

IIINTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN SEGURIDAD LABORAL E HIGIENE AMBIENTAL
UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMAS DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO EN SALUD OCUPACIONAL CON ÉNFASIS EN HIGIENE AMBIENTAL

**VALIDACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ACELEROMETRÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE
POSTURAS DE TRABAJO Y LA MEDICIÓN DEL RITMO CARDIACO PARA LA
ESTIMACIÓN DE LA TASA METABÓLICA, PARA LA TAREA DE CORTA DE CAÑA
EN EL SALVADOR**

SUSTENTANTE
ESTEBAN ARIAS MONGE
HEREDIA, NOVIEMBRE 2015

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado en Salud Ocupacional con énfasis en Higiene Ambiental para optar al grado de Magíster Scientiae.

**VALIDACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ACELEROMETRÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE
POSTURAS DE TRABAJO Y LA MEDICIÓN DEL RITMO CARDIACO PARA LA
ESTIMACIÓN DE LA TASA METABÓLICA, PARA LA TAREA DE CORTA DE CAÑA
EN EL SALVADOR**

SUSTENTANTE
ESTEBAN ARIAS MONGE

Tesis presentada para optar al grado de Magíster Scientiae en Salud Ocupacional con
énfasis en Higiene Ambiental. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de
Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

Heredia. Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador

.....
M.Sc. María Antonieta Corrales Araya,
Representante Consejo Central de Posgrado

PhD. Jennifer Crowe,
Tutora

M. Eng. Andrés Robles Ramírez,
Asesor

PhD. Kristina Jakobsson,
Asesora

PhD. Theo Bodín,
Asesor

.....
Esteban Arias Monge, sustentante

1. Resumen

En América Central, el corte manual de la caña es un trabajo extenuante reconocido por una alta carga metabólica y asociado con múltiples riesgos ocupacionales incluyendo picaduras de insectos, mordeduras de serpientes, inhalación de material particulado, exposición a plaguicidas, violencia física y lesiones de ojo, determinado, entre otras razones por movimientos corporales bruscos y repetitivos, el intenso ritmo de trabajo y el esfuerzo físico extremo.

El objetivo principal de la presente investigación es evaluar la factibilidad de uso de las metodologías de acelerómetros para posturas de extremidades superiores y el cálculo de la tasa metabólica a partir del ritmo cardiaco para la evaluación de la corta manual de caña durante la fase piloto del Programa “Salud y Eficiencia del Trabajador” (“Programa WE” por sus iniciales en inglés) WE en El Salvador. Esto se realizó mediante 1) la descripción de condiciones laborales que podrían tener relevancia en el uso de las metodologías de evaluación o en diseño de experimentos en cortadores de caña durante el Programa WE; 2) el análisis del uso de acelerómetros para la determinar posturas de las extremidades superiores de trabajo de los cortadores de caña y 3) la evaluación de una metodología de determinación de tasa metabólica a partir de la medición del ritmo cardiaco.

El Programa WE, incluye, entre otros componentes: el suministro de agua mediante la utilización de mochilas contenedoras de agua, la programación de descansos bajo sombra en la jornada laboral, alimentación supervisada (almuerzo) y sustitución de la técnica de corte de caña por una metodología de corte utilizada en Australia.

Durante los días de toma de datos en campo, se observaron las condiciones de trabajo, se evaluaron las posturas de trabajo de las extremidades superiores de los cortadores de caña mediante acelerómetros. El ritmo cardiaco se midió con el uso de pulsímetros Polar y estos datos fueron utilizados para la estimación de la tasa metabólica.

Se observó un total de 52 personas, de las cuales 12 fueron evaluados para posturas de trabajo y 8 formaron parte de la muestra de posturas junto con 42 otros trabajadores. Se realizó una descripción de condiciones de trabajo incluyendo vestimenta, calzado, equipo de protección personal, transporte, descansos, agua, y terreno entre otros. Dado la alta pérdida de datos de los acelerómetros, el análisis de los datos para la determinación de valores para las posturas de trabajo no fue posible. Sin embargo, se reporta los datos obtenidos para guiar las próximas etapas del proyecto.

Según los datos obtenidos, los factores personales (ejemplos: estado físico, productividad) o ambientales (ejemplos: tipo de terreno, parámetros de crecimiento de la caña, altas temperaturas) podrían estar afectando la tasa metabólica de los trabajadores, posiblemente explicando o produciendo variaciones considerables en las tasas metabólicas de una tarea homogénea como lo es la corta de caña.

La descripción cualitativa de las condiciones de trabajo fue insuficiente para la construcción de indicadores de exposición. La utilización de la medición del ritmo cardiaco para la estimación de la tasa metabólica de la tarea de corta de caña parece ser una técnica

apropiada dado las condiciones de trabajo. Finalmente, se recomienda cambios específicos para el diseño experimental y el protocolo de toma de datos para la estimación de posturas de trabajo utilizando la metodología de la acelerometría.

2. Abstract

In Central America, manual sugarcane cutting is exhausting work known to have a high metabolic load and to be associated with many occupational hazards including insect bites, snake bites, inhalation of particulate matter, pesticide exposure, physical violence and eye injuries resulting from a number of factors including sudden and repetitive body movements, intense work pace and extreme physical exertion.

The main objective of this research was to evaluate the feasibility of accelerometer methodologies for upper limb postures and the calculation of metabolic rate from heartrate as an assessment of manual cane cutting during the pilot phase of the “Worker Health and Efficiency” (WE) program in El Salvador. This was done through 1) a description of relevant working conditions for the use of assessment methodologies or designing experiments in cane cutters during the WE program; 2) analysis of accelerometers to determine positions of the upper extremity work of cane cutters and 3) evaluation of a methodology for determining metabolic rate from the heart rate measurement.

The WE Program includes, among other components: water supply through use of water “backpacks”, programed breaks in the shade during the shift, supervised food (lunch) and replacing the cutting technique with a methodology used in Australia.

A total of 52 people were observed, of which 12 were evaluated for working postures. Of these, 8 were part of the posture sample together with 42 other workers. A description of working conditions included clothing, footwear, personal protective equipment, transport, rest, water, and land conditions. Given the high loss of accelerometer data, it was not possible to complete the analysis of postures. However, the data obtained is reported to guide the next steps of the project.

According to data obtained, personal factors (examples: fitness, productivity) or environmental (examples: soil type, growth parameters cane, high temperature) may be affecting the metabolic rate of workers, possibly explaining or producing considerable variation in metabolic rates in the task of cutting sugarcane.

The qualitative description of working conditions was insufficient to create exposure indicators. Heartrate measurements taken with pulsometers for estimating metabolic rate may be an appropriate technique given the working conditions. Finally, specific changes are recommended for experimental design and data collection protocol for the estimation of working postures using the accelerometer methodology.

3. Agradecimientos

La Isla Foundation, desarrolladores del Programa WE en El Salvador
Ramón García-Tarabanino, investigador Programa WE
Jennifer Crowe, investigadora Universidad Nacional de Costa Rica, supervisora de tesis
Andrés Robles Ramírez, director e investigador de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Tecnológico de Costa Rica, asesor de tesis
Sandra Pereza, profesora e investigadora de la Universidad de El Salvador, coordinadora SALTRA El Salvador
Kristina Jakobsson, profesora e investigadora de la Universidad de Lund y Universidad de Gotéborg, Suecia, asesora de tesis
Theo Bodín, Instituto de Medicina Ambiental del Instituto Karolinska, Suecia, asesor de tesis
Rebekah A.I. Lucas, Escuela del Deporte, Ejercicio y Rehabilitación, Universidad de Birmingham
Camilla Dahlqvist, investigadora de la Universidad de Lund
Mikael Forsman, Instituto de Medicina Ambiental del Instituto Karolinska
Emmanuel Jarquín, coordinador de trabajo en campo Programa WE en El Salvador
Domingo, caporal cortadores de caña participantes en el Programa WE en El Salvador
Trabajadores cortadores de caña participantes del Programa WE en El Salvador

4. Índice	
1. Resumen.....	IV
2. Abstract.....	VI
3. Agradecimientos	VII
4. Índice	VIII
5. Índice cuadros.....	IX
6. Índice figuras.....	X
7. Introducción.....	11
8. Planteamiento del Problema y Justificación.....	12
9. Objetivos:	13
General:.....	13
Específicos:	13
10. Metodología	13
10.1. Programa WE.....	13
10.2. Población y lugar del estudio	15
10.3. Condiciones Laborales.....	17
10.4. Posturas de Trabajo (Acelerometrías).....	20
10.5. Carga Metabólica.....	22
11. Resultados	23
11.1. Condiciones de Trabajo.....	23
11.2. Posturas de Trabajo (Acelerometrías).....	29
11.3. Carga Metabólica.....	30
12. Discusión.....	32
12.1. Condiciones de Trabajo.....	32
12.2. Posturas de Trabajo (Acelerometrías).....	33
12.3. Carga Metabólica.....	34
13. Conclusiones.....	36
14. Recomendaciones.....	36
14.1. Condiciones de trabajo.....	36
14.2. Posturas de trabajo (Acelerometrías).....	37
14.3. Carga metabólica.....	38
15. Bibliografía.....	40
16. Apéndices.....	44

5. Índice cuadros

Cuadro 1. Datos generales de los trabajadores evaluados por variable de estudio	17
Cuadro 2. Condiciones de trabajo estudiadas	19
Cuadro 3. Condiciones de trabajo pre y pos intervención	23
Cuadro 4. Tiempos de trabajo y descanso diseñados por el Programa WE	28
Cuadro 5. Parámetros de la tarea de corta de cañas medidas y calculadas.....	30
Cuadro 6. Estado de las mediciones de posturas de trabajo realizadas con acelerómetros	44

6. Índice figuras

Figura 1. Componentes principales del Programa WE y de la investigación	14
Figura 2. Proceso de recolección de datos del proyecto	16
Figura 3. Diagrama del proceso de aceptación y control de calidad de los datos	20
Figura 4. Partes del cuerpo donde se colocan los acelerómetros.....	21
Figura 5. Proceso colocación pulsímetro.....	22
Figura 6. Fotografías de la vestimenta, calzado y equipo de protección personal utilizado por los trabajadores	26
Figura 7. Fotografías de las condiciones de los descansos de trabajo	27
Figura 8. Fotografía de los tipos de machetes utilizados pre (izquierda) y pos (derecha) intervención	28
Figura 9. Estado de los datos por segmento del cuerpo pre y pos intervención.....	29
Figura 10. Dispersión del ritmo cardiaco por edad de 50 trabajadores durante la jornada de corta de caña.....	30
Figura 11. Dispersión de la tasa metabólica de la jornada corta de caña de 50 trabajadores según la categoría de la tasa metabólica establecida por ISO.....	31
Figura 12. Tasa metabólica según rango de edad 50 sujetos para la tarea de corta de caña	32
Figura 13. Diagrama del proceso de toma de datos y verificación de la calidad propuesto	46

7. Introducción

La agricultura ha sido reconocida como uno de los sectores más peligrosos para trabajar (Meyers, y otros, 2004; Hagel, Pahwa, Dosman, & Pickett, 2013) y los riesgos de origen musculoesqueléticos se encuentran entre los principales problemas que afrontan los trabajadores de la agricultura intensiva (Fathallah, 2010; Frank, McKnight, Kirkhorn, & Gunderson, 2004; Neitzel, Krenz, & de Castro, 2014; Xiao, McCurdy, Stoecklin-Marois, Li, & Schenker, 2013), los cuales podrían estar relacionadas con malas posturas de los hombros, las muñecas, el cuello, la espalda baja y las rodillas (Kotowski, Davis, Kim, & Lee, 2014) y podrían llegar a causar dolor de espalda baja, discos lumbares herniados, tendinitis del manguito de rotador, tendinitis de la muñeca, síndrome del túnel carpiano y la artritis en las rodillas (Kirkhorn, Earle-Richardson, & Banks, 2010).

