

# Análisis de la herramienta de medición del riesgo ergonómico en agricultura (AERAT)

Fecha de recepción: 19/07/2010  
Fecha de aceptación: 20/07/2010

Carmen Madriz Quirós<sup>1</sup>  
Lawrence J. H. Schulze<sup>2</sup>

## Palabras clave

Ergonomía, agricultura, consumo de oxígeno, análisis postural

## Resumen

La agricultura se caracteriza por ser una actividad estacional, en condiciones climáticas inclementes, con un sector poco organizado, el cual obtiene resultados a un alto costo social que se resume en el deterioro de la salud de los trabajadores. La herramienta AERAT fue diseñada pensando en condiciones adversas de trabajo y tomando como indicador principal el nivel de consumo de oxígeno de los trabajadores en las plantaciones de banano. El sector de atención de esta herramienta llama poderosamente la atención, ya que es un sector donde la ergonomía pocas veces se concentra y donde encontramos aplicaciones muy reducidas. Tradicionalmente, la ergonomía se ha centrado en aplicaciones ofimáticas y de uso del computador.

## Key words

Ergonomía, espirometría, agricultura, esfuerzo físico, análisis postural, herramienta ergonómica, consumo metabólico.

## Abstract

Agriculture is a volatile industry due to its seasonal periods, inclement work environment, unorganized working sectors that ultimately results in higher social costs not limited to dramatic declines in workers health. Ergonomic principles and methodologies applied to agriculture must consider the dynamic factors that are not traditionally considered in the other industries. Despite technological development in many areas of the industry, agricultural workers are still exposed to high workload demands which in many cases, are higher than the worker's capacity. This is an important paradox in ergonomics where most efforts have focused on traditional manufacturing environments.

1. Escuela de Ingeniería en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, Grupo de Ergonomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: 2550-2628. Correo electrónico: [cmadriz@tec.ac.cr](mailto:cmadriz@tec.ac.cr)
2. University of Houston, Houston, TX 77204-4008, 713-743-4196. Correo electrónico: [ljhs@uh.edu](mailto:ljhs@uh.edu)

## Introducción

Hace más de 10 000 años, desde que la agricultura empezó a ser desarrollada, las personas descubrieron el valor de las plantas y los animales salvajes como alimentos. Hoy el 50% de la fuerza laboral en el mundo está empleada en la agricultura. La distribución en los ochentas estaba en un rango del 64% de la población económicamente activa en África, menos del 4%, en Estados Unidos y Canadá, y en América del Sur, el 24% (Hranaiova, Harry de Gorter and Merlinda Ingco, 2002). Ranaja K. (2005) reporta que hay en el mundo 1.3 billones de trabajadores agrícolas.

En tiempos modernos, la agricultura sigue teniendo gran importancia como principal actividad para muchos países alrededor del mundo. El Banco Mundial (2002) reportó que la agricultura representa más de un tercio de exportaciones para casi 50 países en vías de desarrollo. Como evidencia de este crecimiento, NIOSH (2005) reporta que aproximadamente 1 859 000 trabajadores son empleados a tiempo completo, en labores agrícolas, en Estados Unidos; así también, reporta a la agricultura como una de las actividades de mayor riesgo, tanto en lo que tiene que ver con lesiones fatales como no fatales. Como ejemplo, entre 1988 y el 2002 se presentaron 10 fatalidades en el área de floricultura y 131 en el área de hortalizas y jardines, en los Estados Unidos (Dee, 2004).

En América Latina, el 19% de la fuerza de trabajo se relaciona con la agricultura, sin que exista una apropiada relación de seguridad ni leyes que la regulen, lo que se traduce en pérdida de producción, gastos médicos e incapacidades para los trabajadores (Fontes, 2001).

En Costa Rica, el Instituto Nacional de Seguros, en el 2007, reportó que la tasa de incapacidades es de 6,48 días, por enfermedades, en el área de la agricultura. Las cuatro causas más frecuentes de incapacidad son: problemas respiratorios

(100 000 días); problemas posturales, relacionados con dolor de espalda (60 000 días); infecciones intestinales (45 000 días), y problemas de desórdenes del comportamiento (35 000 días), los cuales se pueden deber a la mala organización o a la alta carga de trabajo en este sector.

La Organización de la Salud para las Américas reportó, en el 2007, que en Costa Rica la segunda fuente más importante de trabajo es la agricultura, donde se emplean alrededor de 240 000 trabajadores, de los cuales las mujeres representan cerca del 8% de esta fuerza de trabajo y son más vulnerables a los factores de riesgo, tanto de pesticidas como músculos esqueléticos. La provincia de Cartago produce el 85% de las hortalizas del país.

En general, se han identificado varios factores de riesgo en la horticultura muy generales a escala mundial. En la etapa de preparación del terreno los trabajadores se exponen a riesgos generados por diversas fuentes que son capaces de afectar su salud y seguridad. Los riesgos de mayor importancia son los mecánicos, asociados al uso de herramientas manuales, maquinaria y equipos agrícolas, originando al trabajador una carga laboral que se ve incrementada por los demás factores de riesgo, especialmente la carga física dinámica, la topografía irregular del terreno, la presencia de zanjas y hoyos, las condiciones climáticas adversas, los riesgos biológicos, la carga mental, las deficientes condiciones higiénico-sanitarias y los riesgos derivados del ambiente y del ecosistema. Además, el trabajador realiza las tareas de pie, inclinado y agachado, con movimientos y desplazamientos horizontales y verticales; realiza levantamiento y transporte manual de cargas, asume posturas forzadas o incómodas (de pie inclinado, de pie muy inclinado, de pie con los brazos en extensión frontal) y realiza movimientos repetitivos (brazos, piernas, cintura). Los

*En América Latina, el 19% de la fuerza de trabajo se relaciona con la agricultura, sin que exista una apropiada relación de seguridad ni leyes que la regulen, lo que se traduce en pérdida de producción, gastos médicos e incapacidades para los trabajadores (Fontes, 2001).*

daños a la salud de los trabajadores pueden ser lesiones músculo-esqueléticas, fatiga física y lesiones por esfuerzos repetitivos.

