

## Analysis of the physical work environment in sawmills in El Salto, Durango, Mexico

## Análisis del ambiente físico del trabajo en aserraderos de El Salto, Durango, México

Edwin D. Silva-Lugo<sup>1</sup>; Alondra Y. Aragón-Vásquez<sup>1</sup>; Juan A. Nájera-Luna<sup>1\*</sup>; Francisco J. Hernández<sup>1</sup>; Ricardo de la Cruz-Carrera<sup>1</sup>; Artemio Carrillo-Parra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), Programa de Ingeniería Forestal. Mesa del Tecnológico s/n. C. P. 34942. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México.

<sup>2</sup>Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (UJED-ISIMA). Bulevar del Guadiana núm. 501, Ciudad Universitaria. C. P. 34120. Durango, México.

\*Corresponding author: [jalnajera@itelsalto.edu.mx](mailto:jalnajera@itelsalto.edu.mx); tel.: +52 618 158 7940.

### Abstract

**Introduction:** Sawmill workers carry out their work in an adverse physical environment that influences their well-being, not knowing if safety levels in the area are acceptable.

**Objective:** To analyze workers' exposure to noise, thermal comfort, and lighting at five workstations in six sawmills in the El Salto region of Durango, Mexico.

**Materials and methods:** The physical variables of the work environment were measured directly at three times of the day for seven workdays at five workstations (forklift, edger, swing saw, resaw, and head saw). The maximum allowable time of exposure to noise, thermal comfort through effective temperature, and lighting of the work area were determined. Statistical differences in physical variables between workstations, sawmills and times of the day were detected by analysis of variance and Kruskal-Wallis median range comparison tests.

**Results and discussion:** The noise level (85 to 102 dB[A]) represents a greater hearing risk at the head saw, resaw and swing saw workstations as it exceeds 90 dB (A). Thermal comfort was 20 °C, which ensures that the worker can be exposed 100 % of the time of the workday to this temperature. Lighting levels were high, exceeding 2 000 lx.

**Conclusions:** The noise and lighting levels are high in the assessed sawmills and pose a risk to the safety of workers if the mandatory use of ear and eye protectors is not monitored.

**Keywords:** Thermal comfort, lighting, noise, job safety, forest worker.

### Resumen

**Introducción:** En los aserraderos, los trabajadores desempeñan su labor en un medio físico adverso que influye en el bienestar, desconociendo si los niveles de seguridad en el área son aceptables.

**Objetivo:** Analizar la exposición de los trabajadores al ruido, confort térmico e iluminación en cinco puestos de trabajo de seis aserraderos de la región de El Salto, Durango, México.

**Materiales y métodos:** Las variables físicas del ambiente de trabajo se midieron directamente en tres horarios del día durante siete días laborales en cinco puestos de trabajo (montacargas, desorilladora, trocero, reaserradora y sierra principal). El tiempo máximo permisible de exposición al ruido, el confort térmico mediante la temperatura efectiva y la iluminación del área de trabajo se determinaron. Las diferencias estadísticas de las variables físicas entre puestos de trabajo, aserraderos y horarios del día se detectaron mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de rangos de la mediana de Kruskal-Wallis.

**Resultados y discusión:** El nivel de ruido (85 a 102 dB[A]) representa mayor riesgo auditivo en los puestos de la sierra principal, la reaserradora y el trocero al rebasar los 90 dB(A). El confort térmico fue de 20 °C, el cual garantiza que el trabajador puede estar expuesto el 100 % del tiempo de la jornada laboral a dicha temperatura. Los niveles de iluminación resultaron altos al superar los 2 000 lx.

**Conclusiones:** Los niveles de ruido e iluminación son altos en los aserraderos evaluados y representan un riesgo para la seguridad de los trabajadores si no se vigila el uso obligatorio de protectores auriculares y oculares.

### Palabras clave:

Confort térmico, iluminación, ruido, seguridad laboral, trabajador forestal.

## Introduction

Forest workers in sawmills are generally exposed to adverse conditions that directly influence well-being (Morabito et al., 2014). These conditions act in the long term to gradually undermine health, especially when workers are exposed to high levels of noise, particles, toxic gases, variations in temperature and humidity, inappropriate light, inadequate postures and vibrations (Alves et al., 2002). These factors cause discomfort and increase the risk of accidents and cumulative trauma injuries; that is, the worker will only perceive the negative effects after a few years of exposure to a working condition that he or she initially considered comfortable (Fiedler et al., 2009).

Ergonomics is defined as the application of knowledge of human characteristics to the design of systems. In a production system, people operate within an environmental setting; in this sense, environmental ergonomics can be described in terms of thermal sensations, noise level and light (Alves et al., 2002; Parsons, 2000) that when they exceed certain limits can cause discomfort and harm to workers' health (Reis-Dutra, Pinto-Leite, & Dutra-Massad, 2012).

In the workplace, microclimate-related effects are connected to environmental variables that affect the heat exchange between man and the environment, making thermal comfort difficult to achieve, as the worker often operates in different thermal sensation conditions (Marucci et al., 2013). In hot environments, the worker is prone to dehydration, cramps, exhaustion and heat stroke (Bates, Parker, Ashby, & Bentley, 2001), and in cold environments, to loss of sensitivity, reaction and mobility of extremities, enabling the occurrence of accidents (Blombäck, 2001; Mäkinen & Hassi, 2009).

Noise is defined as a complex of sounds that cause a sensation of hearing discomfort, physical and psychological damage and, depending on the level, neurosis and hearing injuries such as tinnitus, temporary or permanent threshold change and communication interference (da Silva-Lopes, Zanlorenzi, Couto, & Minetti, 2004; Fiedler, de Lara-Santos, Corazza-Gatto, da Silva-Lopes, & da Silva-Oliveira, 2007; Otoghile, Onakoya, & Otoghile, 2018). Noise is one of the most common occupational hazards in sawmills and in the steel industry (Top, Adanur, & Öz, 2016), where manufacturing processes generate sound as an unwanted byproduct (Anjorin, Jemiluyi, & Akintayo, 2015).

On the other hand, light is a factor that has positive and negative effects on workers' performance; when the level is adequate, personal satisfaction increases,

## Introducción

Los trabajadores forestales de los aserraderos están expuestos, generalmente, a condiciones adversas que influyen directamente en el bienestar (Morabito et al., 2014). Estas condiciones actúan a largo plazo minando paulatinamente la salud, principalmente cuando los trabajadores se encuentran expuestos a niveles elevados de ruido, partículas, gases tóxicos, variaciones en la temperatura y humedad, luminosidad inapropiada, posturas inadecuadas y vibraciones (Alves et al., 2002). Dichos factores causan molestias e incrementan el riesgo de accidentes y lesiones del tipo trauma acumulativo; es decir, el trabajador solamente percibirá los efectos negativos después de algunos años de exposición ante una condición de trabajo que al principio consideraba cómoda (Fiedler et al., 2009).

