

Novasitz

REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

**ALTERNATIVA PARA
DETERMINAR L , k y t_0 DEL
MODELO DE CRECIMIENTO DE
LUDWIG VON BERTALANFFY**

**MEDICIÓN DEL
CLIMA DE
SEGURIDAD Y
SALUD EN EL
TRABAJO.
VARIABLE
PREDICTIVA DE
INDICADORES DE
SINIESTRALIDAD
LABORAL**

**IDENTIFICACIÓN DE
PARÁMETROS DE
OPERACIÓN PARA
CRISTALIZACIÓN DE
TEMPLAS DE C Y
AUMENTAR EL
RENDIMIENTO DE
CRISTALES, CON NUEVAS
TECNOLOGÍAS.**

**ELIMINACIÓN DE
HORMONAS
PERSISTENTES EN
AGUAS
RESIDUALES,
MEDIANTE LOS
PROCESOS FENTON
Y ELECTROFENTON,
PARA UNA MEJOR
SUSTENTABILIDAD
EN EL AMBIENTE.**

ISSN No. 1405-9967
Certificado de Licitud de Título No. 11163
Certificado de Licitud de Contenido No. 7794
Que otorga la comisión calificadora de publicaciones
y revistas ilustradas de la Secretaría de Gobernación.
Reserva 04-2005-091915321800-102



**No. 60
JUNIO 2013**

DIRECTORIO

Ing. Roberto Ortiz Delgadillo.
DIRECTOR.

MTI. Adriana Ivett De la Roca Chiapas.
ENCARGADA DE LA SUBDIRECCIÓN
DE PLANEACIÓN.

Dr. Miguel Ángel Chagolla Gaona.
SUBDIRECTOR ACADÉMICO.

Ing. Raymundo Real Palencia
ENCARGADO DE LA SUBDIRECCIÓN
DE SERVICIOS ADMINISTRATIVOS.

Ing. Alma Lilly Nava Sedano.
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE
COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN.

C. Eduardo Vázquez Aranda.
JEFE DE LA OFICINA DE DIFUSIÓN ESCRITA.

Lic. Celerino Alonso Nájera
JEFE DE LA OFICINA DE DIFUSIÓN AUDIOVISUAL.

C. Arturo Fernández Ortiz
JEFE DE LA OFICINA DE EDITORIAL

C. Susana Castro Martínez.
SECRETARIA.

C. Jesús Basilio Castrejón Cortez
COORDINADOR TÉCNICO DE
LA REVISTA NOUSITZ
Dr. René Salgado Delgado

Tiraje 250 ejemplares Distribución Gratuita.
REVISTA ARBITRADA

CONSEJO EDITORIAL

Ing. Roberto Ortiz Delgadillo
DIRECTOR DEL PLANTEL

Dr. Miguel Ángel Chagolla Gaona
SECRETARIO ACADÉMICO

MTI. Adriana Ivett De la Roca Chiapas
SECRETARIA DE RELACIONES
INTERNAS Y EXTERNAS

Ing. Raymundo Real Palencia
SECRETARIO DE FINANZAS
Y COMERCIALIZACIÓN

MARH. María del Rocio Ramírez Miranda
SECRETARIA TÉCNICO

Ing. Alma Lilly Nava Sedano
JEFA DE INFORMACIÓN

C. Eduardo Vázquez Aranda
JEFE DE EDICIÓN Y PRODUCCIÓN

Ing. Yanet Castrejón Hernández
JEFE DE EDICIÓN DIGITAL

Ing. Narda Martínez García
JEFA DE RESGUARDO Y DISTRIBUCIÓN
DE PUBLICACIONES.

ASESORES

DR. EDGAR GARCÍA HERNÁNDEZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DR. FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ CAMPOS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DR. FRANCISCO JAVIER CARTUJANO ESCOBAR

DEPTO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
ING. RICARDO RODRÍGUEZ ROBLEDO
DEPTO. DE METAL-MECANICA

DR. JOSÉ LUIS CORONEL TRUJILLO
DEPTO. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DR. RENE SALGADO DELGADO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DRA. ANA CELIA CAMPOS HERNÁNDEZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

M.C. ÁNGEL SANDOVAL JACOBO
DEPTO. CIENCIAS BÁSICAS

DRA. MINERVA GUADALUPE VARGAS VEGA
POSGRADO DE METAL-MECANICA

ING. CLAUDIA BARRETO CABRERA
DEPTO. DE ING. INDUSTRIAL

ING. CLAUDIA NOGUERÓN GONZÁLEZ
INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

MARH. ROBERTO YÁÑEZ HERNÁNDEZ
CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

LIC. BLANCA NIEVES CABRERA LÓPEZ
CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

ÍNDICE

ALTERNATIVA PARA DETERMINAR L_{∞} , k y t_0 DEL MODELO DE CRECIMIENTO DE LUDWIG VON BERTALANFFY.....04-20

Carlos Solis-Gil

MEDICIÓN DEL CLIMA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. VARIABLE PREDICTIVA DE INDICADORES SE SINIESTRALIDAD LABORAL.....21-38

MSc. D. Pérez Fernández, Dra. L. Diaz Gispert, MSc. M. Curbelo Martínez and MSc. S. Suarez Sabina

IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA CRISTALIZACIÓN DE TEMPLAS DE C Y AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE CRISTALES, CON NUEVAS TECNOLOGÍAS.39-52

Tomas Peralta Carrisoza, Faustino Espín González, Deyanira Ochoa Vásquez, Blanca Estela Ortiz Aguilar, Enrique López Duran

ELIMINACIÓN DE HORMONAS PERSISTENTES EN AGUAS RESIDUALES, MEDIANTE LOS PROCESOS FENTON Y ELECTROFENTON, PARA UNA MEJOR SUSTENTABILIDAD EN EL AMBIENTE..... 53-62

Sarai Deyanira Vara Hernández, Faustino Espín González, Deyanira Ochoa Vásquez, Laura Rueda Mata, Enrique López Duran

ALTERNATIVA PARA DETERMINAR L_{∞} , k y t_0 DEL MODELO DE CRECIMIENTO DE LUDWING VON BERTALANFFY

Carlos Solis-Gil¹

¹ Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas. Departamento de Ingenierías. Crucero a Punta de Mita S/N, C. P. 63734, csolis@itbahiadebanderas.edu.mx

RESUMEN

Alternativa para la obtención de las constantes de crecimiento (L_{∞} , k y t_0) del modelo de Ludwing Von Bertalanffy. El procedimiento permite obtener una ecuación matemática representativa que relaciona la edad-talla de la población, y no únicamente de una fracción de ella como suele ocurrir por los procedimientos tradicionales. Por lo tanto el procedimiento propone que, apoyados en una serie de fundamentos, se puede y se debe calcular primeramente valores confiables de L_{∞} y t_0 , y posteriormente, basados en estos, se determina la constante de proporcionalidad catabólica k de la población. Se discuten algunos resultados de t_0 obtenidos por métodos tradicionales por diferentes autores.