En la etapa de siembra, la condición de riesgo que más afecta la seguridad y la salud es la carga física dinámica y estática postural, debido a que las labores se realizan de pie y agachado (en posición de arrodillado normal y arrodillado inclinado), con movimientos y desplazamientos horizontales y verticales. Sumado a la poca organización del trabajo, donde las labores que se realizan son poco enriquecedoras y monótonas, pueden haber jornadas prolongadas y, en algunos casos, la remuneración es a destajo. Estas condiciones pueden generar en los trabajadores problemas de salud mental, como estrés, depresión, irritabilidad, ansiedad y fatiga.

En algunos centros de trabajo puede haber ausencia de políticas de prevención, asignación de responsabilidades, organización administrativa de la prevención (comisiones de salud y seguridad), departamento de prevención de riesgos, ausencia de procedimientos, inexistencia de sistemas de auditoría y de entrenamiento sobre los riesgos y las medidas preventivo-correctivas (Sandall y Reeve, 2000).

En su mayoría, las tareas relacionadas con la agricultura requieren de una demanda metabólica clasificada como trabajo moderado y pesado. Konz (2004) presentó una clasificación mundialmente reconocida de tareas de acuerdo con el nivel de consumo de oxígeno o pulso cardíaco demandado. La tarea es clasificada de esfuerzo leve a extremadamente pesado; por lo tanto, la identificación del riesgo y el rediseño de la tarea o herramientas relacionadas es crítico para la prevención de lesiones. La exposición a las actividades de agricultura puede desarrollar diferentes desórdenes músculo esqueléticos que únicamente con el tiempo van a ser notados por los trabajadores y por los sistemas de soporte de la salud social, como es el caso de nuestro

país. Por ejemplo, la tenosynovitis ha sido relacionada con tareas de ciclos cortos y repetitivos, como es el caso de las labores en el cultivo de hortalizas. Desórdenes específicos relacionados con problemas de codos, brazos, manos y muñecas han sido reconocidos por medio del estudio de la medicina (Pheasant, 1991). Autores como Solecki (2001) han mencionado, en forma específica, el incremento, en trabajadores del área agrícola, de espondilosis y artrosis, comúnmente llamado reumatismo de tendones blandos.

Los investigadores han determinado que uno de los mejores indicadores de la demanda física y del nivel de exigencia de un trabajador es el nivel de consumo de oxígeno requerido durante la realización de la tarea (Montoye, Kemper, Saris, and Washburn, 1996). Madriz (2007) condujo un estudio con trabajadores en plantaciones de banano, en Costa Rica, con el objetivo de determinar la demanda física de los cambios en sus ritmos de descanso y trabajo. El nivel de consumo de oxígeno como medida del costo metabólico es un excelente indicador del nivel total de esfuerzo realizado por los trabajadores.

## Objetivos

### Fase I: Simulación

Determinar las diferentes variables y su peso en el modelo de riesgo ergonómico para la determinación del nivel de consumo de oxígeno en las áreas de corte, acarreo y halado de los racimos de banano.

### Fase II: Campo

Validar el modelo desarrollado en la fase I.

## Métodos y Técnicas

### El modelo

La variable seleccionada con principal control fue el nivel de consumo de oxígeno, ya que el consumo de energía puede ser directamente estimado por cada

tarea, teniéndose que un litro de oxígeno consumió, aproximadamente cinco kilos calorías de energía (Sanders, 1993). Estudios previos mostraron que el costo metabólico de una tarea está influenciado por la interacción entre la postura adoptada y la tarea (Gallagher, 2005).

En este estudio, el consumo de oxígeno fue medido en cada experimento, incluyendo los ángulos de las extremidades y fuerza realizada en el momento de ejecutar la tarea, ya sea en la simulación o en el campo. La ecuación del consumo de oxígeno demandado puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\text{Nivel de oxígeno}_i = f(\text{postura ponderada posture}_i, \text{ fuerza}_i, \text{ distancia}_i, \text{ superficie}_i, \text{ ritmo}) \quad (1)$$

La relación entre el consumo de oxígeno y cada subactividad de la tarea fue analizada, donde el total demandado por la tarea fue la suma parcial en cada subactividad.

El rango de esfuerzo de acuerdo con el nivel inhalado de oxígeno, fue categorizado de acuerdo con la probabilidad o chance de sufrir alguna lesión muscular, dolor o exceso de fatiga (Konz, 1999).

Cuadro 1. Rango de esfuerzo relacionado con el riesgo 1.

Nivel de esfuerzo	Oxygen uptake	Riesgo 1
	L/min	
Suave	< 0.5	1
Moderado	0,5 - 0.993	2
Pesado	1,0 - 1.49	4
Muy pesado	1,5 - 2.00	8
Extremadamente pesado	> 2,0	16

El valor de 1 indica el nivel de riesgo más bajo y el valor de 18, el nivel de riesgo más alto.

Cuadro 2. Clasificación usando la frecuencia.

Clasificación de la actividad	Frecuencia/hr
Alto	=> 540
Medio	>120 a <540
Bajo	<= 120

Este riesgo fue definido basándose en que a mayor nivel de oxígeno requerido, mayor probabilidad de caer en fatiga muscular, y es en este momento cuando son más probables las lesiones músculo esqueléticas (Cuadro 1).

Para el estudio de la tarea, esta se descompone en las subactividades propias de la labor y subactividades de recuperación y de descansos programados. Cada una de estas se identifica según los símbolos Therblig (operación, inspección, transporte, demoras, etc.), así como de un código para ser analizada más adelante.

Las actividades que son consideradas parte del ciclo de análisis son únicamente aquellas en que una posición dinámica o estática de alguna extremidad del cuerpo está involucrada. También se pueden considerar repetitivas de un ciclo a otro de trabajo, durante el periodo de la jornada.

Otra dimensión en que se clasificó la operación fue de acuerdo con la frecuencia diaria; para esto, se utilizó la clasificación propuesta internacionalmente que se muestra en el siguiente cuadro 3, definiéndose de esta forma el porcentaje de tiempo consumido por la actividad (PAWD) en un día de trabajo.

Con estas clasificaciones preliminares, la tarea fue clasificada mediante la combinación del porcentaje de la actividad

Cuadro 3. Clasificación según tiempo de trabajo.