La ergonomía se define como la aplicación del conocimiento de las características humanas al diseño de sistemas. En un sistema de producción, las personas operan dentro de un entorno ambiental; en este sentido, la ergonomía ambiental se puede describir en términos de sensaciones térmicas, nivel de ruido y luminosidad (Alves et al., 2002; Parsons, 2000) que cuando exceden ciertos límites pueden provocar molestias y daños en la salud de los trabajadores (Reis-Dutra, Pinto-Leite, & Dutra-Massad, 2012).

En el lugar de trabajo, los efectos relacionados con el microclima están conectados con las variables ambientales que afectan el intercambio térmico entre el hombre y el entorno, por lo que el confort térmico es difícil de lograr, ya que a menudo el trabajador opera en condiciones variadas de sensación térmica (Marucci et al., 2013). En ambientes cálidos, el trabajador está propenso a la deshidratación, calambres, agotamiento y golpes de calor (Bates, Parker, Ashby, & Bentley, 2001), y en ambientes fríos, a la pérdida de sensibilidad, reacción y movilidad de las extremidades, posibilitando la ocurrencia de accidentes (Blombäck, 2001; Mäkinen & Hassi, 2009).

El ruido se define como un complejo de sonidos que causan sensación de incomodidad auditiva, daños físicos y psicológicos y, dependiendo del nivel, neurosis y lesiones auditivas como *tinnitus*, cambio de umbral temporal o permanente e interferencia en la comunicación (da Silva-Lopes, Zanlorenzi, Couto, & Minetti, 2004; Fiedler, de Lara-Santos, Corazza-Gatto, da Silva-Lopes, & da Silva-Oliveira, 2007; Otoghile, Onakoya, & Otoghile, 2018). El ruido es uno de los riesgos laborales más comunes en los aserraderos y en la industria del acero (Top, Adanur, & Öz, 2016), donde los procesos de fabricación generan sonido como un subproducto no deseado (Anjorin, Jemiluyi, & Akintayo, 2015).

productivity improves, and fatigue and accidents are reduced (Lombardi, Pizzol, Vidaurre, Corletti, & Barbosa, 2011), but when light is insufficient or excessive it can cause errors or work accidents (Adu, Adu, Effah, Kwasi, & Antwi-Boasiako, 2015). It is therefore necessary to seek the ideal level of the amount of light available to perform a task that guarantees maximum performance and operator comfort (da Silva et al., 2004).

Based on the above, there is a need to study the physical factors of the environment in the work stations, to determine the risks to people and identify the critical areas that allow taking preventive measures and improving the work environment (Vanadziņš et al., 2010). Given the lack of information on the working environment conditions in sawmills in the region of El Salto, Durango, the present study focuses on analyzing the exposure of workers in their workstations to factors such as temperature, noise and lighting. This study assumes that these factors are at adequate levels that guarantee people's health, well-being, safety and productivity.

## Materials and methods

### Study area

The study was conducted in the town of El Salto, municipality of Pueblo Nuevo, Durango, Mexico. The analysis considered six sawmills for the production of long-dimension lumber, using vertical band saw towers from 127.0 to 254.0 mm (5 to 10") wide. The lumber is separated into six quality, thickness and nominal length categories, or marketed as mill-run (mix of grades) (Nájera-Luna et al., 2011).

Lumber production per shift between sawmills is variable: 16 000 board feet (37.73 m<sup>3</sup>) at the La Victoria sawmill; 12 000 board feet (28.30 m<sup>3</sup>) at the Quintana I and II sawmills; 10 000 board feet (23.58 m<sup>3</sup>) at El Diamante; 8 000 board feet (18.86 m<sup>3</sup>) at Pueblo Nuevo, and 6 000 board feet (14.5 m<sup>3</sup>) at García.

The field data considered only those jobs headed by machinery operators, since it is in these jobs that noise is generated and to which all workers are exposed to a greater or lesser extent. The list of jobs and the number of observations per sawmill are shown in Table 1.

### Methods

The data were obtained by directly measuring the variables at the workstations, using a digital environmental multimeter (MasTech® MS6300 5 in 1, China), which has sensors calibrated to record ambient temperature, relative air humidity, lighting, wind speed and noise level.

Por otra parte, la luminosidad es un factor que tiene efectos positivos y negativos en el desempeño de los trabajadores; cuando el nivel es adecuado, la satisfacción en la persona aumenta, la productividad mejora y reduce la fatiga y los accidentes (Lombardi, Pizzol, Vidaurre, Corletti, & Barbosa, 2011), pero cuando la luminosidad es insuficiente o excesiva puede ocasionar errores o accidentes de trabajo (Adu, Adu, Effah, Kwasi, & Antwi-Boasiako, 2015). Por tanto, es necesario buscar el nivel ideal de la cantidad de luz disponible para realizar una tarea que garantice el máximo rendimiento y confort del operador (da Silva et al., 2004).

Con base en lo anterior, existe la necesidad de estudiar los factores físicos del ambiente en los puestos de trabajo, para determinar los riesgos en las personas e identificar las áreas críticas que permitan tomar medidas preventivas y mejorar el entorno laboral (Vanadziņš et al., 2010). Ante la falta de información sobre las condiciones del ambiente del trabajo en aserraderos de la región de El Salto, Durango, el presente estudio se centra en el análisis de la exposición de los trabajadores en sus puestos laborales a factores como la temperatura, ruido e iluminación. En este estudio se parte del supuesto de que dichos factores se encuentran en niveles adecuados que garantizan la salud, bienestar, seguridad y productividad de las personas.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de El Salto, municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México. En el análisis se consideraron seis aserraderos de producción de madera aserrada de largas dimensiones, mediante torres verticales de sierra banda de 127.0 a 254.0 mm (5 a 10") de ancho. La separación de la madera aserrada se hace a partir de seis categorías de calidad, gruesos y largos nominales o se comercializa como *mill-run* (mezcla de clases) (Nájera-Luna et al., 2011).

La producción de madera aserrada por turno entre aserraderos es variable: 16 000 pies tabla (37.73 m<sup>3</sup>) en el aserradero La Victoria; 12 000 pies tabla (28.30 m<sup>3</sup>) en los aserraderos Quintana I y II; 10 000 pies tabla (23.58 m<sup>3</sup>) en El Diamante; 8 000 pies tabla (18.86 m<sup>3</sup>) en Pueblo Nuevo, y 6 000 pies tabla (14.5 m<sup>3</sup>) en el aserradero García.

La información de campo consideró solo los puestos de trabajo encabezados por los operadores de maquinaria, en virtud de que es en estos puestos donde el ruido se genera y al cual todos los trabajadores están expuestos en mayor o menor medida. El listado de los puestos de trabajo y el número de observaciones por aserradero se muestran en el Cuadro 1.

**Table 1. Jobs and field observations at six sawmills in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.****Cuadro 1. Puestos de trabajo y observaciones de campo en seis aserraderos de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.**

Job position/ Puesto de trabajo	Sawmill/Aserradero						Number of observations/ Número de observaciones
	La Victoria	El Diamante	Aserradero García	Quintana	Pueblo Nuevo	Quintana II	
Sawyer/Aserrador	√	√	√	√	√	√	1260
Forklift operator/ Operador de montacargas	√	√	√	√	√	√	1260
Resaw operator/ Operador de reaserradora	√						210
Swing saw operator/ Operador de trocero	√	√	√	√	√	√	1260
Edger operator/ Operador de desorilladora	√	√		√		√	840

This study used the methodology of the following standards: a) NOM-011-STPS-2001 relating to health and safety conditions in workplaces where noise is generated (Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STyPS], 2001); b) NOM-015-STPS-2001 regarding high or low thermal conditions-health and safety conditions (STyPS, 2002) and c) NOM-025-STPS-2008 concerning lighting conditions in workplaces (STyPS, 2008).