Palabras clave: Bertalanffy, crecimiento, longitud infinita, pesquerías.

ABSTRACT

An alternative to calculate the growth constant (L_{∞} , k y t_0) from model of Ludwing Von Bertalanffy. The method permits the obtainment of a mathematical equation, representative of all the stratum of the studied population and not only one of its fractions, as occurs commonly with other procedures. To such effect, supported on a series of foundations, trusted values were first estimated for L_{∞} and t_0 , and then, based on their results, the value of the constant of catabolic proportion k of the population were obtained. Also is exposed some results obtained for t_0 by different authors.

Keywords: Bertalanffy, growth, longitude infinite, fishery.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento es el incremento medible de un sistema orgánico, producido por la asimilación de los materiales obtenidos de su medio ambiente[5]. Es la variación de una dimensión cualquiera del individuo en función de la edad [18].

La relación edad-longitud o edad-peso, suele representarse por una curva, que corresponde a valores promedio obtenidos en tiempos distintos. Una curva de crecimiento que represente matemáticamente la talla o el peso individual con la edad debe caracterizarse por su simplicidad, ajustarse a un amplio rango de patrones de crecimiento, ser útil para propósitos descriptivos, y además que sus parámetros posean algún significado fisiológico [8]. Un modelo matemático que satisface estos requerimientos es el desarrollado por Ludwing Von Bertalanffy.

Bertalanffy para el desarrollo de su modelo de crecimiento utiliza varios criterios, algunos de los cuales se describen a continuación.

El crecimiento depende ampliamente de factores externos tales como la nutrición, la temperatura, el espacio vital y factores internos como las hormonas, la diferenciación progresiva, el contenido acuoso, la edad, etc.

El crecimiento resulta del balance entre la construcción y la degradación. El organismo sufre un incremento si la construcción es mayor que la degradación y se vuelve estacionaria si ambos procesos son equivalentes.

Para un análisis cuantitativo del crecimiento no es necesario considerar la complejidad de los eventos químicos y citológicos, sino que podemos incluir constantes que representen promedios de todos los procesos metabólicos.

Un porcentaje aproximadamente constante de materiales estructurales se destruye y se pierde por unidad de tiempo, este concepto se representa en la expresión matemática del modelo de Bertalanffy por la constante de proporcionalidad catabólica k , la cual a su vez es una constante de destrucción por unidad de masa.

Se asume que la construcción de materiales estructurales es proporcional a alguna superficie (Ley de Rubner). Lo que significa que la síntesis orgánica es

proporcional a la resorción de material nutritivo, y por lo tanto a la magnitud de la superficie de absorción.

Se ha observado que, entre organismos relacionados filogenéticamente (esponjas calcáreas, hidroides, antozoarios, turbelarios), las especies que poseen un mayor desarrollo de sus superficies intestinales crecen más que los que poseen poco[5]. Relacionado con esto, Bertalanffy analiza los estudios de crecimiento realizados[1] en bacilos y bacterias esféricas, observando que los primeros crecen casi exclusivamente en longitud, lo cual origina incrementos proporcionales de superficie y volumen, en cambio en las bacterias esféricas el incremento mayor se da en volumen; lo anterior hace que la tasa de crecimiento en bacilos casi sea constante y en las redondas decreciente. De aquí Bertalanffy infiere que:

La asimilación es proporcional a la superficie de absorción y la desasimilación al volumen del individuo.

Ehrhardt (1981) menciona que el modelo de crecimiento de Bertalanffy se fundamenta en:

La tasa de crecimiento representa a la diferencia existente entre la tasa de anabolismo y la de catabolismo[8].

Por medio de un análisis puramente matemático, basado en las leyes de crecimiento expuestas, es posible calcular la magnitud del metabolismo destructivo (catabolismo) a partir de los datos de crecimiento de individuos y de valores obtenidos con base a mediciones directas en experimentos de tipo fisiológico. Existe una variedad de métodos para calcular las constantes de crecimiento (L_{∞} , k y t_0) que se involucran, los cuales son técnicas de ajuste de curvas y no interfieren en la teoría básica del modelo Bertalanffy [5], el cual se describe a continuación.

$$L(t) = L_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (1)$$

$$W(t) = W_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^3 \quad (2)$$

- Donde:
- $L(t)$ = Longitud o talla a la edad t
 - $W(t)$ = Peso a la edad t
 - L_{∞} = Longitud infinita, asintótica, máxima, del pez
 - W_{∞} = Peso infinito, asintótico, máximo, del pez
 - k = Constante de proporcionalidad catabólica
 - t_0 = Edad de longitud igual a cero

El modelo de Bertalanffy, ecuaciones (1) y (2), tiene la cualidad de proporcionar valores de una variable, longitud ó peso, en función de la edad del individuo (Figura 1).

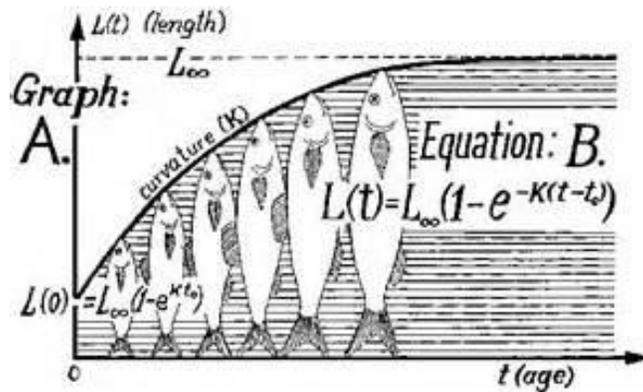


Figura1. Representación gráfica del modelo de Bertalanffy
(Sparre y Venema, 1997) [26].

