuentre activo, eficiente, productivo, tenga una actitud positiva y goce de salud física y mental durante su jornada laboral.

En la Figura 5 se muestra el análisis de la marcha de la pierna derecha de S1 comparando los tres primeros pasos al inicio de la marcha y al momento en el que se presentó fatiga con la bomba aspersora de gasolina de tipo mochila.

Para el análisis de la marcha se graficó el ángulo de apertura de cada una de las rodillas respecto al tiempo, se obtuvo el valor inicial de apertura y se consideraron como fatiga cuando al menos 5 ciclos de apertura que se encontraron con disminución del ángulo. Con esto se garantiza que se ha cambiado la marcha y no solo por algún movimiento involuntario al caminar (Solano *et al.*, 2017).

El ángulo del balanceo al inicio de la marcha comienza con 73 ° y al presentar fatiga 64.98 °, lo cual demuestra que S1 disminuyó el ángulo del caminado 11 %.

En las gráficas de la bomba aspersora manual y la bomba aspersora eléctrica se realizó el mismo análisis de comparación que se muestra en la Figura 5, en la bomba aspersora manual se observa una disminución en el ángulo del caminado de 5 % y en la bomba aspersora eléctrica de 7 % grados.

Demostrando que la disminución en el ángulo de la marcha es causado por la diferencia de peso de las bombas aspersoras, lo cual repercute directamente en la ejecución de la actividad evaluada, en este caso durante la pulverización con aspersores de tipo mochila.

En la Figura 6 se muestra un diagrama de fase de la evolución de la marcha de la pierna izquierda con los tres tipos de bombas de S1.

En los diagramas de fase se aprecia la evolución de la fatiga durante el análisis, ya que la amplitud del ciclo de la marcha comienza a cerrar de manera progresiva, mostrándose de manera gradual de una bomba aspersora a otra. El círculo que se observa del lado derecho

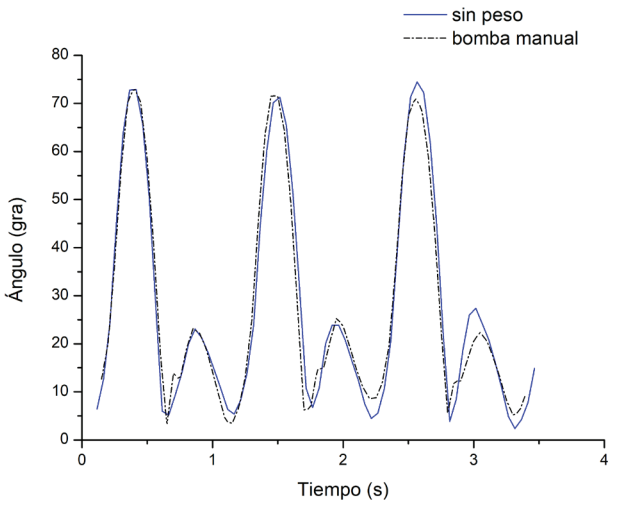

Figura 3. Gráfica empalmada S1 marcha con carga y sin carga
Fuente: Elaboración propia

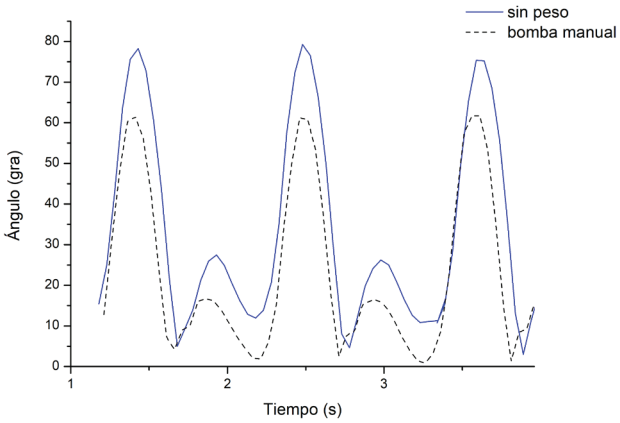

Figura 4. Gráfica empalmada S2 marcha con carga y sin carga
Fuente: Elaboración propia