Clasificación	PAWD
Alto	=> 66.66%
Mediano	> 33,33% to < 66.66% (2/3)
Bajo	<= 33,33% (1/3 )

Cuadro 4. Categorización de acuerdo con la frecuencia y el porcentaje de la actividad.

		Frecuencia		
		Alta	Mediana	Baja
Porcentaje de actividad	Alto	Crítica	Crítica	Crítica
	Mediano	Crítica	Moderada	Moderada
	Bajo	Crítica	Moderada	Ligera

Body parts	Posture	Posture guide	Angle Guide	Categorization	Figure	Right	Left
Upper Arm Forearm Flexion	Neutral		90	3			
	Flexion		45	4			
	Extension		-45	2			
	Strait up		-180	6			
	Strait down		0	1			
	Strait front		180	5			
Wrist Deviation	Neutral		0	1			
	Extension		45	2			
	Flexion		-45	2			
	Ulnar		30	3			
	Radial		-30	3			
Leg Medial/Lateral	Neutral		0	1			
	Moderate		20	2			
	Extreme		45	3			
	Super Extreme		90	4			
Shoulder Abduction	Neutral		0	1			
	Moderate		45	2			
	Moderate-Extreme		65	3			
	Extreme		90	4			
	Super Extreme		85	5			
Head/Neck	Neutral		0	1			
	Moderate flexion		20	2			
	Extreme Flexion		45	3			
	Extension		-20	4			
Trunk-Thigh Flexion	Neutral		0	1			
	Moderate Flexion		30	2			
	Extreme Flexion		60	3			
	Extreme Compression		-15	4			

Figura 1. Tabla de la postura ponderada.

y su frecuencia. Esta nueva clasificación la categoriza como una actividad crítica, moderada y ligera (Cuadro 4).

### Esfuerzo

La escala de Borg es una herramienta de auto determinación del nivel de esfuerzo muscular en una actividad. Esta escala fue utilizada para determinar la percepción del esfuerzo realizado por los trabajadores después de ejecutar una tarea. Distancia, superficie y ritmo de trabajo fueron también evaluados como variables en el modelo.

Otra variable considerada en el estudio fue la postura mantenida durante el tiempo, la cual fue determinada por medio del análisis detallado de los videos de las tareas donde se contabilizó la postura de las extremidades del cuerpo y el tiempo que se mantuvo dicha postura. La postura relativa fue determinada para: (1) flexión de brazo y antebrazo; (2) desviación de la muñeca; (3) piernas; (4) levantamiento de hombros; (5) cabeza y cuello, y (6) flexión de tronco y cintura. La categorización usada para describir la postura relativa, tanto en la fase de simulación como de campo, es una adaptación de la herramienta Rula (Rapid Upper Limb Assessment) de McAntamney y Corlett (1993) (Ver figura 1).

La postura ponderada fue determinada de la siguiente forma:

$$\text{Postura ponderada} = \sum (\text{Ángulo de categorización}_i * \sum \text{Tiempo de Subactividad}_{ij})_i \quad (2)$$

Donde: n = número de subactividades por tarea

i = 1, 2, 3, 28 (posiciones diferentes del cuerpo, incluyendo todas las extremidades).

El nivel de esfuerzo fue traducido en el cuadro 1 a una escala de riesgo llamada nivel de riesgo 1. La escala se pondera de acuerdo con la probabilidad de sufrir algún riesgo ergonómico en uniones o

a nivel muscular, según criterio de los investigadores. Este nivel de riesgo 1 es afectado por el factor balance mantenido durante la realización de la tarea. El multiplicador del factor balance, (BM) fue determinado basándose en el nivel de tracción y el tiempo de uso del calzado. El calzado con tiempos de servicio mayores de seis meses no puede ser aceptable, ya que pierde su poder de tracción, desfavoreciendo el agarre pie-superficie e impidiendo un balance adecuado. Un multiplicador de 1, 2 o 4 puntos fue directamente asignado a cada combinación y tipo de calzado vs. tiempo de servicio o uso (Véase cuadro 5).

El nivel de riesgo 2 es calculado mediante la multiplicación del factor de balance y el nivel de riesgo 1; la ecuación es expresada como sigue:

$$\text{Nivel de riesgo 2} = \text{Nivel de riesgo 1} * \text{BM} \quad (3)$$

Donde: BM: Factor de Balance el cual se detalla en el siguiente cuadro:

El nivel de riesgo total es determinado cruzando la categoría determinada en el cuadro 4, con el valor de riesgo 2 (Ver figura 2). La combinación de estas variables genera cuatro áreas de riesgo ergonómico, que se detallan en el cuadro 6.

Cuadro 5. Valores del factor de balance.

Tipo de tracción	<= 3 meses	> 3 < 6 meses
Botas de hule	1	2
Cualquier otro tipo de calzado	4	4