Excluyendo ciertos casos (bacilos y larvas de insectos), es una característica general del crecimiento orgánico que las tasas de incremento decrezcan continuamente[5]. Cuando el crecimiento se refiere al peso de los organismos éste tiene un comportamiento sigmoideo, es decir, la tasa de incremento en peso decrece a partir de un cierto valor, dado por el punto de inflexión de la curva (figura 2).

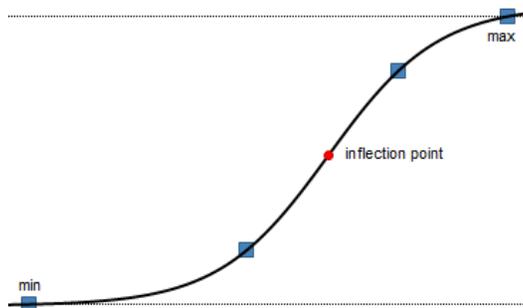


Figura 2. Curva sigmoidea (Hyndman y Athanasopoulos, 2013 [15]).

La representación matemática del crecimiento de los individuos de una población, por medio del modelo descrito, se logra calculando valores representativos, con significado biológico, de la longitud infinita (L_{∞}), la constante de proporcionalidad catabólica (k) y la edad a la cual la longitud es cero (t_0).

Para obtener valores de las constantes L_{∞} , k y t_0 se han desarrollado una serie de procedimientos, los cuales se basan primero, en obtener información de crecimiento por distintos caminos, uno de ellos es la lectura de otolitos y/o escamas, también mediante marcados y recapturas, seguimientos de clases modales (métodos de Petersen, de Cassie, de Battacharia, de Pauly), observaciones en actividades de cultivo, etc. Una vez que se tiene la información que relaciona edad-talla, se pueden utilizar diversos métodos que sirven para determinar las constantes L_{∞} , k y t_0 : Ford-Walford, Beverton y Holt, Gulland y Holt, relaciones empíricas de Taylor, Lopez-Veiga, entre otras.

Es importante mencionar el método de López-Veiga, en el sentido de que propone un procedimiento para la estimación de las constantes para los individuos que poseen una alta tasa de crecimiento durante el primer año de vida, y que por lo mismo alcanzan un alto porcentaje de su longitud asintótica durante ese período; en estos casos al ajustar una curva, por otros métodos, a partir de la edad uno, se genera una gráfica que casi no presenta curvatura proyectándose hacia elevados valores negativos de t_0 (Ehrhardt, 1981) [8].

Para lograr una mayor información de los métodos descritos se puede consultar a Gulland (1971) [12], Ricker (1975) [21], Ehrhardt (1981) [8], Pauly (1983 y 1984) [19] [20].

Uno de los problemas que surgen cuando se calculan las constantes de crecimiento consiste en que comúnmente la función resultante sólo describe convenientemente al crecimiento en el intervalo de edad observado, apartándose de valores lógicos para otras edades; por lo que en estos casos el significado biológico de las constantes será cuestionable. Tratar de corregir dicho sesgo, apoyado en una serie de hipótesis y premisas, es el propósito fundamental de este trabajo.

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

(2.1 Fundamentos, 2.2 Apoyo Metodológico, 2.3 Procedimiento)

2.1. Fundamentos

2.1.1 Se considera que si partimos de información de tallas y edades, recopilada por métodos estadísticos, existe la posibilidad de obtener valores representativos de L_∞ (talla) y t_0 (edad), no así de la constante k .

2.1.2 Teniendo presente que el crecimiento de los individuos se produce sólo cuando las condiciones ambientales lo permiten, podemos agregar, apoyándonos en la fisiología de los organismos diploides, que dicho crecimiento se inicia en el momento de la fecundación del óvulo.

2.1.3 Se define a t_0 como el tiempo que transcurre desde que se inicia el crecimiento hasta el momento de la eclosión, expresado con signo negativo (debido a que el intervalo de tiempo se desarrolla previo al nacimiento). Cuando no existe retraso en el crecimiento (estado de latencia, enquistamientos, etc.) t_0 es el tiempo que dura el desarrollo embrionario.

2.1.4 Considerando la longevidad de los organismos podemos aceptar que, entre poblaciones distintas de la misma especie las variaciones de t_0 no representan grandes diferencias. Por lo tanto un valor representativo de t_0 , obtenido de cualquier población, podría ser utilizado como constante para la especie en cuestión.

2.1.5 Si L_∞ y t_0 son valores biológicos representativos de la población estudiada, se propone que el valor de la constante de proporcionalidad catabólica k se puede obtener a partir de ellos, dándole valores a k hasta encontrar la función que se aproxime mejor a todos los datos observados de edad-longitud.

2.2 Apoyo Metodológico

2.2.1 Determinación de L_∞

Para obtener el valor más representativo de L_∞ se hace necesario conocer las tallas máximas existentes en la población. Con ello, podemos utilizar las siguientes relaciones empíricas de Taylor (1958), cit. por Pauly (1984) [20], las cuales proporcionan una primera aproximación de la longitud asintótica $L(\infty)$ y peso asintótico $W(\infty)$:

$$L_{\max} / 0.95 = L(\infty) \quad (3)$$

$$W_{\max} / 0.86 = W(\infty) \quad (4)$$

Estas relaciones significan, que la longitud máxima (L_{\max}) y el peso máximo (W_{\max}) observados representan aproximadamente el 95% y el 86% respectivamente de la longitud y peso infinito. La razón de utilizar paréntesis en los términos $L(\infty)$ y $W(\infty)$ en lugar de L_∞ y W_∞ , es para distinguirlos como estimaciones preliminares de talla y peso asintótico de los obtenidos desde datos de crecimiento por medio de

métodos como el de Ford-Walford. L_{max} y W_{max} vienen siendo, respectivamente, la longitud y el peso del mayor de los ejemplares registrados mediante un intenso muestreo del recurso, y realizado, de ser posible, cuando el nivel de explotación es aún bajo [19] [20]. Considerando que L_{∞} también se define como la longitud máxima promedio, cabe esperar la posibilidad de que, en algunos casos, ésta sea inferior a L_{max} .