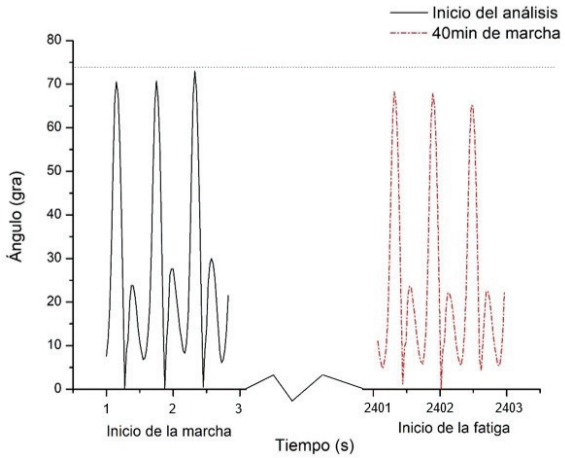

Figura 5. Análisis de marcha con bomba aspersora de gasolina de tipo mochila de S1
Fuente: Elaboración propia

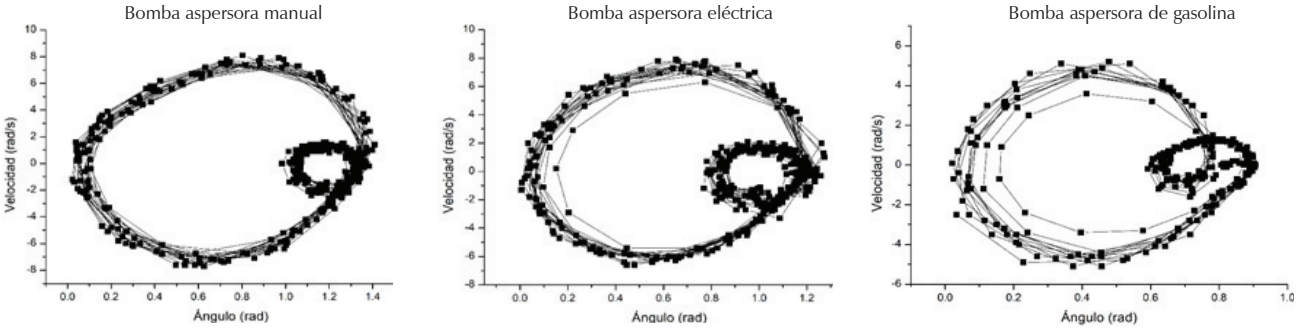

Figura 6: Diagrama de fase S1
Fuente: Elaboración propia

hace referencia al rizo generado por la fase del impulso del caminado.

En la Figura 7 se observan los primeros pasos con la bomba aspersora de gasolina al inicio del análisis de la marcha y al momento en que se presenta la fatiga de S2, lo cual muestra de una forma más notoria el cierre del ángulo.

El ángulo del balanceo al inicio del análisis de la marcha es de 70.66° y al comienzo de la fatiga los grados son de 61.16, lo cual indica que S2 disminuyó el ángulo de caminado 13 %. El análisis de la bomba aspersora manual y la bomba aspersora eléctrica se realizó de la misma manera que en la Figura 7, encontrando que en la bomba aspersora manual el ángulo de la marcha disminuyó 9 % y en la bomba aspersora eléctrica 12 %.

Haciendo una comparación en el ángulo del caminado entre ambos sujetos al comienzo del análisis de la marcha, realizado con los tres tipos de bombas aspersoras y al momento en el que se presenta la fatiga, en la bomba aspersora manual hay una diferencia de 2.13° entre S1 y S2, en la bomba aspersora eléctrica hay una diferencia de 3.07° y la bomba aspersora de gasolina 1.48°, observando que en la bomba aspersora eléctrica es donde se ha mostrado mayor fatiga laboral, esto se debe al diseño poco ergonómico del tanque, el cual lastimó la espalda baja de los sujetos analizados durante las pruebas, llegando a lacerar la piel de uno de ellos.

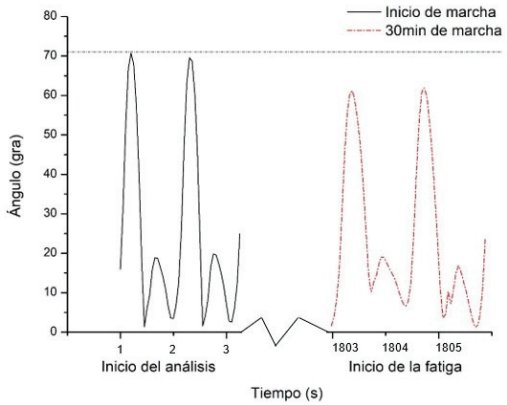

Figura 7. Análisis de marcha con bomba aspersora de gasolina de tipo mochila de S2
Fuente: elaboración propia

En la Figura 8 se presenta el diagrama de fase de la pierna izquierda de S2.