The field information was obtained by dividing the workday into three periods during the day; each period included a 10-minute observation time in which 10 readings were obtained for each variable. The first period was considered to be between 10:00 and 12:00 hours, representing the morning readings; from 12:00 to 14:00 hours, information was taken corresponding to the midday period and from 14:00 to 16:00 hours corresponding to the afternoon period.

Each workstation at each sawmill was monitored for seven workdays from April 19 to June 11, 2018, taking 21 environmental data collections per job. The variables were ambient temperature, relative air humidity, lighting, wind speed and noise level; in total, the database recorded 483 data gathering periods with 4830 readings.

For noise level measurement, the multimeter sound level sensor was set to use the "A" weighting scale or slow response cycle with an integration threshold of 85 dB (A) and a measurement range of 85 to 115 dB(A).

#### Allowable noise exposure limit

The maximum allowable exposure time (MAET) equation stipulated by the Secretariat of Labor and Social Welfare in NOM-011-STPS-2001 (STyPS, 2001) was used. This standard determines the noise limit values at which workers, if exposed repeatedly, are not at risk

#### Métodos

Los datos se obtuvieron mediante la medición directa de las variables en los puestos de trabajo, utilizando un multímetro ambiental digital (MasTech® MS6300 5 en 1, China), el cual tiene sensores calibrados para registrar la temperatura ambiente, humedad relativa del aire, iluminación, velocidad del viento y nivel de ruido.

En este estudio se utilizó la metodología de las normas siguientes: a) NOM-011-STPS-2001 relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido (Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STyPS], 2001); b) NOM-015-STPS-2001 relativa a las condiciones térmicas elevadas o abatidas-condiciones de seguridad e higiene (STyPS, 2002) y c) NOM-025-STPS-2008 relativa a las condiciones de iluminación en los centros de trabajo (STyPS, 2008).

La información de campo se obtuvo dividiendo la jornada laboral en tres lapsos durante el día; cada lapso contempló un periodo de observación de 10 min donde se obtuvieron 10 lecturas por variable. El primer lapso se consideró entre las 10:00 a 12:00 horas representando las lecturas de la mañana; de las 12:00 a 14:00 horas se tomó información correspondiente al mediodía y de las 14:00 a 16:00 horas lo correspondiente al lapso de la tarde.

Cada puesto de trabajo en cada aserradero se monitoreó durante siete días laborales en el periodo 19 de abril al 11 de junio de 2018, realizando 21 tomas de información ambiental por puesto laboral. Las variables correspondieron a la temperatura del ambiente, humedad relativa del aire, iluminación, velocidad del viento y nivel de ruido; en total, la base de datos registró 483 periodos de toma de información con 4830 lecturas.

Para la medición del nivel de ruido, el sensor del sonómetro del multímetro se ajustó para utilizar la



of hearing loss induced by noise at the 90 dB(A) level in an 8-hour workday, using the following expression:

$$MAET = \frac{8}{2^{(NEL-90)/3}}$$

where,

MAET = maximum allowable exposure time (h)

NEL = noise exposure level dB(A).

### Thermal comfort degree

The effective temperature (Et) equation that considers both wind speed and relative air humidity by Missenard in 1937 (Teodoreanu, 2016) was used; its validity, despite its age, makes it a classic bioclimatic index. This index is defined as the temperature in calm air that a healthy, sedentary subject, seated in the shade and dressed in work clothes, would perceive if the relative humidity were 100 % (Tejeda-Martínez, Luyando, & Jáuregui, 2011). The mathematical expression is as follows:

$$Et = 37 - \frac{37 - at}{0.68 - 0.0014r + \frac{1}{1.76 + 1.4v^{0.75}}} - 0.29ta \left(1 - \frac{r}{100}\right)$$

where,

Et = effective temperature (°C)

at = ambient temperature (°C)

r = relative air humidity (%)

v = wind speed (m·s<sup>-1</sup>).

### Statistical analysis

To test the normality hypothesis of the variables noise, effective temperature and lighting, the modified Shapiro-Wilks test was used, showing that these do not come from a population with a normal distribution; therefore, to detect statistical differences between jobs, sawmills and times of day, non-parametric analysis of variance and Kruskal-Wallis median range comparison tests ( $\alpha = 0.05$ ) were carried out. These analyses were performed with the InfoStat 2018 version program (Di Rienzo et al., 2018).

## Results and discussion

### Noise level

The information in Table 2 shows that the differences in the noise level between the jobs, sawmills and times of day were significant ( $P < 0.05$ ). By workstation, the highest noise level was recorded in the head saw and resaw areas with an average of 100 dB(A), while lower levels of around 85 dB(A) were determined in the forklift operator's workstation. By sawmill, the noise generated by La Victoria's machinery is 6.9 % higher than that of the El Diamante sawmill, which had the lowest noise.

escala de ponderación "A" o ciclo de respuesta lenta con un umbral de integración de 85 dB(A) y un rango de medición de 85 a 115 dB(A).

### Límite de exposición permisible al ruido

Se utilizó la ecuación del tiempo máximo permisible de exposición (TMPE) estipulado por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social en la NOM-011-STPS-2001 (STyPS, 2001). Esta norma determina los valores límite de ruido en los que los trabajadores, de estar expuestos repetidamente, no corren riesgo de pérdida de audición inducida por ruido al nivel de 90 dB(A) en una jornada laboral de 8 h, mediante la siguiente expresión:

$$TMPE = \frac{8}{2^{(NER-90)/3}}$$

donde,

TMPE = tiempo máximo permisible de exposición (h)

NER = nivel de exposición al ruido dB(A).

### Grado de confort térmico

Se utilizó la ecuación de la temperatura efectiva (Te) que considera tanto la velocidad del viento como la humedad relativa del aire propuesta por Missenard en 1937 (Teodoreanu, 2016), cuya vigencia, a pesar de su antigüedad, lo convierte en un índice bioclimático clásico. Dicho índice se define como la temperatura del aire en calma que en ausencia de radiación percibiría un sujeto sedentario, sano, a la sombra y vestido con ropa de trabajo, si la humedad relativa fuera del 100 % (Tejeda-Martínez, Luyando, & Jáuregui, 2011). La expresión matemática es la siguiente:

$$Te = 37 - \frac{37 - ta}{0.68 - 0.0014r + \frac{1}{1.76 + 1.4v^{0.75}}} - 0.29ta \left(1 - \frac{r}{100}\right)$$

donde,

Te = temperatura efectiva (°C)

ta = temperatura ambiente (°C)

r = humedad relativa del aire (%)

v = velocidad del viento (m·s<sup>-1</sup>).