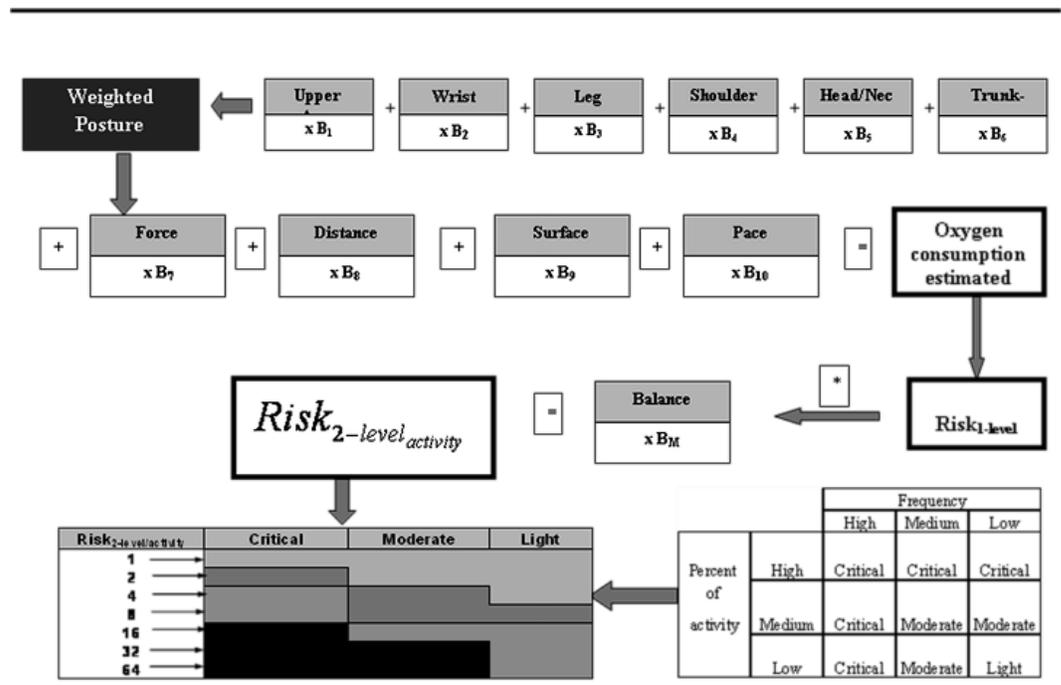


Figura 2. Clasificación final de la actividad.

Cuadro 6. Zonas de riesgo.

Área		Acción
Zona oscura	4 4 4	Las actividades en esta área no deben ser consideradas como labores para ser desarrolladas por el hombre.
	4 4 4	La automatización o mecanización de las áreas es lo recomendado.
Zona roja	3 3 3	Estas actividades representan un alto riesgo ergonómico; por lo tanto, una inmediata.
	3 3 3	La evaluación e intervención son requeridas enfocadas en el rediseño de procesos, herramientas y métodos de trabajo.
		Los trabajadores en este tipo de actividad deben tener una evaluación médica constante.
Zona verde	2 2 2	Las actividades en esta área pueden ser evaluadas en un corto plazo.
	2 2 2	
Zona azul	1 1 1	Las actividades en esta área no requieren de una evaluación inmediata; estas pueden ser evaluadas entre un corto a mediano plazo.
	1 1 1	

Cuadro 7. Variables del experimento

VARIABLES	EQUIPO O MÉTODO
Esfuerzo subjetivo aplicado durante la tarea	Borg-Scale
Nivel de consumo de oxígeno	Meta Max analizador de consumo de oxígeno
Postura ponderada	Análisis de video y posición ponderada

## Recolección de datos

Este experimento se desarrolló en dos fases: simulación o laboratorio y la fase de campo.

Fase I. Simulación: el consumo de oxígeno, la fatiga muscular, la postura y los tiempos fueron determinados mientras que los trabajadores realizaban tres tareas diferentes en la recolección del banano en las plantaciones: corte, acarreo y halado (Véase cuadro 7). Los experimentos fueron desarrollados en el Centro de Ergonomía de la Universidad Javeriana en Bogotá, Colombia.

El propósito principal de esta fase fue evaluar el comportamiento de las variables de respuesta durante el cumplimiento de las tareas y examinar la relación entre las respuestas, así como determinar el nivel de riesgo resultante de la combinación de estas variables. Un propósito secundario fue el análisis de conformidades. En adición a estos análisis de los datos, se generaron las ecuaciones por medio de la regresión para predecir el nivel de oxígeno consumido. Posteriormente, los modelos son comparados con el nivel real obtenido en el campo.

Las medidas antropométricas de cada participante y el nivel inicial del consumo de oxígeno fueron tomados y digitados en el computador. Después de tomar estos datos, los participantes tuvieron la oportunidad de familiarizarse con el equipo y realizar una prueba. Se dio un periodo de calentamiento, que consistió en 29 ejercicios de estiramiento, incluyendo cuello, pies, hombros, brazos, cintura, cadera y espalda, entre otros (Figura 3).

## Experimentos

El experimento 1 fue la operación de corte de racimos de banano. Los datos fueron recolectados utilizando un diseño experimental multivariado de medidas repetitivas. Las variables independientes fueron: 1) distancia (2, 6, y 10 metros); 2)

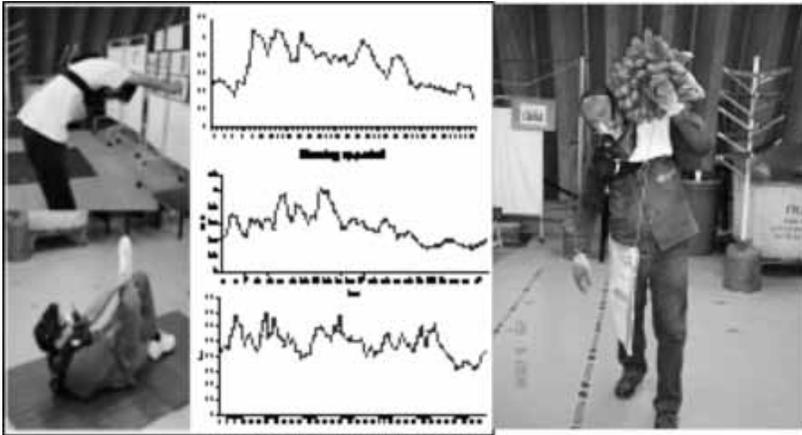


Figura 3. Ejercicios de calentamiento en laboratorio.

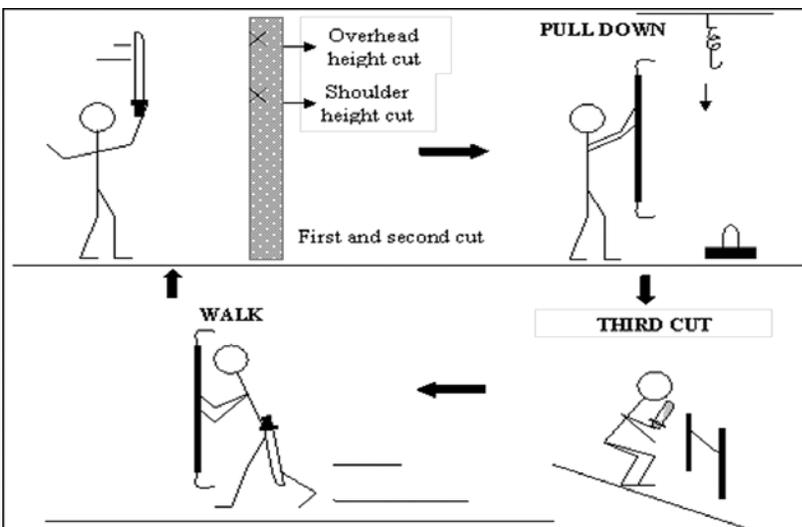


Figura 4. Simulación de operación de corte.