En el diagrama de fase de la bomba aspersora de gasolina se observó la disminución del ciclo de la marcha, mostrando una fatiga mucho mayor que en las otras dos bombas aspersoras, esto provocado por el peso de la bomba aspersora de gasolina, la cual sin líquido pesa 9.5 kg, aunado a las condiciones físicas de S2.

En la Tabla 5 se muestra el tiempo en minutos del momento en el que se presentó fatiga en ambos sujetos.

S1 no mostró fatiga durante los 75 min del análisis (Tabla 5) de la marcha sin carga. Cabe mencionar que, si el análisis se hubiera realizado por un tiempo más prolongado, existe la posibilidad que unos minutos después se hubiera mostrado fatiga.

En la Tabla 5, S1 durante el análisis de las tres bombas aspersoras y sin carga, muestra fatiga minutos después que S2. Esto se debe a que el IMC de S1 es normal (22.5kg/m^2) y practica deporte, por el contrario, S2 tiene un IMC de 29.9 kg/m^2 y es totalmente sedentario.

Asimismo, se muestra el tiempo de fatiga promedio del resto de los sujetos analizados, los cuales se encuentran dentro de los límites de S1 y S2.

Otro punto importante a mencionar es la diferencia que existe en el tiempo de fatiga entre S1 y S2 durante el análisis de la bomba aspersora eléctrica, el cual es de 20 min a diferencia de las otras dos bombas aspersoras, en las cuales el tiempo de fatiga es de 10 min; comprobando una vez más que el diseño de esta bomba aspersora provoca que el agotamiento e incomodidad física disminuyen la productividad de los trabajadores que utilizan este tipo de aspersores.

En la Figura 9 se muestra la correlación entre las variables de la carga adicional al peso corporal debido a las bombas aspersoras y el tiempo de fatiga, el cual también influye en el desplazamiento de los sujetos.

De la Figura 9, se puede deducir que a mayor peso, mayor fatiga, por lo tanto, en la Figura 10 se muestra la gráfica de tiempo en donde se presenta la fatiga en S1 y S2 respecto a la carga de peso manipulada en la espalda; lo cual coincide con lo observado en la Figura 9. Además, se encontró la repetitividad en los tiempos en los que se mostró la fatiga en cada uno de los sujetos analizados, teniendo una variación alrededor de 4 % entre uno y otro evento analizado.

No existen estudios previos sobre el análisis de la marcha con bombas aspersoras, sin embargo, en el estudio efectuado por Hong *et al.* (2008) sobre el peso, se muestra que a mayor peso cargado en la espalda la fatiga se presenta más rápidamente, lo cual también queda demostrado en el presente estudio (Figura 10). De igual manera, el peso cargado afectó la postura de los sujetos de estudio, lo que provocó incomodidad en la espalda. Además, en el caso de la bomba aspersora manual, el movimiento repetitivo del codo generó molestia al final de la prueba. A largo plazo, ambas situaciones hacen que los trabajadores del campo desarrollen desórdenes músculo esqueléticos, que ya han sido descritos en diversos estudios (Naeini *et al.*, 2014).

Tabla 5. Análisis de fatiga

Bomba aspersora	Fatiga S1 (min)	Fatiga S2 (min)	Media $\bar{x}$ (min)	Carga (kg)
Manual	70	60	65	19.5
Eléctrica	60	40	54	22
Gasolina	40	30	36	24.5
Sin carga	75	65	69	0