### Análisis estadístico

Para probar la hipótesis de normalidad de las variables ruido, temperatura efectiva e iluminación, se empleó la prueba de Shapiro-Wilks modificada, la cual demostró que estas no provienen de una población con distribución normal; Por tanto, para detectar diferencias estadísticas entre puestos de trabajo, aserraderos y horarios del día, se hicieron análisis de varianza no paramétrica y pruebas de comparación de rangos de la mediana de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ). Estos análisis se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

**Table 2. Noise conditions in the evaluation categories in six sawmills in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.****Cuadro 2. Condiciones de ruido en las categorías de evaluación en seis aserraderos de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.**

Category/Categoría	Mean dB(A)/ Media dB(A)	TMPE (h)	Median dB(A)/ Mediana dB(A)	Average of ranges*/ Promedio de rangos*	DF/GI	C	H	P
<b>Jobs/Puestos de trabajo</b>								
Forklift operator/ Operador de montacargas	85.23	24.08	85.40	103.20 a	4	1	300.14	0.0001
Edger operator/ Operador de desorilladora	89.71	8.55	90.75	198.03 b				
Swing saw operator/ Operador de trocero	91.69	5.41	91.60	230.11 b				
Resaw operator/ Operador de reaserradora	98.52	1.12	98.70	369.86 c				
Sawyer/ Aserrador	102.47	0.45	103.50	400.70 c				
<b>Sawmills/Aserraderos</b>								
El Diamante	88.35	11.71	88.00	165.82 a	5	1	36.82	0.0001
Quintana 1	92.72	4.27	91.85	235.28 b				
Pueblo Nuevo	92.51	4.48	94.20	243.00 bc				
Quintana 2	93.61	3.47	91.85	252.92 bc				
García	94.29	2.97	95.40	272.44 bc				
La Victoria	94.92	2.57	93.20	280.72 c				
<b>Course of the day/Transcurso del día</b>								
Afternoon/Tarde	91.39	5.80	90.40	216.77 a	2	1	8.39	0.0151
Midday/Mediodía	93.28	3.75	92.15	248.68 b				
Morning/Mañana	93.62	3.47	93.00	260.35 b				

\*Ranges with the same letter in each category are not significantly different according to the Kruskal Wallis test ( $\alpha = 0.05$ ). DF: degrees of freedom; C: correction factor of the statistic for tied observations; H: test statistic not corrected for ties.

\*Rangos con la misma letra en cada categoría no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Kruskal Wallis ( $\alpha = 0.05$ ). TMPE: tiempo máximo permisible de exposición; GI: grados de libertad; C: factor de corrección del estadístico por observaciones empatadas; H: estadístico de la prueba no corregido por empates.

Over the course of the day, results indicate that 2.4 % more noise is generated in the morning and midday than in the afternoon, due to the fact that humid air, which is greater in the morning, has a greater number of molecules that propagate sound (Ziemann, Barth, & Hehn, 2013).

The noise level varies between workstations and sawmills due to differences in the shape and size of the teeth of each type of band saw and circular saw (Krilek et al., 2016). According to Owoyemi, Falemara, and Owoyemi (2017), noise from operating saws ranges from 80 to 120 dB; moreover, even when idling, saws can produce noise levels up to 95 dB, which is in line with the 93 dB(A) of the present study, and the level rises to the extreme when the friction of the saw with the wood occurs.

The fact that the La Victoria sawmill generates the highest noise among the sawmills is probably because it has the largest head saw (10" wide = 254 mm). La Victoria

## Resultados y discusión

### Nivel de ruido

La información del Cuadro 2 muestra que las diferencias del nivel de ruido entre los puestos de trabajo, aserraderos y horarios del día resultaron significativas ( $P < 0.05$ ). Por puesto de trabajo, el mayor nivel de ruido se registró en las áreas del aserrador de la sierra principal y en la reaserradora con un promedio de 100 dB(A); mientras que en el puesto del operador del montacargas se determinaron niveles más bajos en torno a los 85 dB(A). Por aserradero, el ruido generado por la maquinaria de La Victoria es 6.9 % más alto con respecto al aserradero El Diamante que tuvo el menor ruido. En el transcurso del día, los resultados indican que se genera 2.4 % más ruido en la mañana y mediodía que en la tarde, debido a que el aire húmedo, el cual es mayor por la mañana, tiene mayor número de moléculas que propagan el sonido (Ziemann, Barth, & Hehn, 2013).

has machinery in all of its workstations unlike the rest of the sawmills evaluated, where they generally lack a resaw and edger as is the case with García and Pueblo Nuevo. These sawmills use 5" wide (127 mm) band saws and, in spite of this, the noise level they generate is statistically comparable ( $P = 0.0001$ ) with that of La Victoria, indicating greater control in the maintenance of the saws, machinery, and motors in the latter.

Electric motors contribute to raising the noise level in sawmills; in this regard, Nandi, Toliyat, and Li (2005) state that motors under normal operating conditions with balanced load and good alignment can cause fatigue failures that lead to increased vibration and noise, which justifies the recommended periodic maintenance.

In sawmills in southern Thailand, Thepaksorn et al. (2017) recorded high noise exposures that included maximum values of 94.4 dB (A), which are similar to those found in the present study in sawmills with the highest noise level.

#### Maximum allowable noise exposure time

According to NOM-011-STPS-2001, the noise level close to 90 dB(A) corresponds to a MAET of 8 h, while values around 100 dB(A) considerably reduce the MAET to less than one hour within an 8-hour workday (Table 2). Based on the foregoing, only the forklift and edger operators' workstations do not pose a risk from noise exposure. Among sawmills, the noise level recorded by El Diamante's machinery also does not pose a risk to workers' health.

In some countries such as Brazil, Chile and Cuba, the average acceptable noise exposure standard in the workplace is 85 dB(A) over an 8-h period; however, this does not imply that there is a safe condition below this reference value, but it does indicate an acceptable level of risk to the worker's hearing health (Anjorin et al., 2015). In relation to the above and as a precautionary measure, it is recommended to implement protection protocols for workers in all the workstations and sawmills of the present study by virtue of exceeding 85 dB(A) of noise. According to Parsons (2000), in industrial settings, values of 90 dB(A) in 8-hour exposure periods have harmful effects on the health of workers in various physiological responses such as changes in heart rate, blood pressure and adrenaline production, as well as psychological impacts (mental health and emotional state).

Among the possible measures to implement in the sawmills under study, it is necessary to make the use of ear protectors mandatory, at least among the workers most exposed to high noise levels, such as machinery operators and their assistants. Also, recovery breaks could be made available depending on the intensity

El nivel de ruido varía entre puestos de trabajo y aserraderos debido a diferencias en la forma y tamaño de los dientes de cada tipo de sierras de banda y de disco (Krilek et al., 2016). Según Owoyemi, Falemara, y Owoyemi (2017), el ruido de las sierras en funcionamiento oscila entre 80 a 120 dB; durante la rotación de las sierras sin efectuar cortes se pueden alcanzar en promedio hasta 95 dB, lo cual concuerda con los 93 dB(A) del presente estudio, y el nivel se eleva al extremo cuando se produce la fricción de la sierra con la madera.