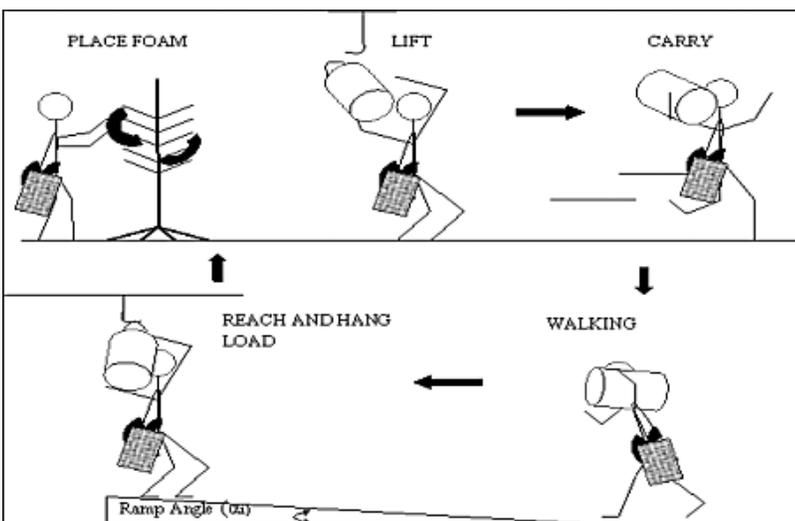


Figure 5. Operación de acarreo.

ritmo (20, 30 y 40 segundos). La tarea fue realizada tres veces de manera continua para un total de 27 ciclos (Figura 4).

El experimento 2 fue el acarreo de los racimos de banano, los cuales tienen un peso de 25 kg; cada participante caminó, a su propio ritmo, un promedio de 4 800 metros/hora. La información también fue recolectada usando un diseño multivariado de medidas repetidas. Las variables independientes fueron: 1) distancia (10, 15 y 20 metros); 2) ángulo de la rampa (0, 15 grados). La tarea fue repetida dos veces para un total de 12 ciclos por participante (Figura 5).

El experimento 3 consistió en simular el halar de los racimos de banano. Los datos fueron recolectados mediante un experimento de medidas repetidas. Las variables independientes fueron: 1) velocidad (2 736, 4 829 m/hr); 2) ángulo del suelo (0, 5 grados); (3) posición del cable (espalda o cintura). La fuerza de empuje se fijó en 15 kg-fuerza (Figura 6).

En la fase II, trabajadores de las plantaciones de banano de la Universidad Earth, en Limón, Costa Rica, realizaron los mismos trabajos simulados (corte, acarreo y halado). Treinta trabajadores fueron evaluados en esta fase.

## Resultados y análisis

### Fase I

Para complementar el análisis multivariado de la regresión, se creó una nueva variable denominada Tiempo Lap. Esta fue creada con el propósito de mostrar la continuidad en las medidas de consumo de oxígeno y el efecto del tiempo sobre este. Como resultado, se concluyó que el lapso acumulado tiene un efecto significativo en los resultados del consumo de oxígeno, así como en la variable de postura ponderada y las mediciones antropométricas de cada individuo.

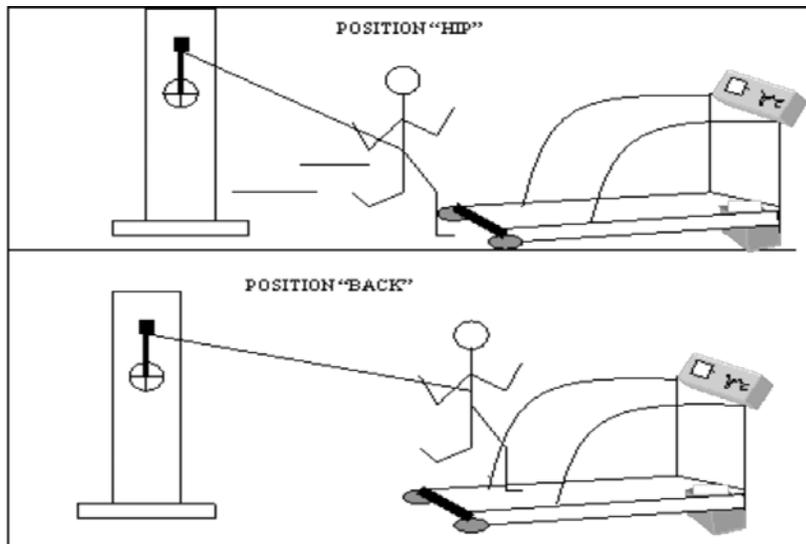


Figura 6

Las mediciones antropométricas de los colombianos fueron bastante consistentes, ya que un 84% de las mediciones mostró un porcentaje de variación inferior al 10%. El consumo de oxígeno bajo condiciones de descanso fue de 0,44 l/m y el nivel promedio relativo de oxígeno, de 6,89 ml/kg-min.

El nivel de molestia percibido por los participantes durante las tareas fue muy similar: molestias en áreas como cuello, ojos, hombros y partes altas de la espalda estuvieron en el orden de 5,5 en una escala de 0 a 10, donde en 10 la molestia es máxima. En la tarea de corte se presentó el mayor reporte de molestias a nivel de brazos, espalda media, codos, manos y muñecas, esto justificado en la alta repetición y ritmo de trabajo. Una relación cuadrática lineal fuerte fue determinada entre en las tareas y sus variables analizadas, como se expresa en el cuadro 7.

### Fase II.

Basado en el volumen total de exportación, Costa Rica es el segundo exportador de banano en el mundo. En el 2002, el país exportó 88,9 millones de cajas (1,6 millones de toneladas métricas), y durante

este año Costa Rica suplió un 25% a Estados Unidos y un 21% a la Unión Europea (CORBANA, 2002).