Es de considerar que cuando por causa de un intenso esfuerzo pesquero los individuos de la población no alcanzan tallas próximas a la longitud asintótica, las relaciones de Taylor no son útiles; en estos casos se debe tomar en consideración los incrementos de talla observados para intervalos de tiempo consecutivos, donde proyectando la gradual disminución de dichos incrementos se determina la longitud asintótica o infinita. Consideración en la cual se fundamentan varios de los métodos existentes para la determinación de L_{∞} y k (Ford-Walford, Beverton y Holt, Gulland y Holt, López-Veiga).

Cuando se conoce L_{∞} la mejor manera de calcular W_{∞} es mediante la ecuación que relaciona la talla con el peso, donde $W = a L^b$.

2.2.2 Determinación de t_0

Para lograr determinar el valor de t_0 , se hace necesario obtener, de cualquier fuente confiable, el tiempo aproximado o promedio que transcurre desde que se inicia el crecimiento hasta que ocurre el nacimiento (desarrollo embrionario). Teniendo presente los Fundamentos (2.1.2, 2.1.3 y 2.1.4), este parámetro puede ser determinado tanto por estudios específicos como por investigación bibliográfica. Una de las formas de obtener resultados al respecto es a través del registro de los tiempos de apareamiento, de desove y de eclosión, ya sea por medio de observaciones directas en medios naturales, o por actividades de acuicultura, donde t_0 corresponde al intervalo de tiempo que tarda en eclosionar el huevo, expresado con signo negativo. En algunos casos t_0 incluye también el tiempo que dura el desarrollo larvario.

2.2.3 Determinación de k

Se exponen dos procedimientos para determinar k: uno gráfico y otro algebraico.

a) Gráfico

Se hace necesario contar con valores representativos de L_{∞} y t_0 , así como de disponer de datos observados de edad-longitud. Esto es con la intención de construir familias de curvas, con sus correspondientes ecuaciones, donde L_{∞} y t_0 se mantienen constantes y el parámetro k variable. Aquella curva que en mayor grado se aproxime a los datos de edad-talla será la que contenga el valor de k más representativo de la población (Fundamentos 2.1.5).

b) Algebraico

Para la aplicación de este procedimiento se hace necesario contar con información de L_{∞} y t_0 . Si se dificulta obtener t_0 , se puede utilizar la longitud a la edad cero, es decir, la talla de los organismos al nacer.

López-Veiga (1979) cit. por Ehrhardt (1981) [8] proporciona la siguiente ecuación derivada del modelo de Bertalanffy:

$$k = \text{Ln} [(L_{\infty} - L_0) / (L_{\infty} - L_1)] / t_1 \quad (5)$$

Donde L_0 es la longitud a la edad cero ó de nacimiento (talla de nacimiento) y L_1 es la longitud a la edad uno (t_1).

Partiendo de la ecuación anterior podemos obtener una expresión matemática que nos permita calcular una k representativa. Esto es posible si se determina una k para cada intervalo de L_0 a L_t , donde el promedio de ellas proporciona la k buscada. Dicho procedimiento expresado en términos matemáticos es el siguiente:

$$k = [\sum \text{Ln} (L_{\infty} - L_0) / (L_{\infty} - L_t) / t] / n \quad (6)$$

Donde t es la edad para cada talla, n es el número de edades consideradas.

Si se conoce L_{∞} y t_0 , podemos conocer k despejándola de la ecuación de Bertalanffy y sustituyendo valores de edad y talla.

$$k = \text{Ln} (1-L_t / L_{\infty}) / (t_0-t) \quad (7)$$

También se puede aplicar la regresión lineal propuesta por Beberton y Holt a partir de la ecuación siguiente:

$$\text{Ln} (1-L_t / L_{\infty}) = k t_0 - k t \quad (8)$$

La ecuación (8) es del tipo $y = a + bx$, donde el valor de b es igual a $-k$, por lo tanto $k = -b$.

2.3 Procedimiento

Para la determinación de las constantes de crecimiento del modelo de Bertalanffy fundamentados en las consideraciones expuestas es necesario seguir el procedimiento que se describe a continuación:

2.3.1 Primera determinación de las constantes. Partiendo de información de crecimiento observada (edad-talla, edad-peso) y aplicando un método en particular de los existentes, se obtienen valores de L_{∞} , k y t_0 . A partir de estos valores se origina una primera ecuación de crecimiento, la cual es necesario analizar a fondo, de tal modo que se determine si la ecuación proporciona valores esperados para la población en general, o únicamente para una parte de ella; es muy importante analizar los valores de las constantes L_{∞} , k y t_0 con el propósito de determinar si estas poseen algún significado biológico o son valores que solo logran un ajuste de la curva.

2.3.2 Análisis de los resultados obtenidos de L_{∞} y t_0 . Determinación de los valores más representativos de ambas constantes, esto se logra mediante el apoyo metodológico 2.2.1 y 2.2.2. Se considera que si se parte de datos de edades y talla, primero se debe determinar L_{∞} y t_0 , y a partir de estos calcular k . El resultado de este análisis puede originar nuevos valores de estas constantes y por lo tanto una segunda ecuación de crecimiento. Si los primeros valores obtenidos de L_{∞} y t_0 (punto anterior) no difieren marcadamente de los nuevos obtenidos, entonces

significa que la primera ecuación es la adecuada para la población en general, y que el valor de cada constante posee un significado biológico. Caso contrario se deberá continuar con el punto siguiente.

2.3.3 Análisis de la segunda ecuación obtenida. Dadas las modificaciones de L_{∞} y/o t_0 , se hace necesario determinar la representatividad de la nueva ecuación. Para esto se procede a comparar los datos de talla y/o peso calculados, que se originan de la nueva función, con los datos observados. Una manera simple de lograrlo es utilizando un método gráfico, donde el grado de proximidad entre la curva y los datos observados determina si la función es representativa.