A nivel mundial, el 80% del azúcar producido proviene de la caña de azúcar, de la cual el 10% es generado en América Central (Sugar Nutrition Researching the Science of Sugar, 2011). En América Central, el corte manual de la caña es un trabajo extenuante, reconocido por la demanda de una alta carga metabólica (Crowe, y otros, 2013) y asociado con múltiples riesgos ocupacionales incluyendo picaduras de insectos, mordeduras de serpientes, inhalación de material particulado, exposición a plaguicidas, violencia física y lesiones de ojo, determinado, entre otras razones por: movimientos corporales bruscos y repetitivos, el intenso ritmo de trabajo y el esfuerzo físico extremo (Rossi, Palucci, & Hong, 2010).

En el área de la ergonomía, existen diferentes metodologías de evaluación, las cuales según el grado creciente de precisión se clasifican en: autoevaluaciones, métodos observacionales y mediciones directas (David, 2005). Las autoevaluaciones tienen uso limitado y los resultados deben ser interpretados y validados por profesionales, con las herramientas de observación (Ej. OWAS, RULA, REBA entre otras). Los resultados de estas autoevaluaciones se definen típicamente como índices de riesgo y son ampliamente usadas, sin embargo dependen mucho del evaluador así como el sistema de puntuación, mientras las metodologías de simulación computacional son muy poco utilizadas dado su alto costo y la dificultad para adaptarlas a la mayoría de ambientes laborales reales (Battini, Persona, & Sgarbossa, 2014).

Las metodologías de mediciones directas y los estudios de los patrones de movimiento del cuerpo se han basado tradicionalmente en las mediciones de la distancia recorrida y datos como los obtenidos de podómetros; no obstante, la incorporación de instrumentos de medición como la de los acelerómetros triaxiales, permite el establecimiento de los valores de las aceleraciones en los tres ejes del cuerpo, capturando así una gama más amplia de movimientos del cuerpo, según la parte que se desee evaluar (Shephard & Aoyagi, 2012).

En el campo de la salud ocupacional, los acelerómetros han sido utilizados entre otras cosas, para medir: posturas de brazos y parte alta de la espalda (Trask, Mathiassen,

Jackson, & Wahlström, 2013), sedentarismo (Parry & Straker, 2013), carga de trabajo (Straker, Abbott, Heiden, Mathiassen, & Toomingas, 2013), posturas relacionadas a estar sentado y estar de pie (Toomingas, Forsman, Mathiassen, Heiden, & Nilsson, 2012), posturas corporales (Ellegast, y otros, 2012), postura del tronco (Wong, Lee, & Yeung, 2009), ángulos de inclinación del tronco (flexión y extensión) (Afshari, Motamedzade, Salehi, & Soltanian, 2014), elevación del brazo (flexión, extensión e inclinación) (Mathiassen, Wahlström, & Forsman, 2012; Wahlström, y otros, 2010) y ángulos corporales (Mork & Westgaard, 2012).

La Organización Internacional de Estandarización (ISO), ha normado ocho métodos para la determinación de la tasa metabólica, los cuales se encuentran divididos en cuatro niveles de precisión. Los métodos utilizados en los dos primeros niveles se basan en la clasificación de acuerdo con una ocupación o tipo de actividad física, el tercer nivel se basa en mediciones del ritmo cardiaco y en el cuarto nivel se encuentra la medida del consumo de oxígeno (VO₂), la cual se considera la más exacta (ISO-8996, 2004). Los dispositivos portátiles para medir el consumo de oxígeno son caros e invasivos; mientras que la medición del ritmo cardiaco es más sencillo y barato, como parámetro para la estimación de la tasa metabólica en ambientes laborales (Balderrama, Ibarra, De La Riva, & López, 2010).

8. Planteamiento del Problema y Justificación

Existe una epidemia de la enfermedad renal crónica de causas no tradicionales (ERCnT), en la costa Pacífica a lo largo de Mesoamérica, que se manifiesta principalmente en hombres jóvenes quienes laboran en trabajos extenuantes y quienes no manifiestan factores de riesgo tradicionales como la hipertensión, obesidad o diabetes (Wesseling, y otros, 2013). La población más afectada son cortadores de caña de azúcar y aunque la etiología de la enfermedad aún no es clara, es probable que la exposición al calor y la deshidratación crónica jueguen un papel importante en su desarrollo (Correa-Rotter, Wesseling, & Johnson, 2014; Orduñez, Martínez-Piedra, Chapman, & Reveiz, 2014).

Esta investigación conforma parte de los insumos de la fase piloto del programa “Salud y Eficiencia del Trabajador” (“WE Program” por sus iniciales en inglés) financiado por Dutch National Post Code Lottery, Solidaridad y administrado por La Isla Foundation en El Salvador. El programa pretende implementar y evaluar una intervención para reducir riesgo a la ERCnT y mejorar de las condiciones de trabajo, que están en estudio a nivel global, como posibles factores de riesgo relacionados con la enfermedad (La Isla Foundation, 2014). Aunque existe consenso que es necesario mejorar las condiciones de trabajo para los cortadores de caña de azúcar a lo largo de Mesoamérica (Wesseling, y otros, 2013; García-Trabanino, y otros, 2015), existe un vacío de información sobre las condiciones actuales y sobre metodologías prácticas y factibles para uso en el campo con esta población.

9. Objetivos:

General:

Evaluar el uso de las metodologías de acelerometrías para posturas de extremidades superiores y el cálculo de la tasa metabólica a partir del ritmo cardiaco para la evaluación de la corta manual de caña durante la fase piloto del programa WE en El Salvador.

Específicos:

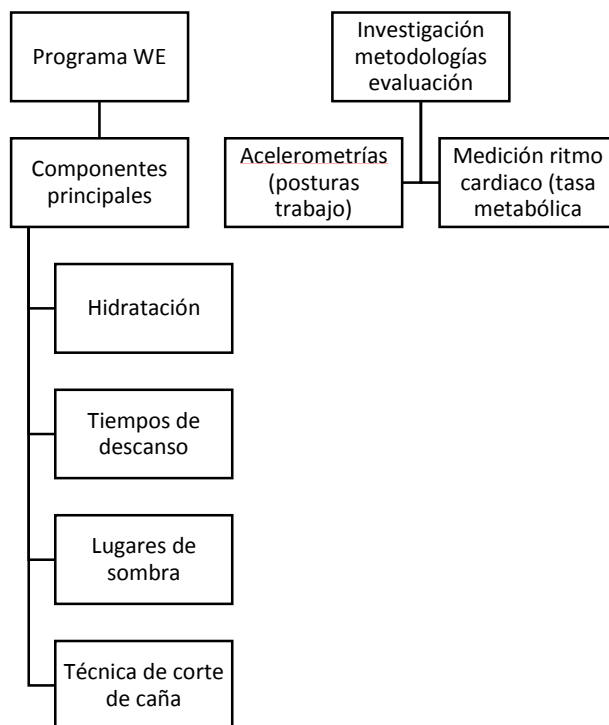
- Describir condiciones laborales que podrían tener relevancia en el uso de las metodologías de evaluación o en el diseño de experimentos en cortadores de caña durante el Programa WE.
- Analizar el uso de acelerómetros para la determinar posturas de las extremidades superiores de trabajo de los cortadores de caña participantes en el Programa WE.
- Probar la metodología propuesta para la determinación de tasa metabólica a partir de la medición del ritmo cardiaco de los cortadores de caña participantes en el Programa WE.

10. Metodología

10.1. Programa WE

El Programa WE, incluye, entre otros componentes: el suministro de agua por medio de utilización de mochilas contenedoras de agua, la programación de descansos bajo sombra en la jornada laboral, alimentación supervisada (almuerzo) y sustitución de la técnica de corte de caña por una metodología de corte utilizada en el Australia (La Isla Foundation, 2014) (Figura 1).

Figura 1. Componentes principales del Programa WE y de la investigación



Previo a la intervención los trabajadores ya utilizaban un machete diferente al típico machete que se utiliza en Centroamérica para cortar caña. El que utilizaban es curvado en forma de L. Después de la intervención de corte de caña, se les cambió el machete por uno también curvado en forma de L, pero más liviano que el anterior, con el cual se corta solamente con la curva del mismo en vez de la totalidad de la orilla como lo hacían con el machete original. Con los machetes nuevos, los trabajadores pueden cortar más cerca del suelo, con lo cual aumenta el área de corte que se ve reflejado en posiciones especiales de trabajo.