Esta fase fue desarrollada en plantaciones de banano en Costa Rica, ubicadas en la provincia de Limón. En general, no hubo diferencias estadísticas entre el consumo del máximo oxígeno de los participantes en la fase de simulación y los trabajadores participantes en las bananeras ( $p < 0,72$ ), al igual que con las medidas antropométricas de los dos grupos.

### Corte

El modelo determinado en la fase I es un buen estimador del nivel de consumo de oxígeno requerido por los trabajadores en la fase de campo. No hubo diferencias significativas entre las medias de oxígeno demandado entre trabajadores de campo y participantes de la simulación (t-valor de -0,014 con 38 grados de libertad,  $p < 0,98$ ).

El promedio de capacidad máximo fue de 2,92 l/min y la capacidad demanda por la actividad (Met rate) fue de 1,39 l/min. El resultado implica que los trabajadores de corte trabajan al 47,9% de su capacidad máxima, excediendo el límite recomendado de un 33% para ocho horas de trabajo diario. El tiempo máximo de recuperación por una hora de trabajo se estima en 0,74 horas (44,2 minutos), para un gasto energético de 1,39 l/min. Actualmente, el tiempo de recuperación es de 25 minutos, para un máximo Met trate de 1,39 l/min.

Consecuentemente, bajo las condiciones actuales, se recomienda que el tiempo de trabajo sea de 0,57 horas por día, únicamente.

Considerando que el tiempo de la actividad por día (PAWD) es de un 73,68% y la frecuencia de operación es estimada en 35,71 racimos/hrs (250 racimos/7 hora-día), la tarea de corte de banano se clasifica como crítica en su clasificación final. La actividad cae dentro de las altas prioridades de control, seguimiento cercano y constante. El promedio del

Cuadro 7. Relación entre variables (Risk level 1)

Actividad	Nivel de riesgo 1 Estimación del consumo de oxígeno (Y)	Correlación (R <sup>2</sup> )
<b>Corte</b>	$1/Y = -0.01139 * \text{Ritmo} + -.05808 * \text{Distancia} + 0.00003 * \text{Ritmo}^2 + 0.00214 * \text{Distancia}^2$ $- 0.23571 * \text{Tiempo Lap} + 0.0537 * \text{Tiempo Lap}^2$ $+ 0.00152 * \text{Postura ponderada} - 0.00026 * (\text{esfuerzo} * \text{Postura ponderada})$ $+ 0.01746 * \text{Peso} + 0.00037 * \text{Edad}^2 - 0.08209 * \text{Nivel Físico}$ $+ 0.00076 * (\text{Circunferencia de muñeca})^2 - 0.02332 * \text{Circunferencia de antebrazo}$ $- 0.00034 * (\text{Circunferencia del pecho})^2 + 0.17541 * \text{Bícep circunference}$ $- 0.00202 * (\text{Bícep circunference})^2 + 0.02354 * \text{Ancho de hombros} + \epsilon$	78.2%
<b>Acarreo</b>	$Y = -29.03141 + 0.06936 * \text{Distancia} - 0.00136 * \text{Distancia}^2$ $- 0.0005 * (\text{esfuerzo} * \text{edad}) + 0.01288 * \text{Peso}$ $+ 0.00001 * (\text{Altura-rodilla})^2 - 0.02332 * \text{Circunferencia de antebrazo}$ $+ 0.27585 * \text{Alcance Vertical} - 0.0069 * (\text{Alcance Vertical})^2$ $- 0.0003 * (\text{Alcance Funcional})^2 + \epsilon$	54.9%
<b>Halar Cintura</b>	$Y = -1.5227 + 0.0007 * \text{Distancia} + 6.063E-09 * \text{Velocidad}^2$ $+ 0.0128 * \text{Estatura} + 1.937E-06 * (\text{Postura ponderada} * \text{edad}) + \epsilon$	46.8%
<b>Espalda</b>	$Y = -1.99 + 0.0008 * \text{Distancia} + 0.0001 * \text{Velocidad}$ $- 0.241E-06 * (\text{postura ponderada} * \text{esfuerzo}) + 0.0487 * \text{ancho hombros}$ $+ 0.0005 * (\text{Circunferencia de antebrazo})^2 - 0.02332 * \text{Circunferencia de antebrazo}$ $+ 0.1276 * \text{Circunferencia del Bícep} - 0.0020 * (\text{Circunferencia del Bícep})^2$ $- 0.0014 * \text{Funcional alcance} + \epsilon$	93.4%



Figura 7. Tarea de corte en campo.

consumo de oxígeno de 1,399 l/min con una desviación estándar de 0,25, coloca la tarea en la clasificación de muy pesada (rango de 1,5-2,0 l/min) (Figura 7).

### Acarreo

La capacidad máxima promedio fue de 3,05 l/min y la demanda por la tarea fue de 1,96 l/min. Por lo tanto, los trabajadores utilizan un 64,2% de su capacidad máxima aeróbica. De acuerdo con esto, el periodo de trabajo máximo se estima en 0,5 horas, con un tiempo mínimo de recuperación de 0,65 hr (39 min). El tiempo de recuperación por una hora constante de trabajo es de 63,4 minutos. Actualmente, el tiempo de recuperación es de 25 minutos, por lo que únicamente se recomienda un tiempo de trabajo de 0,28 horas (16,6 minutos). El tiempo estimado para cada acarreo es

de 1,96 minutos (118 segundos). Durante la ejecución de la tarea de acarreo, los trabajadores utilizan el lado derecho de sus cuerpos, y una carga de 50 libras es constantemente acarreada en el 60% del tiempo de la tarea. El promedio de oxígeno consumido fue de 1,97 l/min, con una desviación estándar de 0,24. Este nivel clasifica, inicialmente, esta tarea como muy pesada (rango de 1,5-2,0 l/min). Esta clasificación en conjunto con el valor de dos en el factor de balance finalmente la clasifican en el Riesgo 2 en el valor de 16.