Fuente: Elaboración propia

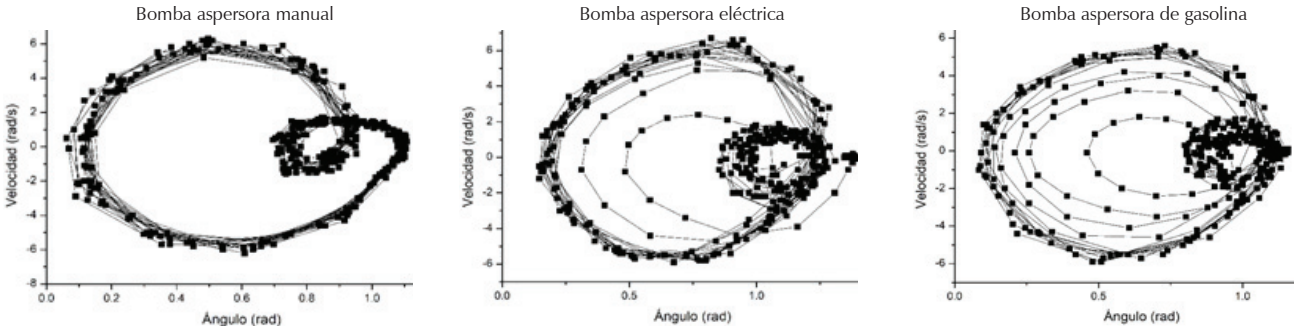

Figura 8. Diagrama de fase S2
Fuente: Elaboración propia

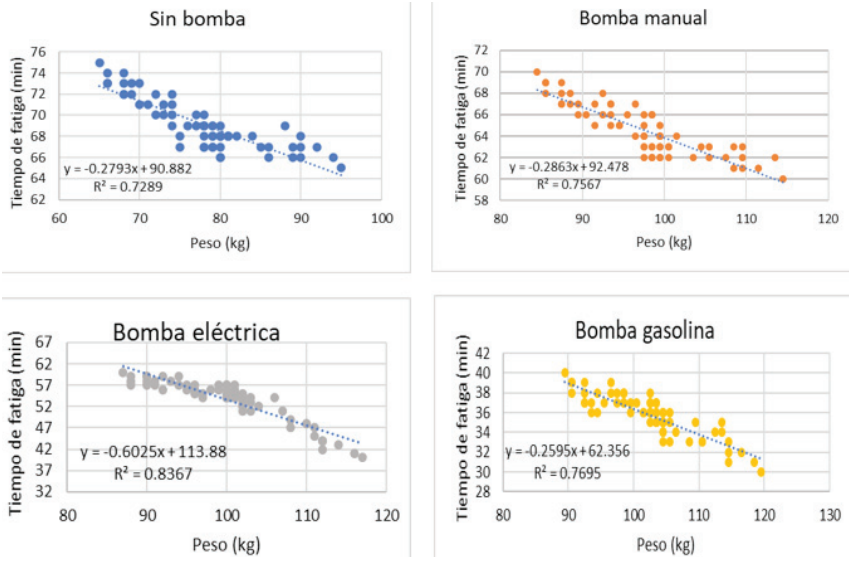

Figura 9. Correlación entre el peso de los sujetos más el peso cargado y los tiempos de fatiga
Fuente: Elaboración propia

Por último, la productividad de los sujetos de estudio también se vio afectada, al reducir su velocidad de 1 m/s al inicio del estudio a 0.8 m/s cuando se presenta la fatiga. Lo anterior representa que los operarios solamente podrán asperjar en promedio 1.73 hectáreas en lugar de 2.16 hectáreas en una jornada de trabajo de 8 h, disminuyendo su eficiencia en un 20 %. El trabajador percibe en promedio $18.50 por hora laborada (INEGI, 2016), por lo que el costo promedio por hectárea aumentaría de $ 68.52 a $ 85.55, lo que representa un incremento también de 20 %.

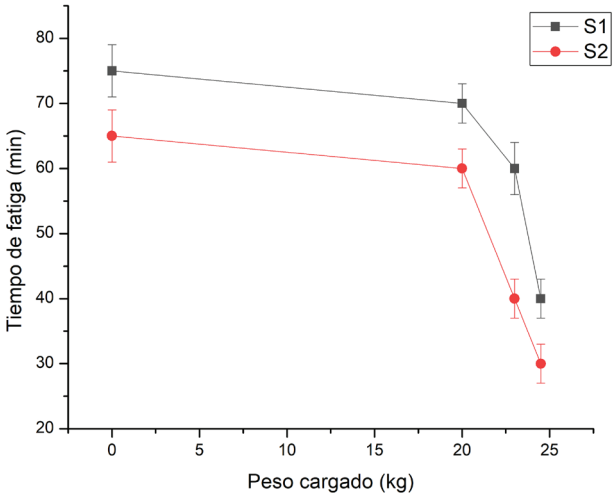

Figura 10. Tiempos en los que se presenta la fatiga de acuerdo con el peso cargado del S1 y S2
Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Con este estudio se ha podido comprobar la influencia que tienen distintos factores sobre la marcha, como lo son el peso corporal, la condición física y la manipulación de cargas. Esta última altera las fases del ciclo de la marcha, debido a la relación existente entre la apertura del ángulo del caminado y la velocidad angular. Cuando se tiene un rango amplio entre el ángulo y velocidad, los movimientos del cuerpo humano son lentos. Por el contrario, cuando se tiene un rango estrecho, los movimientos se realizan de manera rápida, ya que el cuerpo necesita equilibrar las fases de impulso, balanceo y apoyo, provocando una postura forzada como causa de la carga extra.