El hecho de que el aserradero La Victoria genere el ruido más alto entre aserraderos se debe probablemente a que cuenta con la sierra principal de mayores dimensiones (10" de ancho = 254 mm). La Victoria tiene maquinaria en todos los puestos de trabajo en comparación con el resto de los aserraderos evaluados, donde generalmente adolecen de la reaserradora y desorilladora como es el caso de García y Pueblo Nuevo. Estos aserraderos utilizan sierras banda de 5" de ancho (127 mm) y, a pesar de ello, el nivel de ruido que generan es equiparable estadísticamente ( $P = 0.0001$ ) con el de La Victoria, lo que indica entonces un mayor control en el mantenimiento de las sierras, maquinaria y motores en este último.

Los motores eléctricos contribuyen a elevar el nivel de ruido en los aserraderos; al respecto, Nandi, Toliyat, y Li (2005) mencionan que los motores en condiciones de funcionamiento normal con carga equilibrada y buena alineación pueden producir fallos por fatiga que derivan en el aumento de vibración y ruido, lo que justifica la indicación de mantenimientos periódicos.

En aserraderos del sur de Tailandia, Thepaksorn et al. (2017) registraron exposiciones altas al ruido que incluyeron valores máximos de 94.4 dB(A), los cuales son similares a los encontrados en el presente estudio en los aserraderos con el nivel más alto de ruido.

#### Tiempo máximo permisible de exposición al ruido

De acuerdo con la NOM-011-STPS-2001, el nivel de ruido cercano a los 90 dB(A) corresponde a un TMPE de 8 h, mientras que los valores alrededor de los 100 dB(A) reducen considerablemente el TMPE a menos de una hora dentro de una jornada laboral de 8 h (Cuadro 2). Con base en lo señalado, los puestos de trabajo del operador de montacargas y de la desorilladora son los únicos que no representan riesgo por exposición al ruido. Entre aserraderos, el nivel de ruido registrado por la maquinaria de El Diamante tampoco representa riesgo a la salud de los trabajadores.

En algunos países como Brasil, Chile y Cuba, el estándar promedio aceptable de exposición al ruido en el lugar de trabajo es de 85 dB(A) en un periodo de 8 h; sin embargo, esto no implica que exista condición

of the noise (Lombardi et al., 2011), as it has been proven that a plan of breaks or rotations every two hours is beneficial for the recovery of the worker (Tharmmaphornphilas & Norman, 2004). In this study, most sawmills implement three to four breaks during the workday, the first one from 8:30 to 9:00 in the morning for breakfast, the second one from 13:30 to 14:30 for lunch and also every three or four hours for changing saws, which in some way contributes to reducing the noise exposure time.

Petusk-Filipe et al. (2014) also note that it is possible to act against noise after it has been transmitted, by installing noise dissipaters around the machinery, which significantly reduces the intensity in workers' ears.

### Thermal comfort zone

According to Table 3, the level of thermal comfort showed no significant difference between workstations ( $P = 0.1035$ ), but it did between sawmills and during

segura por debajo de este valor de referencia, pero indica un nivel aceptable de riesgo para la salud auditiva del trabajador (Anjorin et al., 2015). Con relación a lo anterior y como medida de precaución, se recomienda implementar protocolos de protección para los trabajadores en todos los puestos de trabajo y aserraderos del presente estudio en virtud de rebasar los 85 dB(A) de ruido. De acuerdo con Parsons (2000), en entornos industriales, los valores de 90 dB(A) en periodos de exposición de 8 h tienen efectos nocivos en la salud de los trabajadores en variadas respuestas fisiológicas como cambio en la frecuencia cardíaca, presión sanguínea y producción de adrenalina, así como psicológicas (salud mental y estado emocional).

Dentro de las medidas posibles de implementar en los aserraderos bajo estudio es necesario hacer obligatorio el uso de protectores auriculares, al menos entre los trabajadores más expuestos a niveles altos de ruido como los operadores de maquinaria y sus auxiliares. Asimismo, se podría disponer de pausas de recuperación en función

**Table 3. Effective temperature conditions in the evaluation categories in six sawmills in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.**  
**Cuadro 3. Condiciones de temperatura efectiva en las categorías de evaluación en seis aserraderos de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.**

Category/Categoría	Mean (°C)/ Media (°C)	Median (°C)/ Mediana (°C)	Average of ranges*/ Promedio de rangos*	DF/GI	C	H	P
<b>Jobs/Puestos de trabajo</b>							
Resaw operator/ Operador de reaserradora	19.87	20.41	213.93 a	4	1	7.69	0.1035
Forklift operator/ Operador de montacargas	20.00	20.25	222.69 a				
Edger operator/ Operador de desorilladora	20.12	20.30	229.80 a				
Swing saw operator/ Operador de trocero	20.62	20.63	252.13 a				
Sawyer/ Aserrador	20.81	21.05	263.99 a				
<b>Sawmills/Aserraderos</b>							
El Diamante	19.22	19.05	183.10 a	5	1	68.02	0.0001
Quintana 1	19.59	19.91	190.72 ab				
García	20.13	20.88	229.63 bc				
La Victoria	20.33	20.59	239.21 c				
Quintana 2	21.22	21.59	292.45 d				
Pueblo Nuevo	22.28	22.50	338.66 e				
<b>Course of the day/Transcurso del día</b>							
Morning/Mañana	19.35	19.41	183.29 a	2	1	48.45	0.0001
Midday/Mediodía	20.30	20.58	240.70 b				
Afternoon/Tarde	21.52	21.73	302.39 c				

\*Ranges with the same letter in each category are not significantly different according to the Kruskal Wallis test ( $\alpha = 0.05$ ). DF: degrees of freedom; C: correction factor of the statistic for tied observations; H: test statistic not corrected for ties.

\*Rangos con la misma letra en cada categoría no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Kruskal Wallis ( $\alpha = 0.05$ ). GI: grados de libertad; C: factor de corrección del estadístico por observaciones empatadas; H: estadístico de la prueba no corregido por empates.



the course of the day ( $P = 0.0001$ ). The average effective temperature was established at 20 °C with a difference of 0.98 °C between workstations; but between sawmills, differences of up to 3.06 °C and 2.38 °C were found between morning and afternoon.

The thermal comfort zone is delimited by effective temperatures between 16 and 24 °C, relative air humidity from 40 to 60 % and air speed of 0.7 m·s<sup>-1</sup>; at less than 16.0 °C, discomfort due to cooling is generated, and at more than 24 °C, the heat is uncomfortable (da Silva-Lopes, Domingos, & Perrelli-Jarbas, 2006; Teodoreanu, 2016; Tutuş, Demir, Çiçekler, & Serin, 2018). Based on the above, the workstations in the sawmills under study are in adequate thermal comfort.

With respect to the stipulations of NOM-015-STPS-2001 for high thermal exposures of workers in 8-hour workdays, the 19 to 22 °C range recorded in this study does not pose a risk; that is, exposure to these temperatures in the workstations can be 100 %, since they are less than 25 to 30 °C for light, moderate and heavy work (STyPS, 2002).