2.3.4 Ajuste de la constante k . En caso de que la segunda ecuación no se aproxime o represente los datos de campo, se hace necesario ajustar el valor de la constante k , lo cual se logra haciéndola variable y manteniendo constantes los valores de L_{∞} y t_0 , de modo que la función se aproxime convenientemente (alta correlación) a los datos observados (apoyo metodológico 2.2.3).

2.3.5 Ecuación final de crecimiento. Se representa con los valores finales determinados de L_{∞} , t_0 y k .

3. DISCUSIÓN

Es claramente observable que los aspectos determinantes de la metodología expuesta, consiste en lograr obtener valores representativos de L_{∞} y t_0 , ya que en lo que respecta a la constante k , ésta se calcula a partir de ellos. Considerando las bases teóricas del método de Ford-Walford, así como sus requisitos de aplicación, podemos decir que si los datos utilizados de edad-longitud son obtenidos correctamente, entonces dicho método provee una forma conveniente para el cálculo de L_{∞} , en cambio, para la constante k en algunos casos genera valores que carecen de un significado biológico. La edad cero $t(0)$ o edad de nacimiento, no confundir con t_0 , es considerada justo en el momento de la eclosión, sin embargo cabe la posibilidad de que para otros trabajos sea establecida al finalizar el desarrollo larval, esto propiciaría un ajuste en el cálculo de t_0 debido a la ampliación del intervalo de tiempo que representa, en este caso sería desde que inicia el crecimiento embrionario hasta que

finaliza el desarrollo larval. Para la obtención de la constante t_0 , ésta es mucha más fácil de lograr en especies que por sus características fisiológicas y anatómicas, así como por su interés económico, han sido sujetas a prácticas de cultivo. En la tabla 1 se reportan resultados obtenidos, por diferentes autores, del tiempo de eclosión para huevos de tilapia, camarón, sardina y ostión. Asimismo se hace la transformación de dichos resultados a valores correspondientes de t_0 (se representa con signo negativo por el proceso ocurre antes del nacimiento).

Tabla 1. Tiempo de eclosión y conversión a sus respectivos t_0 , para tilapia, camarón, sardina y ostión.

AUTOR	ORGANISMO	TIEMPO DE ECLOSION	t_0
M., Rosas M. (1976)[24]	Tilapia (<i>T. melanopleura</i>)	5 días	-0.015año
Huet, M. (1978) [14]	Tilapia	6 días	-0.017año
Ascencio, F. (1983) [4]	Tilapia (<i>S. mossambicus</i>)	2-3 días	-0.008año
C.I.C.T.U.S. (1983) [7]	Camarón (<i>P. stylirostris</i>)	12-15 hr.	-0.019 mes
Gutiérrez M. (2002) [13]	Sardina (<i>S. aurita</i>)	14-22 hr.	-0.028 mes
Loor Mera (2012) [17]	Ostión (<i>C. iridescens</i>)	24 hr.	-0.03 mes
Loor Mera (2012) [17]	Semilla de ostión	35 días	-1.17 mes

Los resultados de t_0 , que se muestran a continuación en la tabla 2, son ejemplos de valores de t_0 que carecen de significado biológico. Todos los que presentan signo positivo carecen de significado biológico, ya que un t_0 positivo indica que la longitud cero se logra posterior al nacimiento, situación que es totalmente improbable. Observando en general los valores de la misma tabla vemos que para tilapia y camarón, estos se alejan marcadamente de los representados en la tabla 1, por lo que podemos afirmar que todos ellos también carecen de significado biológico. Los resultados que se reportan para camarón rojo, podría ser considerados como valores probables si se incluye en t_0 el intervalo de tiempo correspondiente al desarrollo larval. De igual forma en la Tabla 2 se observa lo siguiente, Castro, M. R. (1982) reporta valores muy distintos de t_0 cuando el parámetro se determina para sexos separados [6]. Los diversos resultados de t_0 que se observan para sardina indican que esta población tarda en eclosionar un lapso de tiempo superior al año, lo cual representa otra situación improbable, mismo caso para pez roca; incluso para la

rubia cuyo resultado representa un tiempo de eclosión superior a los seis meses, casi 8 meses.

Tabla 2. Información de to reportadas por diferentes autores de diversas especies.

AUTOR	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	to
González, Herrera y Del Río (1976)[11]	<i>Tilapia zillii</i>	Tilapia	-0.4324 año
	<i>S. mossambicus</i>	Tilapia	-0.3220 año
	<i>S. aureus</i>	Tilapia	-0.4793 año
Rojas, H. A.(1992) [23]	<i>Oreochromis aureus</i>	Tilapia	-0.1818 año
Castro M., R. (1982) [6]	<i>Penaeus aztecus</i>	Camarón café (m)	0.0676 mes
		(h)	0.5151 mes
Lluch, D. (1974) [16]	<i>P. stylirostris</i>	Camarón azul	0.4770 mes
	<i>P. vannamei</i>	Camarón blanco	0.2920 mes
	<i>P. californiensis</i>	Camarón café	0.1400 mes
Arreguín S. (1981) [2]	<i>Penaeus brasiliensis</i>	Camarón rojo (m)	-0.2826 mes
		(h)	-0.3406 mes
		(ambos sexos)	-0.2461 mes
Rojas, Jiménez, Toledo y Mares (1993) [22]	<i>Ch. grandocule</i>	Charal blanco	0.2866 mes
			0.5591 mes
Gallardo, Laguarda, y Corrales (1993) [9]	<i>Ophistonema libértate</i>	Sardina crinuda	-1.1656 año
Alaniz, Pedrin y Ruiz (1992) [1]	<i>Sebastes miniatus</i>	Pez roca	-0.8382 año
Shultz, R. L. y González, J. (1992) [25]	<i>Crassostrea virginica</i>	Ostión	-1.5500 año
Vasconcelos, López y Garduño (1992) [27]	<i>Ocyurus chrysurus</i>		0.9297 mes
		Rubia	0.7775 mes
			-0.6570 año

Una limitante de aplicación de la metodología expuesta consiste en que, dados los requerimientos del mismo de contar con información de edad-longitud, ésta muchas veces es difícil de lograr, principalmente en organismos que carecen de estructuras duras las cuales pudieran registrar el proceso del crecimiento (caso de la mayoría de los invertebrados), exceptuando a aquellas especies en las que se realizan cultivos extensivos en medios semi naturales (encierros) y que debido a que las condiciones ambientales son semejantes a la de la población natural estudiada, es posible obtener datos observados representativos de edad-longitud. Aquí cabría discutir los métodos que se basan en seguimientos de grupos modales, los cuales proveen información de edad-longitud sin que se especifique el periodo de tiempo real transcurrido, ya que generalmente no se dispone de la información necesaria para calcular el intervalo de tiempo que se genera desde el nacimiento hasta la edad uno; por lo

cual los datos de edad-longitud obtenidos por estos métodos son más útiles para la determinación de L_{∞} , pero no para las otras constantes.