Una comparación hecha con las tablas revisadas de Snook y Ciriello (1991) para hombres, y siguiendo las recomendaciones de OSHA de analizar el percentil 90, tanto bajo las condiciones de frecuencia de 2/min y 5/min, muestra que el actual peso manipulado (racimos de banano) (25-30 kg) está por arriba del valor máximo aceptable. Como resultado, únicamente el 20% de la población podría ser capaz de realizar la operación de acarreo bajo condiciones seguras y de muy bajo riesgo ergonómico.

### Halado

La máxima capacidad aeróbica de los trabajadores de esta tarea fue de 2,8 l/min y la capacidad demandada de 2,7 l/min (Figura 8). Por lo tanto, los trabajadores están a un 96,4% de su máxima capacidad aeróbica (MAC). El tiempo de recuperación es de quince minutos por cada 0,08 horas laboradas (5 minutos). Si el trabajador únicamente se dedica al halado y descansa hasta el nuevo halado, el tiempo de trabajo es de 10 minutos, a un 75% de su máxima capacidad aeróbica. Es recomendado que bajo un Me trate de 2,1 l/min. y un tiempo de recuperación de 15 minutos, el tiempo máximo de trabajo sea de 7,5 minutos.

El porcentaje de la actividad en un día de trabajo es del 42,5% y la frecuencia de la operación es de 1,24 cargas por hora (una carga igual a 25 ó 30 racimos). La tarea de halar se clasifica como una tarea de moderado riesgo, inicialmente;

sin embargo, considerando el consumo de oxígeno y el factor de balance de dos, la tarea se considera como crítica. Si se considera que los trabajadores que acarrear también halan, la actividad pasa de un 42,5% a un 92,5 de su tiempo de trabajo durante el día (PAWD).

En este caso, se reclasifica la actividad como extremadamente crítica, cayendo en la zona oscura de la herramienta. La operación de halar no debería considerarse como una actividad para ser desarrollada por personas; su mecanización o automatización es la mejor opción.

## Conclusiones y recomendaciones

En general, para todas las tareas analizadas, la antropometría de los participantes es menos importante a media que el nivel físico se incrementa, ya que presentan una mayor capacidad aeróbica. El consumo de oxígeno está más relacionado con el tiempo, la postura ponderada y el nivel de esfuerzo.

La postura ponderada es una variable significativa que influye el nivel de oxígeno conforme los músculos llegan a una postura extrema. Si el tiempo de esta exposición se incrementa, el nivel de oxígeno se incrementa, provocando una mayor cantidad de energía y llegando a la fatiga, lo que aumenta las probabilidades de lesiones ergonómicas. Los modelos desarrollados en la Fase I (Simulación) son un buen predictor para el nivel consumo de oxígeno, para todas las tareas evaluadas.

### Fase I: Operación de corte

Del análisis multivariado se obtiene que los participantes no siguen el mismo patrón de consumo de oxígeno, este depende de sus características propias como antropometría y nivel físico (condición física). El nivel de oxígeno varía en función del tiempo y del peso, donde también la interacción ritmo y distancia es significativa. Las

*En general, para todas las tareas analizadas, la antropometría de los participantes es menos importante a media que el nivel físico se incrementa, ya que presentan una mayor capacidad aeróbica. El consumo de oxígeno está más relacionado con el tiempo, la postura ponderada y el nivel de esfuerzo.*

variables antropométricas correlacionadas con el nivel de oxígeno fueron peso, ancho de hombros, circunferencias de muñecas, circunferencia de antebrazo y de pecho; estas, en su mayoría, relacionadas con el tamaño del músculo. Los trabajadores con el nivel físico más elevado obtuvieron niveles bajos de consumo de oxígeno; como era de esperar, el resto obtuvo valor muy similar y no diferente estadísticamente. También, el consumo se incrementó al incrementarse el factor distancia. En relación con el factor ritmo del nivel de oxígeno, se incrementó del más bajo nivel de 90 al más alto nivel de 180.

La mayor disconformidad la presentaron los trabajadores a nivel de manos, dedos y muñecas, antes que los miembros superiores más utilizados en la labor.

### **Operación de acarreo**

Participantes es una variable significativa en el nivel de consumo, al igual que en las otras operaciones. Las variables antropométricas significativas fueron: alcance máximo funcional, la edad y el nivel de condición física. El tiempo y la distancia fueron los dos factores más importantes y significativos en el estudio de consumo de oxígeno.

### **Operación de halado**

La variable de condición física no fue significativa en esta tarea. La localización de la fuerza en cuerpo del participante (espalda, cintura) fue significativa en el nivel de consumo de los participantes; el menor nivel se obtuvo en la posición de espalda, donde los participantes utilizan sus músculos abdominales para realizar la fuerza de mantenida durante toda la actividad.

El nivel de consumo se reduce, aproximadamente, en un 20% en comparación con el de la posición de cintura actualmente utilizada en el campo. Existen diferencias significativas con un nivel de 0,05 de precisión entre el consumo de oxígeno de entre las distancias recorridas. Para

distancias menores de 450 metros o menos no diferencias significativas fueron encontradas. Sin embargo, para distancias mayores a 450 metros y menos de 600 metros, el nivel de consumo se incrementa al aumentar la distancia.

La velocidad y el ángulo de inclinación fueron, también, estadísticamente significativos, con un 0,05 de precisión.

### **Fase II: Corte**

Esta actividad cae dentro de la zona negra u oscura, lo que implica que esta tarea excede la capacidad humana para ser desarrollada. Las dimensiones antropométricas y el nivel físico son los factores más influyentes en esta tarea. La antropometría define las áreas dinámicas de alcances, por lo que es conveniente que por medio del ajuste de la herramienta de ayuda para el corte llamada chuza, se pueda ajustar para que la manipulación del racimo se de en el área comprendida entre los hombros y la altura trocante rica. El trabajo de corte debe de ser acoplado con el trabajo de acarreo de quien recibe el racimo en el momento de la corta; de ahí la importancia de una herramienta ajustable.