In the present study, the fact that the thermal comfort of the work environment was adequate for workers is because the weather conditions during the information gathering period were not extreme (spring season). On the other hand, since the work is carried out in roofed spaces, but with large side openings, it is not possible to keep the temperature constant and regulated, since the air currents cause cooling inside the building. This could be accentuated in the winter time, when complaints of musculoskeletal discomfort or pain are likely to be intensified, due to working in cold environments; in addition, breathing cold air may lead to respiratory and cardiovascular problems, which in turn can decrease work performance (Mäkinen & Hassi, 2009).

### Lighting level

During the study period, the recorded light intensity was high with a daily average of 12 870 lx. This is because the jobs in the evaluated sawmills are not in a closed environment and are located in places where they receive a lot of natural light. The results in Table 4 indicate that the lighting level showed significant differences between jobs and between sawmills ( $P = 0.0001$ ), but not between daytime hours ( $P = 0.3304$ ).

Forklift operators work in maximum light conditions because they work in open spaces with direct exposure to natural sunlight. For this reason, it is suggested that skin and eye protection be used during hours of greater illumination (Fiedler et al., 2007). Workstations under a roof recorded 89 to 96 % less light than the forklift operator area. The results showed that the incidence

de la intensidad del ruido (Lombardi et al., 2011), pues se ha comprobado que un plan de pausas o rotaciones cada dos horas es benéfico para la recuperación del trabajador (Tharmmaphornphilas & Norman, 2004). En este estudio, la mayoría de los aserraderos implementan de tres a cuatro pausas durante la jornada de trabajo, la primera de ellas de 8:30 a 9:00 de la mañana para el desayuno; la segunda de 13:30 a 14:30 horas para la comida y cada tres o cuatro horas para el cambio de sierras, lo que de alguna forma contribuye a disminuir el tiempo de exposición al ruido.

Petusk-Filipe et al. (2014) mencionan también que es posible actuar en contra del ruido posterior a su transmisión, mediante la instalación de disipadores de ruido en torno a la maquinaria, lo que disminuye notablemente la intensidad en los oídos de los trabajadores.

### Nivel de confort térmico

De acuerdo con el Cuadro 3, el nivel de confort térmico no mostró diferencia significativa entre los puestos de trabajo ( $P = 0.1035$ ), pero sí entre aserraderos y en el transcurso del día ( $P = 0.0001$ ). La temperatura efectiva promedio se estableció en los 20 °C con una diferencia de 0.98 °C entre puestos de trabajo; pero entre aserraderos, se encontraron diferencias de hasta 3.06 °C y 2.38 °C entre la mañana y tarde.

La zona del confort térmico está delimitada por las temperaturas efectivas entre los 16 y 24 °C, humedad relativa del aire de 40 a 60 % y velocidad del aire de 0.7 m·s<sup>-1</sup>; a menos de 16.0 °C se generan molestias por enfriamiento, y a más de 24 °C, el calor es incómodo (da Silva-Lopes, Domingos, & Perrelli-Jarbas, 2006; Teodoreanu, 2016; Tutuş, Demir, Çiçekler, & Serin, 2018). Con base en lo anterior, los puestos de trabajo en los aserraderos bajo estudio se encuentran en un confort térmico adecuado.

Con respecto a lo estipulado por la NOM-015-STPS-2001 para exposiciones térmicas elevadas de los trabajadores en jornadas de trabajo de 8 h, los 19 a 22 °C registrados en el presente estudio no representan riesgo; es decir, la exposición a dichas temperaturas en los puestos de trabajo puede ser del 100 %, ya que son menores de los 25 a 30 °C para trabajos leves, moderados y pesados (STyPS, 2002).

En el presente estudio, el hecho de que el confort térmico del ambiente de trabajo fuera adecuado para los trabajadores obedece a que las condiciones climatológicas durante el periodo de colecta de información no fueron extremas (estación de primavera). Por otra parte, como el trabajo es realizado en espacios techados, pero con grandes aberturas laterales, no es posible mantener la temperatura

**Table 4. Lighting conditions in the evaluation categories in six sawmills in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.****Cuadro 4. Condiciones de iluminación en las categorías de evaluación en seis aserraderos de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango.**

Category/Categoría	Mean (Ix)/ Media (Ix)	Median (Ix)/ Mediana (Ix)	Average of ranges*/ Promedio de rangos*	DF/GI	C	H	P
<b>Jobs/Puestos de trabajo</b>							
Edger operator/ Operador de desorilladora	1817.50	1038.50	162.43 a	4	1	260.29	0.0001
Swing saw operator/ Operador de trocero	2828.70	895.00	169.58 a				
Sawyer/ Aserrador	2466.60	992.00	196.82 ab				
Resaw operator/ Operador de reaserradora	4606.70	1459.00	248.93 b				
Forklift operator/ Operador de montacargas	42063.00	45750.00	411.50 c				
<b>Sawmills/Aserraderos</b>							
El Diamante	10758.00	396.50	160.29 a	5	1	57.80	0.0001
La Victoria	11360.00	873.00	214.03 b				
Pueblo Nuevo	15207.00	1366.00	246.60 bc				
Quintana 2	12895.00	1436.00	270.59 cd				
Quintana 1	11562.00	1191.50	271.60 cd				
García	17582.00	2840.00	315.39 d				
<b>Course of the day/Transcurso del día</b>							
Midday/Mediodía	13119.00	1080.00	234.23	2	1	2.21	0.3304
Morning/Mañana	12637.00	1205.00	236.53				
Afternoon/Tarde	12855.00	1880.50	255.36				

\*Ranges with the same letter in each category are not significantly different according to the Kruskal Wallis test ( $\alpha = 0.05$ ). DF: degrees of freedom; C: correction factor of the statistic for tied observations; H: test statistic not corrected for ties.

\*Rangos con la misma letra en cada categoría no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Kruskal Wallis ( $\alpha = 0.05$ ). GI: grados de libertad; C: factor de corrección del estadístico por observaciones empatadas; H: estadístico de la prueba no corregido por empates.

of light at the García sawmill is 38 % higher than El Diamante's, probably because the latter's roof is lower than other structures; even so, the lighting level is above the recommended international labor standards for sawmills, which vary from 500 to 2000 lx (Alves et al., 2002; Lombardi et al., 2011).

Lack of lighting does not pose a risk to workers in these sawmills, and the use of eye protection is even recommended to attenuate the excessive amount of light to avoid problems of visual fatigue, incidence of errors, decrease in work performance and accidents due to the direct effect of glare, brightness and flashes. Another technical solution is the installation of shade mesh in strategic sawmill areas to minimize the incidence of excessive light in the workstations that have this problem.

Visual performance is a concept related to the combination of the eye's effectiveness in receiving and conditioning itself to light, and to the interpretation

constante y regulada, ya que las corrientes de aire ocasionan enfriamiento al interior de la nave. Esto podría acentuarse en la época de invierno, en la cual seguramente las quejas por molestias o dolores musculoesqueléticos se intensifican, debido al trabajo en ambientes fríos; además, la inhalación del aire puede provocar problemas respiratorios, cardiovasculares y bajo rendimiento laboral (Mäkinen & Hassi, 2009).