Asimismo son discutibles los datos de edad-longitud, originados de lecturas de escama, que no consideran el tiempo real que transcurre para la formación del primer anillo de crecimiento, el cual prácticamente nunca coincide con un periodo anual.

Del análisis del modelo desarrollado por Bertalanffy parece ser de suma importancia revisar uno de sus fundamentos, citado anteriormente, en los que se apoya, donde considera que un porcentaje aproximadamente constante de material estructural se destruye por unidad de tiempo, situación que es probable dependa del tipo de alimento a que estén sujetos los organismos en un momento dado y de la edad del individuo. La modificación de este fundamento podría determinar un ajuste en el modelo. Sin embargo lo anterior se resuelve considerando que k puede ser calculada como un valor promedio de lo que realmente está ocurriendo en las diferentes etapas de crecimiento.

4. CONCLUSIONES

4.1 La parte fundamental del método consiste en obtener primero valores representativos de L_{∞} y t_0 , y posteriormente a partir de ellos calcular k .

4.2 Cuando se trabaja con datos de edad y longitud, y se realiza un extenso muestreo y una intensa búsqueda de información, es posible identificar valores representativos de las constantes L_{∞} y t_0 .

4.3 Los valores obtenidos de L_{∞} y t_0 bajo las consideraciones expuestas, permiten calcular un valor de la constante k que representa todas las etapas de crecimiento de la población.

4.4 Para efectos prácticos t_0 puede ser considerado como un valor constante para la especie en estudio, dado que su variación de una población a otra no debe ser significativa; no así L_{∞} y k , los cuales adquieren valores propios para cada población estudiada, ya que son marcadamente influenciados por las condiciones ambientales particulares y por el régimen de pesca al que está sometida dicha población.

4.5 La constante k , obtenida bajo las observaciones expuestas, representa un indicador, útil y de gran valor, de las condiciones de crecimiento en que se desarrolla una población.

4.6 Dadas las consideraciones expuestas en este documento, se propone que para cada estudio donde se aplique el modelo de crecimiento de Bertalanffy, es necesario analizar e interpretar los resultados de las constantes de crecimiento, esto con el objeto de definir si existe un significado biológico real de los mismos.

5. BIBLIOGRAFIA

[1] ALANIZ, G. J., O. PEDRÍN, G. RUIZ. Aspectos poblacionales de tres especies de peces roca: *Sebastes miniatus*, *S. rosenblatti*, *S. constellatus*, en Isla Guadalupe, Baja California, Méx. (Pisces: Scorpaenidae). VII Congreso Nal. de Oceanografía. Secret. de Pesca. Ensenada, México. Tomo I: 173-181. (1992).

[2] ARREGUÍN-SÁNCHEZ, F. Tasa de crecimiento del camarón rojo (*Penaeus brasiliensis* Latreille, 1817) de las costas de Quintana Roo, México. Ciencia Pesquera. Secret. de pesca. Inst. Nal. Pesca. México, I (1): 61-70. (1981).

[3] ASCENCIO B.F., C. SOLÍS-GIL Y L. COBÁ. Investigación biológica-pesquera del recurso tilapia (*Oreochromis aureus* Steindachner) en la Laguna de Amela, Colima. Inst. Nal. Pesca. México. (1987).

[4] Ascencio B., F. Contribución al conocimiento del cultivo del híbrido de tilapia roja, *Sarotherodon hornorum* (Trewavas) macho x *Sarotherodon mossambicus* (Peters) hembra, en Potrero Grande, Colima. Univ. Aut. Guad. Tesis Lic. México. (1983).

[5] Bertalanffy, L. V. A quantitative theory of organic growth. Human Biology 10 (2): 181-213. (1938).

[6] Castro, M. R. Análisis biológico-pesquero del camarón café (*Penaeus aztecus*) en las costas de Tamaulipas, México. U.N.A.M., Fac. Ciencias. Tesis Lic. (1982).

[7] C.I.C.T.U.S. El cultivo del camarón azul (*Penaeus stylirostris* Stimpson). Univ. Sonora. México. 126 pp. (1983).