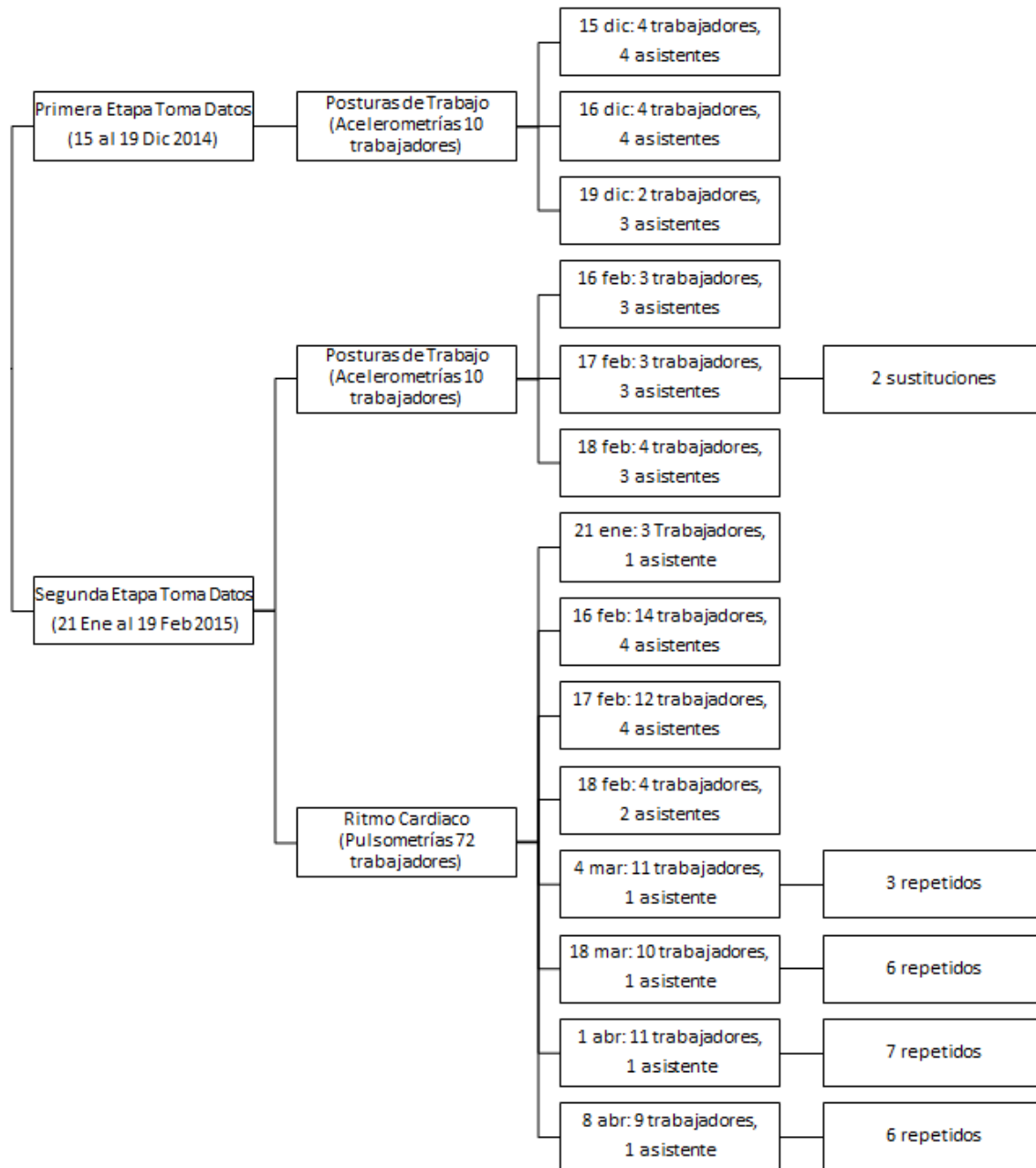
Como parte de los proyectos paralelos que acompañaban y apoyaban el programa WE, se encontraba la presente investigación, la cual pretendía poner a prueba metodologías que fueran capaces de dar seguimiento a las posturas de trabajo y ritmo cardiaco que presentaban los trabajadores durante la tarea de corta de caña en las condiciones establecidas por el programa WE (figura1).

El Programa WE, inició su fase piloto en la cosecha del 2014 y se extenderá hasta la del 2017. El presente estudio es parte de dicha fase y se desarrolló por medio de dos etapas de toma de datos.

10.2. Población y lugar del estudio

Generalmente el corte de caña se realiza en grupos de trabajo, los cuales se desplazan por las fincas productoras. En este estudio, participó un grupo cortadores pertenecientes a una empresa que brinda el servicio de corte de caña. Aunque existen excepciones, por lo general los trabajadores de cada grupo de trabajo se mantienen constantes durante el transcurso de la cosecha (“zafra”). Los grupos de trabajo están liderados por un jefe de cuadrilla (“caporal”).El grupo participante, estaba formado por 60 trabajadores aproximadamente. Se incluyó en el estudio todos los trabajadores hombres que manifestaron estar anuentes a participar en la capacitación de sustitución del método de corte de caña, que trabajaran la zafra completa y que dieron su consentimiento para participar en la investigación y en el Programa WE.

Figura 2. Proceso de recolección de datos del proyecto



Todos los trabajadores participantes fueron hombres que estuvieron de acuerdo en formar parte de la presente investigación. Todos ellos firmaron un consentimiento informado para participar en el estudio, de acuerdo con la Declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el Comité Nacional de Ética de Investigación Clínica del Consejo Superior de Salud Pública, El Salvador.

Las visitas se coordinaron de manera previa con el caporal. Los datos fueron tomados durante dos periodos de visitas al campo: la inicial del 15 al 19 de diciembre del 2014 y la segunda del 21 de enero al 08 de abril (concentrándose la mayoría de observaciones del 16 al 19 de febrero) del 2015 (Figura 2). Colaboraron 4 personas para la toma de datos en campo y cada uno se encargó de observar un trabajador por día para la carga postural y de cuatro a diez trabajadores para la medición del ritmo cardiaco. El tiempo de medición dependió de la jornada de trabajo: en el caso de acelerometrías, se muestreó máximo seis horas de trabajo (por capacidad de almacenamiento de los equipos) y para el ritmo cardiaco el final de la medición dependía de la jornada de trabajo del trabajador participante.

Para seleccionar los participantes de la investigación de posturas y ritmo cardiaco se solicitó ayuda del caporal, el cual consultó a trabajadores que habían participado en la fase piloto WE, la anuencia a participar en las mediciones de las posturas de trabajo y el ritmo cardiaco. Participaron 12 trabajadores en las mediciones de posturas de trabajo y 72 trabajadores participaron en las mediciones de ritmo cardiaco (de los cuales 9 también colaboraron con las mediciones de posturas de trabajo); de estos 72, 22 fueron evaluados 2 veces para un total de 94 mediciones, sin embargo para el análisis de los datos se utilizaron 72 mediciones de ritmo cardiaco, ya que se excluyeron la segunda medición de los 22 trabajadores evaluados dos veces. La totalidad de los participantes en este estudio (n=75) contaban con edades que se encontraban entre los 19 y los 65 años con un promedio 34 años de edad (ver cuadro 1).

De los hombres participantes, ninguno solicitó salir del estudio o no estuvo de acuerdo con participar de algunas de las evaluaciones.

Cuadro 1. Datos generales de los trabajadores evaluados por variable de estudio

Variable	Número de Trabajadores (n)	Rango de Edades (años)	Promedio Edad (años)	Género
Posturas de trabajo	12	19-63	34	Hombres
Ritmo Cardiaco	72	16-63	34	Hombres

Dos trabajadores fueron sustituidos por trabajadores seleccionados de la misma manera que los iniciales al momento de la segunda etapa de recolección de datos, ya que los trabajadores no estaban presentes durante las visita de campo, posiblemente por que cambiaron de trabajo o se encontraban atendiendo sus propias parcelas de cultivo.

10.3. Condiciones Laborales

Durante los días de toma de datos en campo, se observaron las condiciones de trabajo señaladas en el cuadro 2. La información de dichos parámetros se obtuvo a través de observaciones no participativas, registro fotográfico (con consentimiento de los

trabajadores) y entrevistas no estructuradas durante los tiempos de descanso de los trabajadores.

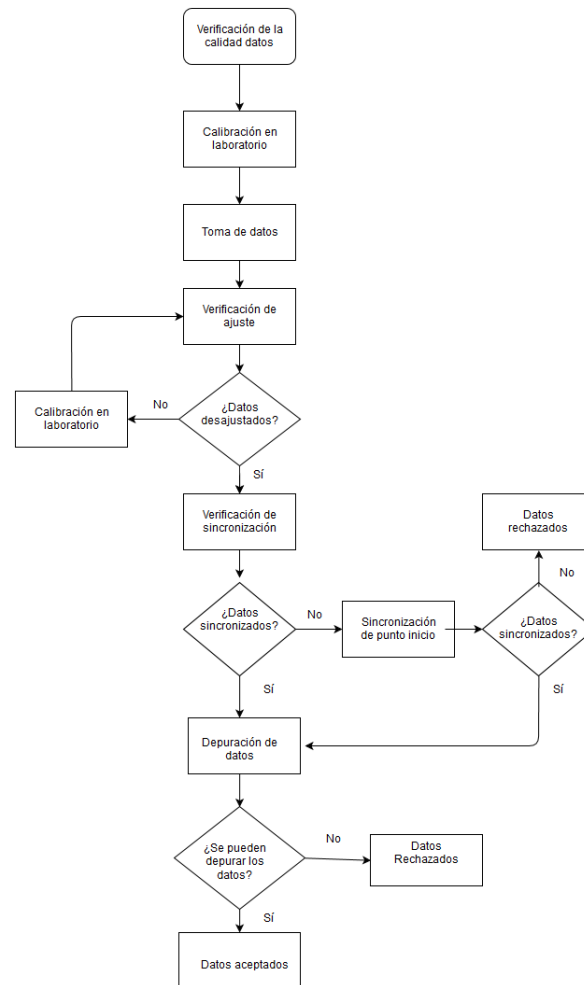
Cuadro 2. Condiciones de trabajo estudiadas

Condición de trabajo	Tipo de información	Fuente información
Vestimenta	Descripción de las prendas que utilizaba el trabajador mientras laboraba	Observaciones no participativas Registro fotográfico
Calzado	Tipo de calzado utilizado	Observaciones no participativas Registro fotográfico
Equipo de protección personal	Descripción de los elementos que se consideran equipo de protección personal	Observaciones no participativas Registro fotográfico Entrevista no estructurada con trabajadores
Transporte	Forma de transporte suministrado	Entrevista no estructurada con trabajadores
Horario de trabajo	Organización del horario de trabajo	Observaciones no participativas Entrevista no estructurada con trabajadores
Tiempos de descanso	Periodos y parámetros de descanso de los trabajadores	Observaciones no participativas Entrevista no estructurada con trabajadores
Lugar de trabajo	Tipo de lugar donde los trabajadores tomen descanso	Observaciones no participativas Registro fotográfico
Consumo de agua	Forma de consumo de agua y periodos de hidratación	Observaciones no participativas
Instalaciones sanitarias	Acceso a servicios sanitarios y agua para limpieza	Observaciones no participativas
Almuerzo	Tipo de alimentos	Observaciones no participativas
Machetes	Tipos de las herramientas de trabajo	Observaciones no participativas Conversación con trabajadores
Paga	Tipo de remuneración económica	Entrevista no estructurada con trabajadores Conversación con trabajadores
Terreno	Condiciones de terreno	Observaciones no participativas

10.4. Posturas de Trabajo (Acelerometrías)

Para la evaluación de posturas de trabajo, se propuso el uso de acelerómetros, dada su capacidad de valorar las posturas de las extremidades superiores de los cortadores de caña. Se utilizaron acelerómetros X-16-mini fabricado por Gulf Coast Data Concepts, los cuales miden 2.0x1.0x0.5 pulgadas y pesan 0,6 oz, (Gulf Coast Data Concepts, 2014) y un programa informático desarrollado por la División de Medicina Ocupacional y Ambiental de la Universidad de Lund (Hansson, Asterland , Holmer , & Skerfving , 2001; Hansson , y otros, 2006).