Por último, la información aquí proporcionada abre una línea de investigación para el análisis y diseño ergonómico de las bombas aspersoras de tipo mochila, impactando en un trabajo futuro, principalmente en la disminución del peso, adaptándolas a las capacidades y necesidades de los trabajadores con el fin de disminuir los daños a la salud.

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por la beca otorgada con número de CVU 681613 para la realización del análisis mostrado en este documento.

Referencias

Collado-Vázquez, S. (2004). *Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. Influencia del transporte de carga* (Tesis de la Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Medicina, Departamento de Medicina Física y de Rehabilitación (Hidrología Médica)). Universidad Computlense Madrid. Recuperado de https://eprints.ucm.es/4401/

Lozano, M., López-Saigua, V. D. & Fray-Velasteguí, S. A. (2015). *Eficacia de la ergonomía postural y su incidencia en las complicaciones musculo-esqueléticas aplicado a los agricultores de 30 a 40 años de edad que acuden al centro de fisioterapia del gobierno autónomo descentralizado de la parroquia rural Licto* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador.

Luna-Feijoo, M. & Mesa-Reinaldo, J. (2017). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(2), 31-40.

López-Terradas Covisa, J. M. (2008). Alteraciones de la marcha. Recuperado de la Asociación Española de Pediatría. https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/16-altmarcha.pdf

Brambilla, L. (s.f.). Mochilas pulverizadoras manuales. Recuperado de Tecnología de aplicación, uso eficiente y buenas prácticas. https://www.academia.edu/35369959/MOCHILAS_PULVERIZADORAS_MANUALES

Franco-Chávez, S. A., Salazar-Paramo, M., Peña-Ortíz, M. O. & Aguilera-Velasco, M. D. (2017). Enfermedades musculo-esqueléticas por agentes ergonómicos en trabajadores afiliados al Instituto Mexicano del Seguro Social. *Revista Internacional de Humanidades Médicas*, 6(1), 5. https://doi.org/10.37467/gka-revmedica.v6.1466

Gil-Ribes, J. A., Blanco-Roldan, G. L. & Cañero-López, J. (2010). Mantenimiento y calibración de maquinaria para la aplicación de productos fitosanitarios: pulverizadores hidráulicos de chorro proyectado. 38.

Hong, Y., Li, J.-X., & Tik-Pui Fong, D. (2008). Effect of prolonged walking with backpack loads on trunk. *ScienceDirect*, 7.

INEGI. (2016). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de Día del Trabajador Agrícola el 15 de mayo. https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=2646

Inostroza, J., Méndez, P. & Ríos, P. (2011). Manual de campo. Uso de equipos pulverizadores. Recuperado de http://static.elmercurio.cl/Documentos/Campo/2013/02/07/20130207174510.pdf

Instituto Navarro de Salud Laboral. (s.f.). El tractor agrícola. Recuperado de http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/5345A83F-38B3-4CAB-8C64-8F17DBD4F826/0/03unidad3.pdf

Naeini, H., Karuppiah, K., Tamrin, S. & Dalal, K. (2014). Ergonomics in agriculture: An Approach in Prevention of Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 3(2), 33-51.

Organización Internacional del Trabajo. (2015). La agricultura: un trabajo peligroso.

Organización Mundial de la Salud. (01 de 04 de 2020). Organización Mundial de la Salud. Recuperado de Obesity and Overweight. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight

Osorio, J. H. & Valencia, M. H. (2013). Bases para el proceso del entendimiento de la marcha humana. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/2738/273828094009.pdf

Sánchez-Hernández, M. (2014). Diagnóstico de la maquinaria agrícola en Ameca y Texcoco, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 11(4), 1-14. https://doi.org/10.22231/asyd.v11i4.12

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2016-2017). 5to Informe de Labores. México: Editores Buena Onda S.A de C.V .

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017-2018). 6to Informe de Labores. México.

Solano-Sosa, C., Sánchez, M., Vázquez, G., Martínez-García, A. & Esquiváis, J. (2017). Compendio de Investigaciones Científicas en México.

Srinath, A., Komatipalli-Umamaheswara, R., Paladugu, R. & Chakravarthy, K. (2019). Design & optimization of rehabilitation, exoskeleton device for indian amputees. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(7), 2088-2094.

Valero-Ubierna, C. & Gil Quirós, V. (2006). Últimas tendencias en pulverizadores, atomizadores y nebulizadores. *Vida Rural*, (225), 53-56.