- [8] Ehrhardt, N. Curso sobre métodos de dinámica de poblaciones. Estimación de parámetros poblacionales. F.A.O. Inst. Nal. Pesca. México. (1981).
- [9] Gallardo, C. M., A. Laguarda, R. Corrales. Análisis de la edad, crecimiento y mortalidad natural de la sardina crinuda *Ophistonema libertate* (Gunther, 1868) de las aguas del sur del Golfo de California. Ciencia Pesquera. Secret. de pesca. Inst. Nal. Pesca. México. (9):1-146. (1993).
- [10] García, S. And L. Le Reste. Life cycles, dynamics, exploitation and management of coastal penaeid shrimp stocks. F.A.O. Fish. Tech. Pap (203):215 p. (1981).
- [11] González V.I., E. Herrera B. Y C. Del Rio E. Estudio preliminar de edad y crecimiento de cinco especies de peces continentales. Mem. Simp. Pesq. Aguas Cont. Tuxtla, Gtz., Chis. México. Tomo II:367-396. (1976).
- [12] Gulland, J. A. Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. F.A.O. Ed. Acribia. España. 164 pp. (1971).
- [13] Gutiérrez Mercelys, María Balza, Baumar Marín. Efecto de la temperatura en el desarrollo embrionario de la sardina, *sardinella aurita* (valenciennes, 1847) (pisces: clupeidae) en condiciones controladas de laboratorio. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente 41 (1&2): 67-72. (2002).
- [14] Huet, M. Tratado de Piscicultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 745 pp. (1978).
- [15] HYNDMAN, ROB J. AND GEORGE ATHANASOPOULOS (2013), FORECASTING: PRINCIPLES AND PRACTICE. [HTTP://OTESTS.COM/FPP/7/1](http://OTESTS.COM/FPP/7/1).
- [16] Lluch B., D. La pesquería de camarón de altamar en el noroeste un análisis biológico-pesquero. Instituto Nal. de la Pesca/S.I. : 116. México. (1974).
- [17] Llor Mera A. G. Desarrollo de protocolos de manejo para la inducción al desove y larvicultura de la ostra nativa *Crassostrea iridescens* (Hanley, 1854). Tesis de grado. Esc. Sup. Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos naturales. Guayaquil-Ecuador. (2012).
- [18] Margaleff, R. Ecología. Ed. Omega. Barcelona. 951 pp. (1974).
- [19] Pauly, D. Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales. F.A.O. Doc. Tec. Pesca (234) : 49 p. (1983).

- [20] Pauly, D. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programable calculator, ICLARM. Studies and Reviews. Manila, Philippines. (8) 325 pp. (1984).
- [21] Ricker, W. E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Dpto. Env. Fish Mar. Ser. Ottawa. Bull. 191: 382 pp. (1975).
- [22] Rojas, C. P., Ma. L. Jiménez, M. P. Toledo, L. Mares. Estimación de los parámetros de crecimiento y ciclo de madurez gonádica del charal blanco *Chirostoma grandocule*, Steindachner, 1894 (Pisces: Atherinidae) del Lago de Pátzcuaro, Mich. Ciencia Pesquera. Inst. Nal. Pesca. México. (9):1-103. (1993).
- [23] Rojas, H. A. A. Análisis biológico-pesquero de la tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) en la laguna costera de Tres Palos, Guerrero, México. VII Congreso Nal. de Oceanografía. Secret. de Pesca. Ensenada, Méx. Tomo II: 479-489. (1992).
- [24] Rosas M., M. Datos biológicos de la ictiofauna del lago de Pátzcuaro, con especial énfasis en la alimentación de sus especies. Mem. Simp. Pesq. Aguas Cont. Tuxtla Gtz., Chis., México. Tomo II:299-366. (1976).
- [25] Shultz, R. L., E. González. Crecimiento y mortalidad de *Crassostrea virginica* (Gmlin) en lagunas de Tabasco y Campeche, México. VII Congreso Nal. de Oceanografía. Secret. de Pesca. Ensenada, Méx. Tomo II: 417-426. (1992).
- [26] Sparre, P. y Venema, S. C. Intoduction to tropical fish stoch assessment Parte I. Manual FAO Fisheries Technical Paper. No 306, 1, Rev. 2. Rome. 1997.
- [27] Vasconcelos, P. J., A. López, M. Garduño. Edad, crecimiento y mortalidad de la rubia *Ocyurus chrysurus* (Pisces: Lutjanidae), en el Banco de Campeche. VII Congreso de Oceanografía. Secret. de Pesca. Ensenada, Méx. Tomo II: 565-579. (1992).

MEDICIÓN DEL CLIMA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. VARIABLE PREDICTIVA DE INDICADORES SE SINIESTRALIDAD LABORAL

MSc. D. Pérez Fernández¹, Dra. L. Diaz Gisbert², MSc. M. Curbelo Martínez³ and MSc. S. Suarez Sabina⁴

- 1) Universidad “Carlos Rafael Rodríguez”. Carretera a Rodas, kilómetro 4, Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba - dmfernandez@ucf.edu.cu;
- 2) Universidad de Cienfuegos, Cuba - lidiadg2914@hotmail.com;
- 3) Universidad de Cienfuegos, Cuba - mcmartinez@ucf.edu.cu;
- 4) Unidad de Negocios Refinería de Petróleo - ssuarez@covenpetrol.cu

RESUMEN

La medición del clima de seguridad y salud del trabajo ha sido empleado en la literatura científica, como antecedente de la siniestralidad laboral y como aspecto a medir para una correcta evaluación de las cuestiones preventivas en la empresa. Investigaciones desarrolladas respecto al tema, han demostrado el poder predictivo de este factor, para controlar la accidentalidad laboral. La investigación que se presenta se desarrolló en tres empresas del Ministerio de Energía y Minas, en la provincia Cienfuegos, Cuba. Estas han sido catalogadas como empresas con cifras significativas de ocurrencia de accidentes e incidentes laborales, lo cual posibilita comprobar lo establecido en la literatura científica, respecto al poder predictivo del clima de seguridad y salud y su relación con los indicadores de accidentalidad laboral. Las técnicas y herramientas empleadas se fundamentan en la recopilación de datos de series históricas y trabajo con expertos; además de otras propias de la Gestión del Riesgo Laboral. También se emplean técnicas relativas a la estadística multivariada. Como principal resultado se identifican los elementos del clima de seguridad y salud en el trabajo de mayor significación estadística, (mayor incidencia) en la ocurrencia de los accidentes laborales, a partir de la utilización de modelos matemáticos, lo cual permite realizar la propuesta de un conjunto de acciones para disminuir este índice en las empresas estudiadas.

ABSTRACT

Measuring the climate of security and health has been used in scientific literature, as history of workplace accidents and how to look for a proper assessment measure of preventive issues in the company. Developed research on the subject have shown the predictive power of this factor, to control occupational accidents. The research presented was developed in three enterprises of the Ministry of Energy and Mines, in Cienfuegos province, Cuba. These have been listed as companies with significant numbers of occurrence of accidents and occupational incidents, making it possible to check that established in the scientific literature regarding the predictive power of the security environment and health and its relationship with indicators of labor accidents. The techniques and tools used are based on the collection of data and time series with experts; plus other own Labour Risk Management. Techniques on multivariate statistics are also used. The main result of the climate elements identified safety and health at work of greater statistical significance (incidence) in the occurrence of accidents, from the use of mathematical models, which allows the proposal of a set of actions to reduce this rate in the companies studied.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la utilización de las matemáticas tiene una connotación significativa para el modelado de diversos fenómenos acaecidos en la realidad empresarial. Por lo que se hace necesario vincular esta ciencia con la seguridad y salud en el trabajo, lo que posibilita la disminución de problemáticas entre las que se encuentra la accidentalidad laboral.