Figura 3. Diagrama del proceso de aceptación y control de calidad de los datos



Fuente: Dahlqvist (2014)

Como se indica en la Figura 3, para la toma de datos a partir de la utilización de acelerómetros se debe seguir un procedimiento de verificación de aceptación y calidad de los datos a tomar. Previo a las mediciones, los acelerómetros deben ser calibrados y después de la toma de datos se debe verificar que el ajuste por calibración sea el correcto. Antes de la toma de datos en campo, se deben sincronizar todos los acelerómetros antes

de utilizarlos, el paso consiste en poner sobre una superficie plana todos los acelerómetros encendidos y con la palma de la mano mover hacia adelante y .atrás todos juntos, al realizar este paso se facilita el proceso de limpieza de los datos el ajuste como la sincronización se verifican y se pueden realizar por medio de programas computacionales, posterior a la toma de datos.

Los acelerómetros tienen una ranura de USB, la cual fue protegida con cinta adhesiva de pvc resistente al agua, previo a la colocación del equipo en el cuerpo de los participantes en los puntos señalados en la Figura 4: la frente, a la derecha de la columna vertebral al cérvico-torácico al nivel de la Cervical 7-T1, parte superior de ambos brazos y en la parte superior del muslo de la pierna derecha. Los datos del brazo izquierdo se utiliza como datos de revisión para el brazo derecho y el dato del acelerómetro de la pierna se almacena para futuros análisis (no ergonómicos) Todos fueron colocados utilizando cinta adhesiva micro poroso.

Figura 4. Partes del cuerpo donde se colocan los acelerómetros



Según el protocolo de medición establecido por Hansson (2006), la posición de referencia para la frente, la espalda y pierna derecha (0° flexión/extensión y 0° flexión lateral) se estableció con el trabajador puesto de pie, con los dos brazos en posición relajado a los lados del cuerpo y mirando a un punto fijo al nivel de los ojos. La dirección para la cabeza, cuello y pierna, se definió con el trabajador sentado en una silla, con los brazos sobre las piernas y la cabeza apoyada a los brazos mirando hacia el suelo. Para la posición de referencia (0° elevación) se colocó el trabajador apoyado de lado a la silla con el antebrazo sobre el respaldo de la silla y el brazo colgando de forma perpendicular sosteniendo un peso aproximado de 1,5 kg. Para establecer la dirección de los brazos, el trabajador levantó ambos brazos a la altura de los hombros, con un ángulo de 45° de la línea media del cuerpo.

La colocación y ajuste del equipo se realizó en campo previo al inicio de la jornada laboral. Se monitoreó a los trabajadores durante todo la jornada de trabajo a una distancia de al menos 50 metros, con el fin de evaluar las posturas correspondientes a los periodos de corta de caña y anotar los momentos de descanso y alimentación, ya que para el correcto análisis de los datos, se debe excluir los periodos que no correspondan a la tarea a estudiar.

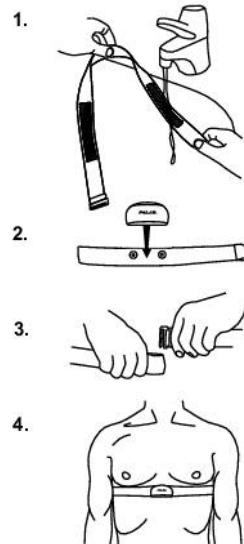
La selección del número de muestras para la determinación de las posturas de trabajo, fue a conveniencia, dado limitantes como tiempo para la recolección de datos, inicio del proceso de intervención del programa WE, disponibilidad de profesionales para realizar las mediciones y principalmente el número de acelerómetros disponibles.

10.5. Carga Metabólica

Como técnica a evaluar para la estimación de la carga metabólica, se utilizó la metodología de conversión de la frecuencia cardiaca a carga metabólica (ISO, 2004). Dicha técnica requiere la definición del peso y edad del trabajador, así como el tiempo de medición.

Para la medición del ritmo cardiaco se utilizaron pulsímetros de la marca POLAR (8 datos con modelo FT4 y 64 datos con modelo RcX3) la banda con el sensor del ritmo cardiaco, fue colocada al trabajador al inicio de la jornada, a la altura del apéndice xifoides (Figura 5).

Figura 5. Proceso colocación pulsímetro



Fuente: Polar.com

Las mediciones del ritmo cardiaco se realizaron en la segunda ronda de toma de datos (Figura 2), por lo cual los trabajadores utilizaron el pulsímetro durante los tiempos de descanso programados durante la jornada y los tiempos de alimentación.

Se midió el ritmo cardiaco en un total de 72 trabajadores: 9 de los 12 trabajadores que participaron en la evaluación de posturas mediante acelerómetros y 63 trabajadores adicionales. De estos 63, 22 fueron evaluados 2 veces en días diferentes, para un total de 94 mediciones.

Se reportó el ritmo cardiaco promedio de los trabajadores, ya que era el parámetro que los equipos disponibles reportaban y se analizó el ritmo cardiaco y el gasto metabólico con la edad de los trabajadores, ya que estos dos parámetros son, en condiciones controladas, dependientes de la edad. Se comparó el ritmo cardiaco y la edad de los trabajadores mediante la prueba correlación Pearson con un nivel de confianza del 95% y la tasa metabólica y la edad de los trabajadores mediante la correlación Pearson con un nivel de confianza del 95% y una prueba de medias Tukey según la agrupación los niveles de tasa metabólica establecidos por ISO (ISO-8996, 2004).

11. Resultados

11.1. Condiciones de Trabajo

Las condiciones laborales fueron observadas durante las dos etapas de toma de datos. Algunas de las condiciones fueron diferentes en las dos etapas, por ejemplo tipos de camisas, tiempos de descanso, lugares de descanso, consumo de agua y tipos de machete fueron directamente relacionados con la intervención del Proyecto WE, mientras otras como el tipo de calzado y tamaño de los terrenos no estaban directamente vinculadas con la intervención.

Cuadro 3. Condiciones de trabajo pre y pos intervención

Condición	15-19 de diciembre (pre-intervención)	16-19 de febrero (pos-intervención)	
Vestimenta	Pantalón largo (mezclilla/ tela gruesa)	Menos trabajadores en pantaloneta	
	Pantalones cortos de telas gruesas		
	Mayoría de algodón abotonadas con camiseta "t-shirt" de algodón abajo (Figura 4 (a))	Dos camisas de manga larga: blanca de algodón o beige de material de rápido secado (Figura 4 (b))	
	Camisa	Algunos con t-shirt debajo de la nueva camisa manga larga	
	Sudaderas	Algodón grueso	Sin cambio
Medias	Gruesas (tipo "fútbol") y muchos con dos pares a la vez	Sin cambio	
Calzado	Tipo "Crocs" (Figura 4 (d))	Plásticos similares a las suelas de los zapatos tenis	Sin cambio

		Diseño es similar a los "suecos"	
		Botas de hule de caña alta (Figura 4 (e)) tenis o sandalias	Menos trabajadores usando tenis o sandalias
	Otros tipos		
Equipo de protección personal	Sombrero	Textil grueso: de ala redonda, gorras y gorros En algunos casos combinado con pañuelos grandes	Sin cambio
	Guantes	Resistentes a cortes, en mano contraria al machete	Sin cambio
	Rodillera	Rejilla metálica en el pie contrario a la mano de machete Figura 4 (c)	Sin cambio
	Transporte	Bus, la salida depende de la lejanía terreno y pueblo La salida del terreno se hace cuando el último trabajador termine	Sin cambio
Horario de trabajo	Inicio	Llegada aproximadamente 6 a.m. Algunos trabajadores inician después de desayunar en el terreno	Sin cambio
	Jornada	El ritmo de corta depende del trabajador y la extensión de la línea de caña asignada	Sin cambio
	Final	Depende de extensión de corta Dada la forma de pago, el trabajador puede solicitar al terminar una línea de caña la asignación de otra	Sin cambio
Tiempos de descanso	Definidos por el trabajador No tienen extensión establecida Aumentan al aumentar el calor	Tiempos de descanso sugeridos (no obligatorios) por el Programa WE (Cuadro 4) El trabajador puede tomar descansos extra	
Lugar de descanso	Sobre la caña, bajo el sol y en algunos caso bajo árboles alejados del terreno de corta Figura 7 (a)	Toldos para el establecimiento de áreas de descanso (Programa WE) (Figura 7 (b)) Los más resistentes de fabricación casera No tienen sillas o bancos Se traslada cerca de las áreas de corta	

Consumo de agua	Procedencia	Agua de sus hogares	Dispensadores en los toldos de descanso
	Recipiente	Botellas plásticas, 2 o 3 botellas plásticas de 2 a 3 litros	CamelBak modelo ThermoBak AUC SFAR CBR, capacidad de 3 litros. Suministrados por programa WE
Instalaciones sanitarias		No hay servicios sanitarios ni fuentes de agua para lavado de manos	Sin cambio
	Origen	Subvencionado por ingenio y elaborado por nutricionista	Sin cambio
Almuerzo	Componentes	Arroz, 3 a 4 tortillas gruesas de harina de maíz, ensalada, una porción de proteína (pollo, cerdo o res) refresco natural y una porción de fruta como postre	Sin cambio
	Adiciones	Trabajadores adicionan de sal a los alimentos	Sin cambio
Machetes	Tipo (Figura 8)	Diferente al típico machete que se utiliza en Centroamérica Curvado en forma de L.	Curvado en forma en L pero más liviano que el anterior y con el cual se corta solamente con la curva del machete
	Determinantes	Según el peso de la caña que corten Tipo de caña (el peso difiere según la especie) Tiempo entre corta y recolección (caña pierde líquido después de cortada)	Sin cambio
Pago	Rebajas	Pago de almuerzo Pago transporte grupal para retirar el salario	Sin cambio
	Tamaño	No hay uniformidad Suelen ser grandes	No hay uniformidad Suelen ser pequeños
Terrenos	Topografía	Variada, generalmente planos	Sin cambio
	Quema	La caña se quema la noche antes Si la quema no se realizó de manera correcta, los trabajadores vuelven a quemar antes de trabajar Se pueden presentar quemaduras en terrenos aledaños mientras se trabaja	Sin cambio

Figura 6. Fotografías de la vestimenta, calzado y equipo de protección personal utilizado por los trabajadores



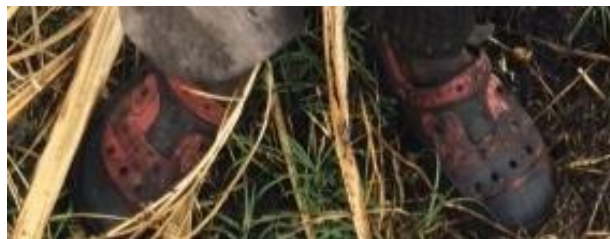
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