#### Nivel de iluminación

Durante el periodo de estudio, la intensidad de luminosidad registrada fue alta con un promedio diario de 12870 lx. Esto se debe a que los puestos de trabajo en los aserraderos evaluados no se encuentran en un entorno cerrado y se ubican en lugares donde reciben mucha iluminación natural. Los resultados del Cuadro 4 indican que el nivel de iluminación mostró diferencias significativas entre puestos de trabajo y entre aserraderos ( $P = 0.0001$ ), pero no entre horarios del día ( $P = 0.3304$ ).

of what a person sees. This is important because it can influence the interpretation of what workers see, and in practice an adequate level of lighting is required to promote the desired visual performance for particular job tasks (Parsons, 2000).

Finally, in this study, among the visual categories per position and work area of NOM-025-STPS-2008, lighting is classified as highly accurate to a high degree of specialization in distinguishing details, as it exceeds the 2000 lx reference standard. This indicates that the amount of light is greater than that required at the evaluated sawmills' work stations.

## Conclusions

Of the three environmental variables evaluated in the sawmills, noise poses the greatest risk to workers' health, as they are exposed to levels exceeding 90 dB(A) throughout the workday. The lighting level in the workstations was over the 2000 lx recommended by international standards; however, the level is not constant during the day, so the risk to the worker decreases. During the assessment period, the only variable at appropriate levels was thermal comfort, as the 20 °C average guarantees workers 100 % exposure to this temperature during the working day. Based on the above, the health and safety of workers can be guaranteed by the mandatory use of ear and eye protectors during the workday.

## Acknowledgments

The authors would like to thank the Durango State Science and Technology Council (COCYTED) for funding the research project "Evaluation of environmental conditions and risks in forestry industry jobs in El Salto, Durango" from which this paper originated.

### End of English version

## References / Referencias

- Adu, S., Adu, G., Effah, B., Kwasi, F. M., & Antwi-Boasiako, C. (2015). Safety measures in wood processing: An important component for the entrepreneur-The case of a local furniture industry in Ghana. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 2677-2686. doi: 10.15680/IJRSET.2015.0405004
- Alves, J. U., Minetti, L. J., de Souza, A. P., Silva, K. R., Gomes, J. M., & Fiedler, N. C. (2002). Avaliação do ambiente aliação do ambiente de trabalho na propagação de de trabalho na propagação de *Eucalyptus* spp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(3), 481-486. doi: 10.1590/S1415-43662002000300017
- El operador de montacargas labora en condiciones de máxima luminosidad, debido a que su trabajo se realiza en espacios abiertos con exposición directa a la luz natural del sol. Por esta razón se sugiere el uso de protectores para la piel y ojos en horarios de mayor iluminación (Fiedler et al., 2007). Los puestos de trabajo que se encuentran bajo techo registraron de 89 a 96 % menos luz que la del operador del montacargas. Los resultados mostraron que la incidencia de luz en el aserradero García es 38 % mayor que la iluminación de El Diamante, seguramente porque la techumbre de este último es más baja respecto al suelo que el resto de las estructuras; aun así, el nivel de luminosidad se encuentra por encima del recomendado por la normatividad laboral internacional para aserraderos, el cual varía de 500 a 2000 lx (Alves et al., 2002; Lombardi et al., 2011).
- La falta de iluminación no representa un riesgo para los trabajadores que laboran en estos aserraderos, incluso se recomienda el uso de protectores para los ojos que atenúen la cantidad excesiva de luz para evitar problemas de fatiga visual, incidencia de errores, disminución del rendimiento laboral y accidentes por efecto directo de deslumbramientos, brillos y destellos. Otra solución técnica es la instalación de malla sombra en zonas estratégicas del aserradero que minimice la incidencia de luminosidad excesiva en los puestos de trabajo que presentan este problema.
- El rendimiento visual es un concepto relacionado con la combinación de la eficacia del ojo para recibir y acondicionarse a la luz, y con la interpretación de lo que ve la persona. Esto es importante ya que puede influir en la interpretación de lo que los trabajadores ven, y en la práctica se requiere un nivel de iluminación adecuado para propiciar el rendimiento visual deseado en las tareas particulares de cada puesto de trabajo (Parsons, 2000).
- Finalmente, en este estudio, entre las categorías visuales por puesto y área de trabajo de la NOM-025-STPS-2008, la iluminación se clasifica como de alta exactitud a alto grado de especialización en la distinción de detalles, pues rebasa los 2000 lx de referencia de la norma. Lo anterior indica que la cantidad de luz es superior a la requerida en los puestos de trabajo de los aserraderos evaluados.

## Conclusiones

De las tres variables ambientales evaluadas en los aserraderos, el ruido representa el mayor riesgo para la salud de los trabajadores, pues se encuentran expuestos a niveles que superan los 90 dB(A) durante toda la jornada laboral. La luminosidad en los puestos de trabajo fue superior a los 2000 lx que la normatividad internacional recomienda; sin embargo,