### **Operación de acarreo**

La postura ponderada fue la variable más significativa. Los antebrazos, cuello, espalda y hombros, al igual que los pies, son los partes del cuerpo que más intervienen en la operación y los que muestran mayor índice de disconformidad. Esto se debe a que los trabajadores, con el fin de contrarrestar el peso del racimo de bananos en los hombros, inclinan su espalda hacia adelante, y para ser capaces de ver por dónde caminar, levantan su cuello-cabeza por encima del ángulo de extensión, torciendo, además, su cuello. Una espalda humana podría no resistir, mecánicamente hablando, por mucho tiempo el peso y la postura inadecuados. Las estadísticas indican que el 50% de las lesiones de esta tarea están localizadas en el área de espalda, cuello y cabeza; el peso

*La postura ponderada fue la variable más significativa. Los antebrazos, cuello, espalda y hombros, al igual que los pies, son las partes del cuerpo que más intervienen en la operación y los que muestran mayor índice de disconformidad.*

extremo puede tensionar los músculos de los hombros como por ejemplo, el trapecio, los músculos de los antebrazos.

### Operación de halado

La estatura de los trabajadores tiene una influencia significativa en esta tarea. Como fue también determinado en la simulación, la estatura de los trabajadores determina el ángulo del cable- tren que tira el tren de los 25 o 30 racimos, por lo que la fuerza final de halado se incrementa a medida que el ángulo se incrementa.

La región de la cintura da un modelo mecánico que toma gran cantidad de fuerza y que puede dañar seriamente la salud de la cadera y cintura. Esto debido a que los músculos largos y fuertes de la cadera y cintura son, usualmente, capaces de resistir la acción del abuso; sin embargo, esto tiene su límite. Se puede ver cómo en los mayores problemas reportados en esta operación, el 40% se debe a dolores abdominales y de cintura por el pobre soporte del cable.

En general, en las tres actividades, el factor de balance puede pasar a un nivel 1 con solo un cambio administrativo, proveyendo el calzado adecuado a los trabajadores, al menos cada 3 meses, por lo que se podría pasar del nivel de riesgo 2 al nivel 8; excepto la tarea de halar, que definitivamente no saldría de la zona negra. Es recomendable que los trabajadores se desarrollen en las tareas como un equipo, rotándolas de manera que cada trabajador tenga una hora de trabajo y 30 minutos de descanso; el rol de trabajo sería alternar por cada 30 minutos de trabajo, en acarreo, y en corte y por halado cada carrera de 25 a 30 racimos, alternando la tarea de inicio cada día; así se aseguran estar, aproximadamente, a un 60% de su máxima capacidad aeróbica.

Los grupos de trabajo inician el día con la tarea indicada a cada miembro; después de completar la mitad de una carga (12-13 racimos), el trabajador de corte, quien

tiene que halar, inicia un descanso de 30 minutos antes de iniciar el halado.

Tan pronto como la carga esté terminada y el halador salga a la planta, el cortador y acarreador inician su descanso de 30 minutos. Después, estos dos inician su trabajo cambiando sus tareas. El trabajador de halado hará su descanso de 30 minutos en la planta de procesamiento; esto, mientras espera que se bajen los racimos en la planta. Para cuando regrese al punto en el campo se tendrá la mitad de la carga realizada y tomará el campo del acarreador, quien entrará en descanso y se preparará para halar la siguiente carga.

La secuencia se repite hasta que el día de trabajo se termine. Los trabajadores que inicien en el día con el halado únicamente harán un halado por día; mientras los demás harán dos. De esto, lo importante es que el rol de quien inicie en cada tarea se cambie día con día. Asumiendo que los trabajadores únicamente trabajan 8 horas por día, el equipo de trabajo tendría capacidad de 5 cargas de 25 a 30 racimos por día; sin embargo, el día de trabajo se extiende, en muchas ocasiones, hasta 12 o 16 horas, dependiendo de la demanda de la estación.

### Futuros trabajos

El Instituto Tecnológico de Costa Rica, consciente del potencial del campo de la ergonomía, ha iniciado el desarrollo del Área de Ergonomía, constituida por las Escuelas de Seguridad Laboral, Diseño Industrial y Producción Industrial, donde se está proponiendo el análisis de factores de riesgo en otras poblaciones agrícolas, como la horticultura, utilizando los principios desarrollados en este trabajo.

### Reconocimiento

Este estudio fue desarrollado gracias al apoyo financiero del programa Fogarty International Research Training Program

de la University de Texas. Los autores desean agradecer al Dr. George L. Delclos y la Dra. Sarah Felknor, del Southwest Center for Occupational and Environmental Health, School of Public Health de la Universidad de Texas en Houston, por su apoyo en esta iniciativa.

## Referencias

- CORBANA - Corporación Bananera Nacional S.A. (2005). <http://www.corbana.co.cr/>
- Fontes, Roberto (2001). Occupational Safety and Health in Latin America and the Caribbean: Overview, Issues and Policy recommendations. Primer seminario técnico de consulta regional sobre temas laborales. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Gallagher, Sean. (2005). Physical limitations and musculoskeletal complaints associated with work in unusual or restricted postures: literature review. *Journal of Safety Research*. 36,51-61.
- Heinrich, H.,W. Dan Peterson, and N. Roos (1980). *Industrial Accident Prevention: A safety Management Approach*. New York, McGraw-Hill.
- Hranaiova, Jana, De Gorter, Harry, and Ingco, Merlinda (2002). Perspectives on Agricultural Export State Trading Enterprises in the WTO Trade Negotiations. Agriculture and rural development. The Work Bank Group. JEL Classification: F13; D45.
- Konz, S., and Johnson, S. (2004). *Work Design Occupational Ergonomics*. Sixth edition. Holcomb Halthaway Arizona.
- McAntammy, Lynn and Corlett E. Nigel.(1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*. 24(2),91-99
- Nag, Kumar. (1995). *Agricultural Ergonomics*. International Journal of Industrial Ergonomics. Special Issue "Agricultural Ergonomics". 10(4), 263-264.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Safety and Health Topic: Agriculture. <http://www.cdc.gov/niosh/topics/agriculture/>
- Snook S. H. and Ciriello, V. M. (1991). The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34, 1197-1213.
- Solecki, L (2001). Current state if ergonomics in agriculture-future needs. VIII International Symposium on Ergonomics, Work Safety and Occupational Hygiene. *Annals of agricultural and environmental medicine*. 8, 22-24.
- United States Department of Labor. Bureau of Labor Statistics (2005). <http://www.bls.gov/iif/oshcfoi1.htm>