- (a) Vestimenta típica pre intervención
- (b) Vestimenta pos intervención, camisetas suministradas por WE
- (c) Equipo de protección contra cortaduras de machete
- (d) Calzado común de trabajo
- (e) Calzado común de trabajo y equipo de protección

Figura 7. Fotografías de las condiciones de los descansos de trabajo



(a)



(b)

- (a) Pre intervención
- (b) Pos intervención (Foto: Theo Bodin)

Figura 8. Fotografía de los tipos de machetes utilizados pre (izquierda) y pos (derecha) intervención



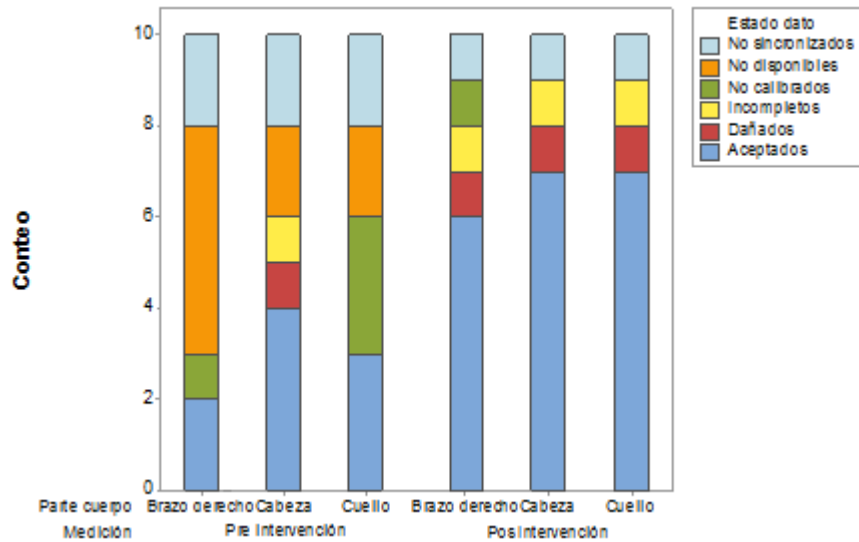
Cuadro 4. Tiempos de trabajo y descanso diseñados por el Programa WE

Hora	Tiempo de trabajo (horas)	Tiempo de descanso (min)
~06:00-08:00 8:00-8:10	1,5-2	10
8:10-9:10 9:10-9:20	1	10
9:20-10:230 10:20-10:35	1	15
10:35-11:35 11:35-11:50	1	15
11:50-12:35 12:35-13:45	0,75	Almuerzo 40-45
13:45-14:45 14:45-15:00	1	15
15:00-16:00 16:00-16:15	1	15
16:15-	Por 1 hora de trabajo, 15 minutos de descanso hasta el final de la jornada	

11.2. Posturas de Trabajo (Acelerometrías)

Se utilizó la acelerometría en 20 trabajadores (10 pre intervención, 10 pos intervención) con 3 acelerómetros para cada participante para un total de 60 datos posibles, de los cuales solamente fueron aceptables: 8 datos para el brazo derecho, 11 datos para la cabeza y 10 para el cuello (Figura 9). Por trabajador se encuentran aceptados (para todos los segmentos del cuerpo) nueve mediciones, dos de la primera ronda de datos y siete de la segunda.

Figura 9. Estado de los datos por segmento del cuerpo pre y pos intervención



La técnica de corte de caña que utilizaban los trabajadores en las mediciones pre y pos intervención eran distintas, lo que imposibilita el análisis en conjunto las 9 mediciones aceptadas ya que el análisis debe realizarse por tarea y la cantidad de mediciones completas pre y pos intervención son insuficientes para un análisis con un error aceptable según el método de análisis de datos (Dahvquist, 2014).

El 29% (n=9) de los errores se deben a los acelerómetros que no fueron sincronizados de manera correcta ante de la toma de los datos, 26% (n=8) de los errores se corresponden a acelerómetros que no grabaron los datos, 16% (n=5) a que al momento del análisis de los datos no se contaba con el archivo de ajuste (calibración) de los acelerómetros, el 13% (n=4) de los datos no fueron aceptados ya que el acelerómetro se dañó, 10% (n=3) correspondieron a acelerómetro que se apagaron durante el muestreo y 6% (n=2) de los errores se deben a que los acelerómetros se cayeron de la parte del cuerpo donde fueron colocados (Apéndice 1).

11.3. Carga Metabólica

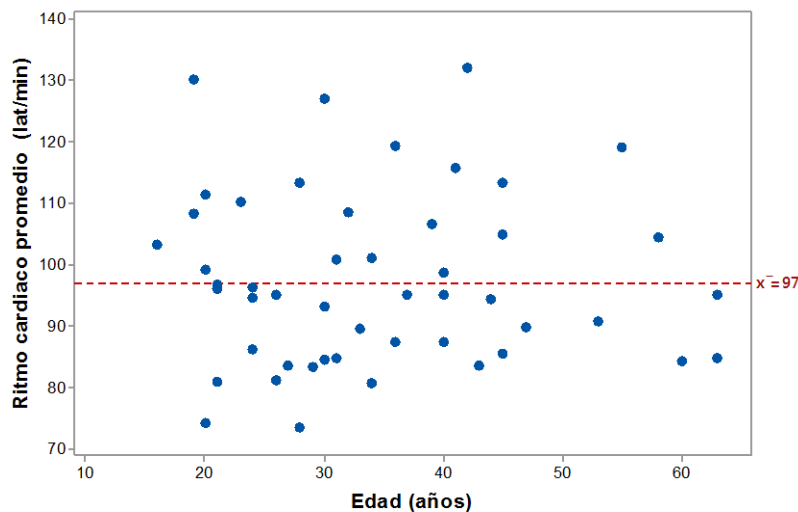
El ritmo cardiaco promedio de la totalidad de la jornada incluyendo los descansos fue de 99 lat/min, con una desviación estándar de 14 lat/min (Cuadro 5 y Figura 10).

Los datos de ritmo cardiaco fueron comparados con la edad de los trabajadores, ya que la edad es uno de los factores que más intervienen en dicho parámetro (ISO, 2004). En cuanto a la dispersión del ritmo cardiaco según la edad del trabajador, utilizando los primeros 50 datos tomados (se excluyó la segunda vez que se muestreó al mismo trabajador para no aumentar el efecto de las condiciones individuales de los trabajadores), se obtuvo que el coeficiente de correlación Pearson tiene un valor de -0,007, por lo cual, se concluyó que no existe una relación entre el ritmo cardiaco promedio y la edad del trabajador en la muestra.

Cuadro 5. Parámetros de la tarea de corta de cañas medidas y calculadas (n=72) (Trabajadores=50)

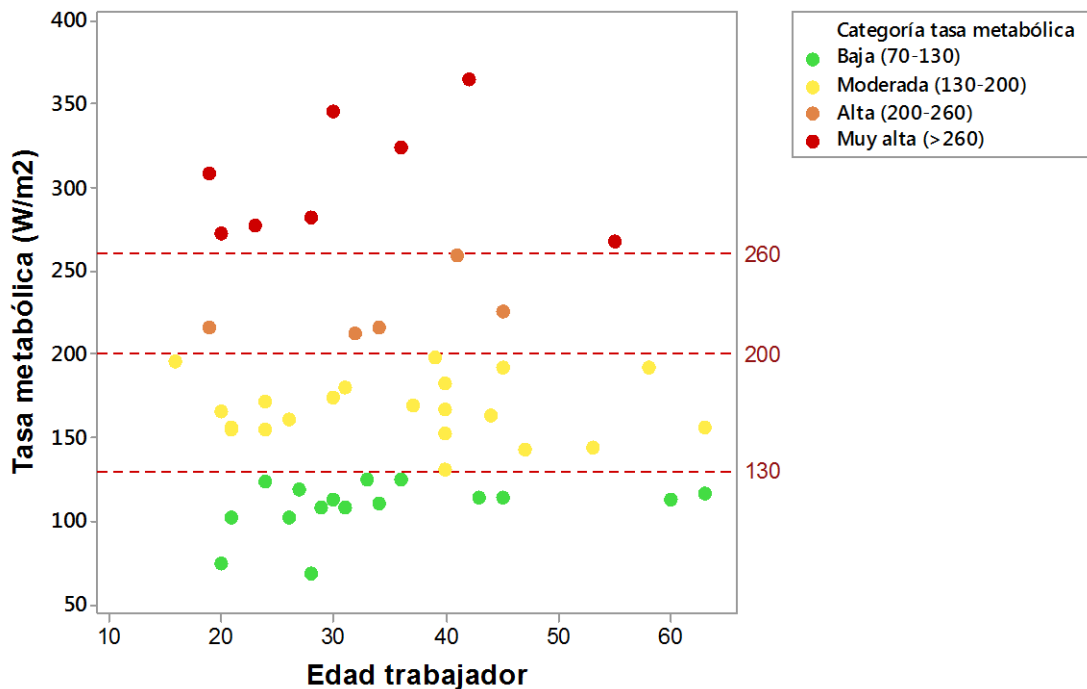
Parámetro	Promedio	Rango	Desviación Estándar
Edad (años)	34	(16-63)	± 12
Ritmo cardiaco promedio durante la jornada (lat/min)	99	(73-134)	± 14
Tasa metabólica promedio calculada (ISO 9886, 2004b) de la frecuencia cardíaca (W/m ²)	184	(68-365)	± 66
Tasa metabólica promedio por hora calculada a partir de la frecuencia cardíaca (kcal/hora)	207	(79-424)	± 77
Consumo metabólico promedio jornada de 8 horas (kcal)	1660	(628-3396)	± 620

Figura 10. Dispersión del ritmo cardiaco por edad de 50 trabajadores durante la jornada de corta de caña



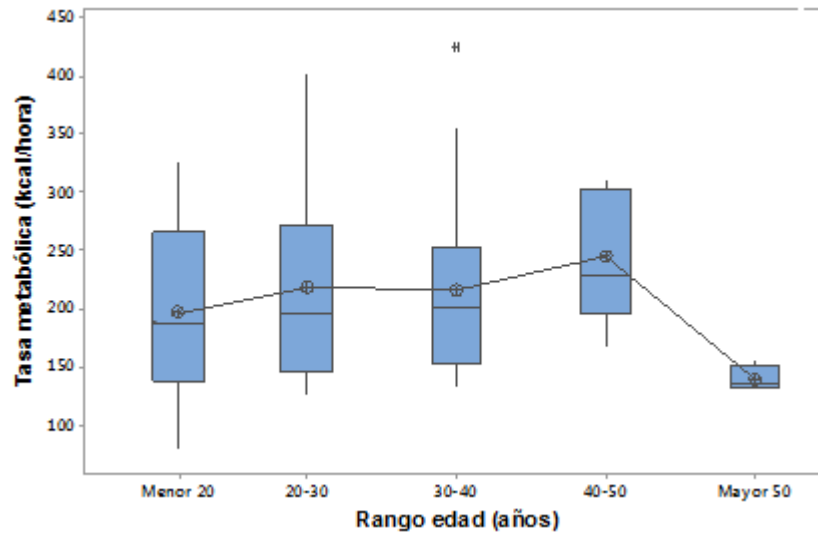
La tasa metabólica calculada según la metodología ISO 9886 fue en promedio de 184 ± 66 W/m² (n=50). Se observa una dispersión alta de los datos ya que se alejan hasta un 98% del promedio. Para analizar más esta dispersión, se comparó el ritmo cardiaco y la edad de los trabajadores. En cuanto a la comparación en conjunto de datos calculados de la tasa metabólica con la edad del trabajador (Figura 11), se obtuvo que el coeficiente de correlación Pearson tiene un valor de -0,034, por lo cual la relación de la tasa metabólica en comparación con la edad tiene una muy leve o inexistente relación.