- Anjorin, S. A., Jemiluyi, A. O., & Akintayo, T. C. (2015). Evaluation of industrial noise: a case study of two Nigerian industries. *European Journal of Engineering and Technology*, 3(6), 59–68. doi: 10.15192/PSCP.ASR.2015.12.2.596
- Bates, G., Parker, R., Ashby, L., & Bentley, T. (2001). Fluid intake and hydration status of forest workers-A preliminary investigation. *International Journal of Forest Engineering*, 12(2), 27–32. doi: 10.1080/14942119.2001.10702443
- Blombäck, P. (2001). Improving occupational safety and health. In T. Enters, P. B. Durst, G. B. Applegate, P. C. S. Kho, & G. Man (Eds.), *Applying reduced impact logging to advance sustainable forest management* (pp. 267–281). Thailand: Food and Agriculture Organization of the United Nations-Regional Office for Asia and the Pacific. Retrieved from <https://www.cifor.org/library/1095/>
- da Silva-Lopes, E., Domingos, D. M., & Perrelli-Jarbas, E. (2006). Avaliação de fatores do ambiente de trabalho em uma indústria de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) na região centro-sul do estado do Paraná. *Cerne*, 12(4), 336–341. Retrieved from <https://www.redalyc.org/html/744/74412405/>
- da Silva-Lopes, E., Zanlorenzi, E., Couto, L. C., & Minetti, L. J. (2004). Análise do ambiente de trabalho em indústrias de processamento de madeira na região Centro-Sul do Estado do Paraná. *Scientia Forestalis*, 66, 183–190. Retrieved from <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/SCIENTIA/nr66/cap18.pdf>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018. Argentina: Grupo InfoStat. Retrieved from <http://www.infostat.com.ar>
- Fiedler, N. C., Bonelli-Wanderley, F., Nogueira, M., Silva-Oliveira, J. T. D., Paes-Guimarães, P., & Tonetto-Alves, R. (2009). Otimização do layout de marcenarias no sul do espírito santo baseado em parâmetros ergonômicos e de produtividade. *Revista Árvore*, 33(1), 161–170. Retrieved from <http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/549/1/v33n1a17.pdf>
- Fiedler, N. C., de Lara-Santos, A. M., Corazza-Gatto, A., da Silva-Lopes, E., & da Silva-Oliveira, J. T. (2007). Avaliação das condições do ambiente de trabalho em atividades de poda de árvores. *Cerne*, 13(1), 19–24. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/744/74413103.pdf>
- Krilek, J., Kováč, J., Barčík, Š., Svoreň, J., Štefánek, M., & Kuvik, T. (2016). The influence of chosen factors of a circular saw blade on the noise level in the process of cross cutting wood. *Wood Research*, 61(3), 475–486. Retrieved from <http://www.centrumdp.sk/wr/201603/13.pdf>
- Lombardi, L. R., Pizzol, V. D., Vidaurre, G., Corletti, R. B., & Barbosa, R. L. F. (2011). Análise ergonômica do trabalho em uma serraria do estado do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*, 18(3), 243–247. doi: 10.4322/floram.2011.044
- Mäkinen, T. M., & Hassi, J. (2009). Health problems in cold work. *Industrial Health*, 47(3), 207–220. doi: 10.2486/indhealth.47.207
- Marucci, A., Marucci, D., Monarca, D., Cecchini, M., Colantoni, A., Di Giacinto, S., & Cappuccini, A. (2013). The heat stress for workers employed in a dairy farm. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(4), 170–174. doi: 10.4081/jae.2013.218
- Morabito, M., Iannuccilli, M., Crisci, A., Capecci, V., Baldasseroni, A., Orlandini, S., & Gensini, G. F. (2014). Air temperature exposure and outdoor occupational injuries: a significant cold effect in Central Italy. *Occupational Environmental Medicine*, 71(10), 713–716. doi: 10.1136/oemed-2014-102204
- Nájera-Luna, J. A., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E., Corral-Rivas, J. J., & Vargas-Larreta, B. (2011). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4), 75–89. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n4/v2n4a7.pdf>
- Nandi, S., Toliyat, H. A., & Li, X. (2005). Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors-A review. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20(4), 719–729. doi: 10.1109/TEC.2005.847955
- Otochile, B., Onakoya, P. A., & Otochile, C. C. (2018). Auditory effects of noise and its prevalence among sawmill workers. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 10(2), 27–30. doi: 10.5897/IJMMS2017.1344
- Owoyemi, M. J., Falemara, B., & Owoyemi, A. J. (2017). Noise pollution and control in wood mechanical processing wood industries. *Biomedical Statistics and Informatics*, 2(2), 54–60. doi: 10.11648/j.bsi.20170202.13
- Parsons, K. C. (2000). Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31(6), 581–594. doi: 10.1016/S0003-6870(00)00044-2
- Petusk-Filipe, A., Moreira da Silva, J. R., Trugilho, P. F., Fiedler, N. C., Rabelo, G. F., & Alvarenga-Botrel, D. (2014). Avaliação de ruído em fábricas de móveis. *Cerne*, 20(4), 551–556. doi: 10.1590/0104776020142004959

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCYTED) por el financiamiento al proyecto de investigación “Evaluación de las condiciones ambientales y riesgos en los puestos de trabajo de la industria forestal de El Salto, Durango” del cual se originó el presente escrito.

## Fin de la versión en español

of Agricultural Engineering, 44(4), 170–174. doi: 10.4081/jae.2013.218

- Morabito, M., Iannuccilli, M., Crisci, A., Capecci, V., Baldasseroni, A., Orlandini, S., & Gensini, G. F. (2014). Air temperature exposure and outdoor occupational injuries: a significant cold effect in Central Italy. *Occupational Environmental Medicine*, 71(10), 713–716. doi: 10.1136/oemed-2014-102204
- Nájera-Luna, J. A., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E., Corral-Rivas, J. J., & Vargas-Larreta, B. (2011). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4), 75–89. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n4/v2n4a7.pdf>
- Nandi, S., Toliyat, H. A., & Li, X. (2005). Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors-A review. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20(4), 719–729. doi: 10.1109/TEC.2005.847955
- Otochile, B., Onakoya, P. A., & Otochile, C. C. (2018). Auditory effects of noise and its prevalence among sawmill workers. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 10(2), 27–30. doi: 10.5897/IJMMS2017.1344
- Owoyemi, M. J., Falemara, B., & Owoyemi, A. J. (2017). Noise pollution and control in wood mechanical processing wood industries. *Biomedical Statistics and Informatics*, 2(2), 54–60. doi: 10.11648/j.bsi.20170202.13
- Parsons, K. C. (2000). Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31(6), 581–594. doi: 10.1016/S0003-6870(00)00044-2
- Petusk-Filipe, A., Moreira da Silva, J. R., Trugilho, P. F., Fiedler, N. C., Rabelo, G. F., & Alvarenga-Botrel, D. (2014). Avaliação de ruído em fábricas de móveis. *Cerne*, 20(4), 551–556. doi: 10.1590/0104776020142004959



- Reis-Dutra, T., Pinto-Leite, A., & Dutra-Massad. (2012). Avaliação de fatores do ambiente de trabalho em atividades de um viveiro florestal de Curvelo, Minas Gerais. *Floresta*, 42(2), 269–276. doi: 10.5380/rf.v42i2.18693
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STyPS). (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-011.pdf>
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STyPS). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas-Condiciones de seguridad e higiene. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-015.pdf>
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STyPS). (2008). Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>
- Tejeda-Martínez, A., Luyando, E., & Jáuregui, E. (2011). Average conditions of thermal stress in Mexican cities with more than one million inhabitants in the face of climatic change. *Atmósfera*, 24(1), 15–30. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/atm/v24n1/v24n1a3.pdf>
- Teodoreanu, E. (2016). Thermal comfort index. *Present Environment and Sustainable Development*, 10(2), 105–11. doi: 10.1515/pesd-2016-0029
- Tharmmaphornphilas, W., & Norman, B. A. (2004). A quantitative method for determining proper job rotation intervals. *Annals of Operations Research*, 128(1–4), 251–266. doi: 10.1023/B:ANOR.0000019108.15750.ae
- Thepaksorn, P., Thongjerm, S., Incharoen, S., Siriwong, W., Harada, K., & Koizumi, A. (2017). Job safety analysis and hazard identification for work accident prevention in rubber wood sawmills in southern Thailand. *Journal of Occupational Health*, 59(6), 542–551. doi: 10.1539/joh.16-0204-CS
- Top, Y., Adanur, H., & Öz, M. (2016). Comparison of practices related to occupational health and safety in microscale wood-product enterprises. *Safety Science*, 82, 374–381. doi: 10.1016/j.ssci.2015.10.014
- Tutuş, A., Demir, N., Çiçekler, M., & Serin, H. (2018). Investigation of physical risk factors in Kahramanmaraş Paper Mill. *Journal of Forestry*, 19(3), 330–335. doi: 10.18182/tjf.414136
- Vanadzīņš, I., Eglīte, M., Baķe, M., Sprūdža, D., Martinsone, Ž., Mārtiņšone, I., ...Sudmalis, P. (2010). Estimation of risk factors of the work environment and analysis of employees' self estimation in the wood processing industry. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, 64(1–2), 73–78. doi: 10.2478/v10046-010-0016-7
- Ziemann, A., Barth, M., & Hehn, M. (2013). Experimental investigation of the meteorologically influenced sound propagation through an inhomogeneous forest site. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(2), 221–229. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0387