Figura 11. Dispersión de la tasa metabólica de la jornada corta de caña de 50 trabajadores según la categoría de la tasa metabólica establecida por ISO.



Según la clasificación de carga metabólica definida por ISO (2004) (Figura 11), el 22% de los trabajadores presentan una tasa metabólica baja, 47% moderada, 14% alta y un 17% muy alta, mostrando una variabilidad en las tasas metabólicas asociadas a la tarea de corta de caña en esta población.

Figura 12. Tasa metabólica según rango de edad 50 sujetos para la tarea de corta de caña



Al analizar la influencia de los rangos de edad, siguiendo la agrupación propuesta por ISO para el cálculo de la carga metabólica a partir del ritmo cardiaco (Figura 12). Según la prueba de comparación de medias de Tukey, el Valor $F = 1,34$ para un nivel de significancia de $0,005$, señala que no existe diferencia entre los promedios de tasas metabólicas por rango de edad para ninguno de los grupos estudiados.

12. Discusión

12.1. Condiciones de Trabajo

Los diferentes tipos de vestimenta utilizados por los trabajadores, pre y pos intervención, imposibilitó la medición de un parámetro general de aislamiento térmico de la ropa, ya que los tipos de textiles influyen de diferente forma en el proceso de sudoración (Wang, Wenbin, Weilin, & Hao, 2014). El proceso de sudoración es fundamental para la autorregulación de la temperatura interna (ISO, 1989), la cual tiene un impacto directo en el ritmo cardiaco de los trabajadores (Lundgren, 2014).

En agricultura, el equipo de protección personal que generalmente se utiliza es diseñado para ambientes industriales, por lo cual su usabilidad es limitada en tareas agrícolas (Meirelles, Motta Veiga, & de Castro Moura Duarte, 2012), aunque elementos como los protectores de rodillas que utilizan los cortadores de caña si se vuelve un elemento apropiado para la tarea. Sin embargo, no se conoce si tiene algún impacto en la velocidad de corta (sensación de protección) o en las posturas de trabajo dado su posición en la parte baja de la pierna. En el caso de los guantes para el manejo de la caña, se desconoce el aporte a la pérdida de temperatura del cuerpo, lo cual será importante estimar en el futuro..

Los posibles efectos de los descansos programados son de interés. Estudios demuestran que el implementar periodos de descanso en labores de agricultura (Meyers, Miles, Janowitz, & Fathallah, 2007), se asocia con un descenso de molestias presentadas por los trabajadores y en el caso de estar asociadas con otras técnicas para descender la temperatura del cuerpo humano (Barr, Reilly, & Gregson, 2011), pueden llevar a reducir el impacto musculoesquelético y las altas temperaturas en el cuerpo. En la intervención del Programa WE se incorpora descansos dentro de la jornada de trabajo, los cuales están contemplados para el descenso de la temperatura interna del trabajador, que puede llevar a impactar la tasa metabólica total de la jornada de corta de caña. Según lo señalaba por García-Trabanino et al. (2015), la incorporación de la hidratación y el descanso bajo sombra podría llegar a impactar de forma directa con los efectos o el avance de la enfermedad renal crónica en cortadores de caña expuestos a altas temperaturas y deben medirse de forma cuantitativa en siguientes investigaciones.

El ritmo cardíaco y las posturas de trabajo están relacionados con la intensidad con que se realice la tarea, las condiciones del terreno y el tipo de caña que se corta, entre otros factores. Para lograr una mayor precisión en el análisis de posturas, las variables de organización de trabajo y las condiciones de las plantaciones de caña deben ser cuantificadas.

12.2. Posturas de Trabajo (Acelerometrías)

Dado la alta pérdida de datos de acelerómetros por segmento del cuerpo (cabeza, cuello y brazo derecho) y el reducido número de mediciones completas por trabajador, fue imposible analizar los datos para la determinación de valores para las posturas de trabajo, según la metodología establecida, ya que se necesita un mínimo de 10 datos de trabajadores distintos (y con todas los datos de acelerómetros para las cuatro partes del cuerpo indicados) para poder realizar un análisis con un nivel de confianza aceptable (Dahvquist, 2014).

El procedimiento de verificación de la calidad de los datos no pudo realizarse a cabalidad, lo cual provocó fallas en los datos tomados por los acelerómetros y el mismo en el proceso de toma de datos. Los errores asociados a acelerómetros que se apagaron o no registraron datos, se deben a un incompleto proceso de carga, ya que nuevos necesitan aproximadamente dos horas para estar cargados, y los mismos se cargaban la noche antes de ser utilizados, dificultando la verificación de carga, aunado al hecho que todos los acelerómetros fueron utilizado durante todas las jornadas de toma de datos (dado el número limitado de equipos).

Esta investigación representa la primera vez que estos equipos y técnica son probados en condiciones de campo en el trópico y se espera que los errores detectados sean mejorados para la toma de datos en las fases posteriores del proyecto WE. Por esto, es relevante profundizar en las posibles causas de la alta cantidad de datos no aceptables. Algunas de las fallas presentadas se deben al ingreso de sudor dentro del acelerómetro que causó se apagaran o se dañaran, sin embargo en algunos casos, aunque los datos fueron

descargados no se pueden verificar si los acelerómetros a los que les ingresó sudor presentaban alguna falla que implicó el rechazo del dato.

La sudoración extrema de los trabajadores, combinada con las posturas de trabajo que deben adoptar dadas las condiciones de la tarea de corta de caña y el tipo de cinta utilizada para la colocación de los acelerómetros (recomendado según el método), causó que algunos de los acelerómetros se cayeran o se corrieran del punto donde fueron fijados. Datos de acelerómetros que se corrieran pero no se cayeran no se pueden utilizar, ya que el punto de referencia y dirección del equipo se afecta por el cambio de posición.

Como parte del protocolo de la utilización de los acelerómetros, una vez definidos los acelerómetros a colocar al trabajador, estos deben ser sincronizados a través de un movimiento de todos los equipos a la vez. Dicho procedimiento no se realizó en algunos casos y en otros no se realizó de forma correcta, ya que no se contaban con las condiciones mínimas básicas (mesa de trabajo o superficie plana estable) y solo un investigador se encargó de la colocación del equipo, previo al inicio de la jornada de trabajo y los trabajadores contaban con poco tiempo para la colocación del equipo ya que su paga está supeditada a la corta diaria del caña.

Luego de encontrar el problema con la sincronización, se intentó realizar una sincronización posterior a la toma de datos utilizando el programa desarrollado por Mikael Forman (Forman, 2015), sin embargo este proceso no se pudo realizar para todos los casos, ya que se detectaron más de un error que fue posible mejorar.

Finalmente, aunque la calibración de los equipos se realizó según las indicaciones del método (Dahlqvist, 2014), en algunos casos el archivo de calibración no se descargó del equipo antes de su utilización, lo cual provocó que para aquellos acelerómetros que se dañaron durante los periodos de muestreo se imposibilitara el uso de los datos tomados previos al fallo ya que no se pudieron utilizar los parámetros de calibración almacenados dentro del equipo.

La disminución de datos fallidos entre la primera y segunda ronda de toma de datos se debe a mayor pericia para el manejo de las condiciones de colocación de los equipos, la identificación y desuso de acelerómetros dañados, así como el respaldo de los valores de calibración de los equipos previo a las mediciones de la segunda ronda de toma de datos.

12.3. Carga Metabólica

Los resultados de esta investigación mostraron una dispersión grande del ritmo cardiaco y la tasa metabólica, lo cual debe ser considerado en el diseño de las siguientes fases de toma de datos del Proyecto WE. Ya que, por ejemplo, el ritmo cardiaco no solo depende de la demanda del ejercicio que se realice, sino que se ve influenciado por la edad, peso, altura, consumo de medicamentos, estado de salud, temperatura del aire (American Heart Association, 2015), entrenamiento en la realización de la tarea, nutrición, factores psicológicos, actividad muscular (Lundgren, 2014).

En esta investigación, los trabajadores con edades similares o iguales presentan tasas metabólicas distintas, lo cual podría estar relacionado con aspectos individuales como la altura, el peso, genética y factores como la dieta, hábitos voluntarios y la actividad física (McCargar, 1996). Características relacionadas con la tarea, como lo son: el ritmo de corta, la energía necesaria para levantar y usar el machete y posturas de trabajo según la altura del sujeto y las proporciones de las extremidades, también podrían estar influenciando la tasa metabólica de los trabajadores.

Basándose en los valores de tasa metabólica a partir de la medición del ritmo cardiaco, se obtuvo un valor promedio para la tarea de 184 W/m^2 , el cual según ISO (2004) se puede considerar como metabolismo alto. Esto apoya la conclusión llegada por Crowe et al (2013), sin embargo el valor estimado fue de 261 W/m^2 a partir de una metodología de observación asociada a un error del 20% y la metodología a partir de ritmo cardiaco cuenta con un error del 10% (ISO, 2004).

Aunque ambos valores son consideradas como tasas metabólicas moderadas, los mismos difieren en 77 W/m^2 ; el primer dato debe ser considerado como el esfuerzo máximo que se puede realizar al cortar caña y el segundo es el promedio de esfuerzo que se realiza durante la jornada de corta de caña con descansos programados. Es importante tomar en cuenta que los métodos de corta de caña, horarios de trabajo y ritmo de trabajo no fueron iguales en las dos poblaciones de estudio.

La Organización Mundial de la Salud, define como “intensidad media” aquellas actividades que requieren un gasto metabólica de 210 a 420 kcal/hora y vigorosas aquellas que superan los 420 kcal/hora (World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University, 2001), por lo cual la actividad de corta de caña según los datos obtenidos en esta investigación se pueden identificar como de intensidad media, lo cual es comparable con actividades como las de: agricultura, arreo ganado u otros animales a caballo, limpieza de pisos, manejo de cargas pesadas (10 a 20 kg), construcción (Ainsworth, y otros, 1993; Ainsworth, y otros, 2011).

Los datos tomados en esta investigación contemplan los periodos de descanso, por lo cual el cálculo de un parámetro promedio de tasa metabólica de la tarea de corta debe podría estar subvalorado dado las disminuciones del ritmo de cardiaco durante los periodos de descanso.

La definición de la exposición ocupacional a altas temperaturas, está compuesto por el calor aportado por los factores ambientales (temperatura seca, temperatura del aire, temperatura radiante) y la tasa metabólica del trabajador (metabolismo basal y de la tarea) (Pearson, 2003), lo cual es una de las razones por lo cual es fundamental el conocimiento del valor real de la actividad de corta de caña.

Para la definición de un valor de tasa metabólica (a partir de la medición del ritmo cardiaco), se debe cuantificar los valores de ritmo cardiaco de los periodos de corta y descanso, tomando en cuenta la influencia de las variables ambientales y personales en cada periodo.

13. Conclusiones

- Para la determinación de parámetros que influyen en el ritmo cardiaco y las posturas de trabajo, la descripción cualitativa de las condiciones de trabajo fue insuficiente. Se necesita la combinación de métodos cuantitativos y cualitativos para la descripción de las condiciones de trabajo relacionadas con la corta de caña, bajo las condiciones propuestas por el Programa WE.
- El diseño experimental y el protocolo de colocación de datos utilizado en la investigación para la estimación de posturas de trabajo a partir de acelerometrías, no se adecúan a las condiciones de infraestructura y trabajo relacionados con la corta de caña. Sin embargo el aumento de datos aceptables según periodo de toma de datos, señalan que la técnica puede ser aplicada si se mejoran los errores detectados y se establecen protocolo de verificación de la respuesta de los acelerómetros en condiciones controladas.
- La medición del ritmo cardiaco con la utilización de pulsímetros, para la estimación de la tasa metabólica parece ser una buena técnica para las condiciones reales de trabajo. Sin embargo se debe redefinir los periodos de medición y contemplar la cuantificación de los indicadores determinantes de los valores de ritmo cardiaco.

14. Recomendaciones

Este estudio comprobó que las técnicas de medición de posturas y tasa metabólica pueden ser utilizadas en el Programa WE, como insumos para evaluar el cambio que la intervención tenga sobre la salud de los trabajadores. Sin embargo los protocolos asociados a las metodologías de medición deben ser mejoradas. Para un posterior estudio descriptivo de las posturas de trabajo y carga metabólica se propone:

14.1. Condiciones de trabajo

Registrar mediante fotografías, videos, entrevistas estructuradas y observaciones de campo las condiciones: tipo de vestimenta, tipo de equipo de protección personal, jornadas de trabajo, productividad diaria, condiciones del terreno, tipo y estado de la caña al momento de corta, tipo y cantidad de alimentos consumidos, hidratación, periodos y condiciones de descanso, consumo de medicamentos (se deben definir cuales), alcohol o bebidas estimulantes o hidratantes.

Estas condiciones deben ser colectadas para los trabajadores que sean evaluados tanto para posturas de trabajo como para tasa metabólica cada día de evaluación. Con el fin de construir indicadores de exposición relacionados con los parámetros en investigación y a la vez medir el aporte de las mejoras introducidas el por el programa WE.

14.2. Posturas de trabajo (Acelerometrías)

Realizar al menos 25 mediciones de posturas previendo una tasa de pérdida del 50% de los datos, por aquellas condiciones que no puedan ser mejoradas antes de la toma de datos.

Se debe contar con cuatro asistentes capacitados para la toma de datos por día de medición, con el fin de garantizar que cada asistente podrá darle seguimiento a un solo trabajador durante toda la jornada de trabajo. Se contará con investigador en campo que verifique la calidad del proceso de toma de datos.

Se seguirán los lineamientos de aseguración de la calidad de las mediciones establecidos Apéndice 2.

Aseguramiento de la calidad de las mediciones:

- Cada acelerómetro será cargado durante mínimo dos horas y la carga se realizará el día antes de la utilización de los mismos.
- El mismo acelerómetro no será utilizado durante dos días consecutivo de toma de datos evitar el desgaste o fallo del equipo.
- De forma semanal el investigador supervisor realizará el ajuste (calibración) bajo condiciones controladas de los todos los acelerómetros y almacenará los registros de forma digital (nube) y físico llevando un control escrito de dichos ajustes.
- Los datos deberán ser descargados de forma diaria.
- Los datos serán almacenados en una plataforma virtual (nube) y en la computadora de cada asistente y del investigador responsable.
- Aquellos acelerómetros que se apaguen durante el tiempo de muestreo o que no registren datos, deberán ser retirados hasta que no se compruebe las causas del fallo.
- Aquellos acelerómetros que se detecte o sospeche que les ha ingresado sudor se deben retirar de uso hasta que se compruebe que no fueron dañados.
- Se revisará de manera semanal los datos recolectados para determinar el estado de la medición y definir si los datos serán excluidos o se repetirá la medición.
- Se deberá contar con al menos dos semanas para la toma de datos en cada uno de los grupos a evaluar.

Un trabajador no será evaluado más de una vez, de no ser que se deba repetir la medición, con el fin de disminuir la influencia de condiciones personales en las mediciones de las posturas de trabajo. Y se incluirá en la muestra mujeres (de ser posible y contar dentro de la población de estudio).

Es ideal que se grabe videos del al menos 15 min del trabajador evaluado, cortando caña, para contar con un registro visual de la técnica y posturas de trabajo que ayuden al análisis de los datos.

Se deberá realizar un procedimiento de colocación del equipo, el cual contemple:

- Utilización de cinta aislante para tapar la ranura de USB de los acelerómetros y material impermeable para cubrir todo el acelerómetro y evitar el ingreso de sudor.
- Sincronización de los acelerómetros sobre una mesa portable.

- Utilización obligatoria del acelerómetro de evento por medición y un reloj con segundero por asistente (los cuales todos deberán estar con la hora sincronizada).
- Utilización de cintas resistentes al sudor para la sujeción de los acelerómetros en las partes del cuerpo.
- Limpieza con toallas desinfectantes de los acelerómetros posteriores a su uso.
- Inspección del investigador supervisor del proceso de colocación de los equipos por parte de los asistentes a los trabajadores a evaluar.

14.3. Carga metabólica

El asistente evaluador, deberá llevar anotaciones de los periodos en el trabajador se encuentre cortando caña y descansando, con el fin de poder estimar el gasto metabólico de ambas actividades y estimar el descenso del ritmo cardiaco en los momentos de descanso, con el fin de evaluar la efectividad de la cantidad y duración de los periodos de descansos propuestos por el Programa WE y para estimar la tasa metabólica de la tarea de corta de caña.

El pulsímetro será colocado al inicio de la jornada de trabajo y retirado cuando el trabajador indique que su jornada ha terminado. Se incorporará en el protocolo de colocación de equipo los siguientes lineamientos:

- Previo a la colocación del equipo se verificará que el reloj del evaluador y el del pulsímetro se encuentran sincronizados. Con el fin de garantizar la correcta identificación de los tiempos de descanso y trabajo una vez descargados los datos.
- El pulsímetro se colocará posterior a que se le coloquen los acelerómetros al trabajador muestreado.
- Se humedecerá (con la ayuda de toallas húmedas) la sección de la banda que se coloca contra el pecho del trabajador.
- Se verificará que a banda queda alineada al centro con la línea media del trabajador y debajo del pecho.
- Se le iniciará al trabajador que no debe presionar los botones del reloj del pulsímetro.
- Se iniciará con la grabación de los datos en el reloj previo que el trabajador inicie la jornada y se bloqueará los botones del reloj.

Para la verificación de la calidad de los datos de ritmo cardiaco se deberá verificar que:

- El día antes se cargarán los pulsímetros y relojes al menos dos horas y una vez por semana se dejarán descargar de manera completa y se realizará una carga completa.
- Siempre que se usará el mismo pulsímetro con el mismo reloj, para poder disminuir el error asociado la variabilidad de cada uno de los elementos de medición y poder identificar aquellas mediciones que sean defectuosas dato el estado del equipo.
- El investigador encargado, verificará que los equipos se encuentran bien colocados en el cuerpo del trabajador.
- Si la banda del pulsímetro se desajusta del pecho del trabajador, se eliminará del registro los datos de ritmo cardiaco de la media hora antes de que el trabajador indique dicha situación, con el fin de evitar analizar datos inexactos de ritmo cardiaco.

- De manera diaria se descargarán los datos de ritmo cardiaco de cada uno de los relojes y se almacenarán en la computadora del asistente evaluador y se tendrá una copia semanal en la nube.
- Cuando se sospeche que alguna medición pueda estar errónea, se repetirá la medición en el trabajador utilizando otro pulsímetro y reloj. El equipo de la medición sospechosa se retirará del estudio, hasta que se compruebe bajo condiciones controladas si los datos que toma el equipo son correctos.
- Si los datos reportados por un equipo son incorrectos se sustituirá el pulsímetro por uno nuevo y se verificará en condiciones controladas si los datos son correctos.

15. Bibliografía

- Afshari, D., Motamedzade, M., Salehi, R., & Soltanian, A. (2014). Continuous assessment of back and upper arm postures by long-term inclinometry in carpet weavers. *Applied ergonomics*, 278-284.
- Ainsworth, B., Haskell, W., Herrmann, S., Meckes, N., Bassett, D., & Tudor-Locke, C. (2011). 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and science in sports and exercise*, 1575-1581.
- Ainsworth, B., Haskell, W., Leon, A., Jacobs, D., Montoye, H., Sallis, J., & Paffenbarger, R. (1993). Compendium of physical Activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & science in sports & exercise*, 71-80.
- American Heart Association. (Julio de 2015). All about heart rate (Pulse). Obtenido de American Heart Association Web site:
http://www.heart.org/HEARTORG/Conditions/More/MyHeartandStrokeNews/All-About-Heart-Rate-Pulse_UCM_438850_Article.jsp
- Balderrama, C., Ibarra, G., De La Riva, J., & López, S. (2010). Evaluation of three methodologies to estimate the VO2max in people of different ages. *Applied ergonomics*, 162-168.
- Barr, D., Reilly, T., & Gregson, W. (2011). The impact of different cooling modalities on the physiological responses in firefighters during strenuous work performed in high environmental temperatures. *European Journal of Applied Physiology*, 959-967.
- Battini, D., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2014). Innovative real-time system to integrate ergonomic evaluations into warehouse design and management. *Computers & Industrial Engineering*, 1-10.
- Correa-Rotter, R., Wesseling, C., & Johnson, R. (2014). CKD of unknown origin in Central America: The case for a Mesoamerican nephropathy. *American journal of kidney diseases*, 506–520.
- Crowe, J., Wesseling, C., Román Solano, B., Pinto Umaña, M., Robles Ramírez, A., Kjellstrom, T., Nilsson, M. (2013). Heat exposure in sugarcane harvesters in Costa Rica. *American journal of industrial medicine*, 1157–1164.
- Crowe, J., Wesseling, C., Solano Román, B., Pinto Uñana, M., Robles Ramírez, A., Kjellstrom, T., Nilsson, M. (2013). Heat exposure in sugarcane harvesters in Costa Rica. *American Journal of industrial medicine*, 1157–1164.
- Dahvquist, C. (2014). Accelerometers. [email].
- David, G. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational medicine*, 190-199.
- Ellegast, R., Kraft, K., Groenesteijn, L., Krause, F., Berger, H., & Vink, P. (2012). Comparison of four specific dynamic office chairs with a conventional office chair:

- Impact upon muscle activation, physical activity and posture. *Applied ergonomics*, 296-307.
- Fathallah, F. (2010). Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. *Applied ergonomics*, 738-743.
- Frank, A., McKnight, R., Kirkhorn, S., & Gunderson, P. (2004). Issues of agricultural safety and health. *Annual review of public health*, 225-245.
- Forman, M. (2015). Programs. [email].
- García-Trabanino, R., Jarquín, E., Wesseling, C., Johnson, R., González-Quiroz, M., Weiss, I., Barregard, L. (2015). Heat stress, dehydration, and kidney function in sugarcane cutters in El Salvador - A cross-shift study of workers at risk of Mesoamerican nephropathy. *Environmental research*, in press.
- Grzybowski, W. (2001). A method of ergonomic workplace evaluation for assessing occupational risks at workplaces. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 223–237.
- Gulf Coast Data Concepts. (2014). 16g Accelerometer Data Logger X16-mini. Obtenido de Gulf Coast Data Concepts web site: <http://www.gcdataconcepts.com/x16-mini.html>
- Hagel, L., Pahwa, P., Dosman, J., & Pickett, W. (2013). Economic worry and the presence of safety hazards on farms. *Accident analysis and prevention*, 156–160.
- Hansson, G., Arvidsson, I., Ohlsson, K., Nordander, C., Mathiassen, S., Skerfving, S., & Balogh, I. (2006). Precision of measurements of physical workload during standardised manual handling. Part II: Inclination of head, upper back, neck and upper arms. *Journal of electromyography and kinesiology*, 125-36.
- Hansson, G., Asterland, P., Holmer, N., & Skerfving, S. (2001). Validity and reliability of triaxial accelerometers for inclinometry in posture analysis. *Medical & biological engineering & computing*, 405-13.
- ISO. (1989). 7933. Hot environments--Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. Ginebra: International Standards Organization.
- ISO. (1989). ISO 7243:1989:Hot environments -- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Ginebra: International Standards Organization.
- ISO. (2004). ISO 2004b. Ergonomics of the thermal environment- Determination of metabolic rate. Ginebra : International Standards Organization.
- Kirkhorn, S., Earle-Richardson, G., & Banks, R. (2010). Ergonomic risks and musculoskeletal disorders in production agriculture: recommendations for effective research to practice. *Journal of agromedicine*, 281–299.
- Kotowski, S., Davis, K., Kim, H., & Lee, K.-S. (2014). Identifying risk factors of musculoskeletal disorders on Korean farms. *Work*, 15–23.

- Kurpad, A., Raj, R., Maruthy, K., & Vaz, M. (2006). A simple method of measuring total daily energy expenditure and physical activity level from the heart rate in adult men. *European journal of clinical nutrition*, 32–40.
- La Isla Foundation. (2014). Programa de salud y eficiencia de los Trabajadores. Documento sin publicar.
- Lundgren, K. (2014). How will clima change working life? Impacts of heat on productivity and health. Suecia: Lund University.
- Mathiassen, S., Wahlström, J., & Forsman, M. (2012). Bias and imprecision in posture percentile variables estimated from short exposure samples. *BMC medical research methodology*, 12-36.
- McCargar, L. (1996). Can diet and exercise really change metabolism? *Medscape womens health*, 1-4.
- Meirellesa, L., Motta Veiga, M., & de Castro Moura Duartea, F. (2012). Efficiency of personal protective equipment used in agriculture. *Work*, 14-18.
- Meyers, J., Miles, J., Faucett, J., Janowitz, I., Tejada, D., Weber, E., Garcia, L. (2004). Priority risk factors for back injury in agricultural field work: vineyard ergonomics. *Journal of agromedicine*, 433 -448.
- Meyers, J., Miles, J., Janowitz, I., & Fathallah, F. (2007). Rest break interventions in stoop labor tasks. *Applied ergonomics*, 219–226.
- Mork, P., & Westgaard, R. (2012). The influence of body posture, arm movement, and work stress on trapezius activity during computer work. *European journal of applied physiology*, 445–456.
- Neitzel , R., Krenz , J., & de Castro , A. (2014). Safety and health hazard observations in Hmong farming operations. *Journal of agromedicine*, 130-149.
- OISS. (2011). Una mirada a las condiciones de trabajo de algunos colectivos especialmente vulnerables. Obtenido de OISS Web site: <http://www.oiss.org/spip.php?article5840>
- Orduñez, P., Martinez-Piedra, R., Chapman, E., & Reveiz, L. (2014). The epidemic of chronic kidney disease in Central America. *The lancet global health*, 339-441.
- Parry, S., & Straker, L. (2013). The contribution of office work to sedentary behavior associated risk. *BMC public health*, 8-18.
- Pearson, K. (2003). Human thermal environment. The effects of hot, moderate and cold temperatures on human health, comfort and performance 2nd Edition. New York: CRC Press.
- Pernold, G., Tornqvist, E., Wiktorin, C., Mortimer, M., Karlsson, E., Kilbom, A., & Vingård, E. (2002). Validity of occupational energy expenditure assessed by interview. *AIHA journal : a journal for the science of occupational and environmental health and safety*, 29-33.

- Rocha, R., Marziale, P., & Robazzi, C. (2007). Poverty as a predisposing factor of illness tendencies in sugar cane workers. *Revista latino-americana enfermagem*, 736–41.
- Rossi, F., Palucci, M., & Hong, O.-S. (2010). Work and health conditions of sugar cane workers in Brazil. *Revista da escola de enfermagem da USP*, 974-979.
- Shephard, R., & Aoyagi, Y. (2012). Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective. *European journal of applied physiology*, 2785-2815.
- Straker, L., Abbott, R., Heiden, M., Mathiassen, S., & Toomingas, A. (2013). Sit-stand desks in call centres: Associations of use and ergonomics awareness with sedentary behavior. *Applied ergonomics*, 517-522.
- Sugar Nutrition Researching the Science of Sugar . (2011). About Sugar. Obtenido de Sugar Nutrition Researching the Science of Sugar Web site: <http://www.sugarnutrition.org.uk/the-production-of-sugar.aspx>
- Toomingas, A., Forsman, M., Mathiassen, S., Heiden, M., & Nilsson, T. (2012). Variation between seated and standing/walking postures among male and female call centre operators. *BMC public health*, 9-23.
- Trask, C., Mathiassen, S., Jackson, J., & Wahlström, J. (2013). Data processing costs for three posture assessment methods. *Medical research methodology*, 13-27.
- Valinejad, M., Shakiba, A., & Rasouljivaheri, A. (2013). Ergonomics principles and utilizing it as a remedy for probable work related injuries in construction projects. *International journal of advances in engineering & technology*, 232-245.
- Wahlström, J., Mathiassen, S., Liv, P., Hedlund, P., Ahlgren, C., & Forman, M. (2010). Upper arm postures and movements in female hairdressers across four full working days. *Annals of occupational hygiene*, 584-594.
- Wang, X., Wenbin, L., Weilin, X., & Hao, W. (2014). Study on the surface temperature of fabric in the process of dynamic moisture liberation. *Fibers and polymers*, 2437-2440.
- Wesseling, C., Crowe, J., Hogstedt, C., Jakobsson, K., Lucas, R., & Wegman, D. (2013). The epidemic of chronic kidney disease of unknown etiology in Mesoamerica: A call for interdisciplinary research and action. *American journal of public health*, 1927-1930.
- Wong, K., Lee, R., & Yeung, S. (2009). The association between back pain and trunk posture of workers in a special school for the severe handicaps. *BMC musculoskeletal disorders*, 10-18.
- World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University. (2001). *Human energy requirements*. Roma: WHO.
- Xiao, H., McCurdy, S., Stoecklin-Marois, M., Li, C.-S., & Schenker, M. (2013). Agricultural work and chronic musculoskeletal pain among Latino farm workers: the MICASA study. *American journal of industrial medicine*, 216-225.

16. Apéndices

Apéndice 1

Cuadro 6. Estado de las mediciones de posturas de trabajo realizadas con acelerómetros

Fecha observación	Código de Trabajador	Estado de los datos por parte del cuerpo			Tiempo de muestreo (min)	Estado medición
		Cabeza	Cuello	Brazo derecho		
16 diciembre 2014	1	Disponibles	Disponibles	Disponibles	367	Aceptado
16 diciembre 2014	2	Disponibles	Disponibles	No se grabaron	320	Aceptado
16 diciembre 2014	3	Disponibles	No calibrado	El equipo se cayó	339	Descartado
16 diciembre 2014	4	Equipo se apagó	No calibrado	Disponible	370	Aceptado
17 diciembre 2014	5	Equipo dañado	Disponibles	No se grabaron	251	Descartado
17 diciembre 2014	6	No se grabaron	No se grabaron	No se grabaron	510	Descartado
17 diciembre 2014	7	No se grabaron	No se grabaron	No se grabaron	415	Descartado
17 diciembre 2014	8	No sincronizado	No sincronizado	No sincronizado	394	Descartado
19 diciembre 2014	9	No sincronizado	No sincronizado	No sincronizado	172	Descartado
19 diciembre 2014	10	Disponible	No calibrado	No calibrado	110	Descartado
16 febrero 2015	1	Disponible	Equipo dañado	Equipo dañado	401	Descartado
16 febrero 2015	2	Equipo dañado	Disponible	El equipo se cayó	349	Descartado
16 febrero 2015	3	Disponibles	Disponibles	Disponibles	410	Aceptado
16 febrero 2015	4	Trabajador no presente				
18 febrero 2015	5	Disponibles	Disponibles	Disponibles	408	Aceptado

17 febrero 2015	6	Disponibles	Disponibles	Disponibles	377	Aceptado
17 febrero 2015	7	No sincronizado	No sincronizado	No sincronizado	357	Aceptado
17 febrero 2015	8	Se apagó el equipo	Se apagó el equipo	No calibrado	253	Descartado
18 febrero 2015	9	Disponibles	Disponibles	Disponibles	401	Aceptado
	10	Trabajador no presente				
18 febrero 2015	11	Disponibles	Disponibles	Disponibles	399	Aceptado
18 febrero 2015	12	Disponibles	Disponibles	Disponibles	458	Aceptado

Apéndice 2

Figura 13. Diagrama del proceso de toma de datos y verificación de la calidad propuesto