Las investigaciones relacionadas con accidentes laborales persiguen realizar análisis de indicadores, (incidencia, frecuencia, gravedad y coeficiente de mortalidad) que no conllevan a su causa esencial, y no permiten tomar las medidas preventivas pertinentes. Se pretende entonces trabajar con modelos matemáticos, que expliquen la relación entre variables críticas (número de incidentes, de lesiones leves, de lesiones con incapacidad y de accidentes mortales) y explicativas (evaluación de factores de riesgos laborales, clima de seguridad, entre otras); descubriendo de esta forma las variables explicativas que más inciden sobre la ocurrencia de los accidentes laborales y a partir de éstas, proyectar medidas preventivas para disminuir el valor de la variable crítica.

En diversas literaturas científicas han sido tratadas temáticas relativas a la causalidad de la ocurrencia de accidentes laborales y a la necesidad de realizar análisis con técnicas objetivas, antes y después de la ocurrencia de estos hechos. A su vez se han mencionado cuestiones relativas a los errores humanos, factores psicosociales, factores organizativos, y cuestiones novedosas relacionadas con el tema de la cultura y clima de seguridad, como variables predictivas al ser estudiadas en el área de la seguridad y salud en el trabajo, que con el paso del tiempo han sido insertadas en los análisis teóricos y empíricos relativos a la causalidad de accidentes laborales.

La última de las variables predictivas mencionadas, es el objetivo a tratar en esta investigación. Es denominada como un factor de naturaleza organizativa, resultado de "las decisiones y acciones de la dirección de la empresa en materia de seguridad". Muchos autores, como Tomas et al. (2005); Medina García et al. (2009) y Simard y Marchand (2010), señalan que existe una relación directa entre esta variable y la ocurrencia de accidentes/incidentes laborales.

El clima de seguridad, ha sido empleado en la literatura sobre seguridad laboral, bien como antecedente de la siniestralidad laboral y como aspecto a medir para una correcta evaluación de la seguridad en la empresa. Esta variable ha generado abundante literatura, tanto teórica como empírica, y su utilidad aplicada resulta evidente.

Los resultados investigativos muestran la importancia central del clima de seguridad como factor organizacional que es necesario medir, mantener y promover por su efecto sobre variables claves del trabajador, lo que sugiere que, tanto desde la organización empresarial como sindical, cabe priorizar intervenciones psicosociales sobre el clima de seguridad, ya que son efectivas y viables por su asequibilidad o mayor facilidad en comparación con otro tipo de intervenciones.

Los autores consultados coinciden en plantear que mejorar el clima de seguridad de una empresa significa implicarse en el tema, siendo una buena forma de conseguir mejoras que se mantengan en el tiempo, llegándose a crear una cultura de seguridad (Zohar, 1980; Melia, 1998, García-Layunta, 2002; Oliver, 2005; Tomas et al., 2005; Medina García et al., 2009; Simard y Marchand (2010); Tsung-Chih et al., (2010);Arocena Garro et al., (2011).

El análisis bibliográfico realizado (desde una perspectiva cuantitativa), permite concluir, que de acuerdo al tema tratado, las investigaciones empíricas se orientan en gran medida hacia los estudios de clima de seguridad en un 46%, superando los temas relacionados al análisis de accidentalidad y costos; los que representan el 25% y 29% del total respectivamente. Estas cifras evidencian que el clima de seguridad es una variable con un fuerte poder predictivo en las investigaciones de los accidentes laborales.

En el ámbito nacional se han encaminado estudios para que disminuyan cada vez más los índices de accidentalidad, los que se han aplicado a diferentes organizaciones, pero en su mayoría han carecido de la integración de todas las variables que inciden en su ocurrencia, así como su análisis matemático. Dadas las tendencias actuales en el estudio de la temática es una valoración necesaria a efectuar en las empresas de la provincia y del país.

Tres empresas del Ministerio de Energía y Minas presentan cifras significativas de accidentes e incidentes laborales, las que constituyen casos de estudio del presente

trabajo, definiéndose el problema de investigación: ¿Cómo identificar si el clima de seguridad es una variable que posee poder predictivo en la ocurrencia de accidentes e incidentes en las empresas con cifras significativas de accidentalidad laboral, del Ministerio de Energía y Minas? Siendo el **Objetivo General**: Desarrollar un estudio de accidentes e incidentes laborales, haciendo uso de un modelo matemático en empresas con cifras significativas de accidentalidad laboral, pertenecientes al Ministerio de Energía y Minas.

Objetivos Específicos

1. Identificar el modelo matemático que posibilite explicar los accidentes e incidentes laborales en las empresas con cifras significativas de accidentalidad laboral en empresas pertenecientes al Ministerio de Energía y Minas.
2. Comprobar el poder predictivo del clima de seguridad y salud en el trabajo en la ocurrencia de accidentes e incidentes laborales.
3. Proponer un programa de medidas para la disminución de los accidentes e incidentes laborales para las empresas objeto de investigación, a partir de los resultados obtenidos en el análisis del modelo matemático.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Los instrumentos que miden el clima de seguridad y salud permiten obtener como resultado la percepción de los trabajadores en cuanto a políticas, formación, comunicación, planificación y control, así como promueve la generación de acciones que conlleven a desarrollar comportamientos seguros y la implicación personal de los trabajadores en actividades vinculadas con su bienestar en el trabajo. Para lograr este propósito, se utiliza la encuesta dada por Fernández Muñoz *et al.* (2006) siendo validada estadísticamente para las condiciones de las empresas del territorio nacional por Barrera García (2010). Las variables que se miden este instrumento, están relacionadas principalmente con la percepción de los trabajadores en cuanto a política de prevención, incentivo a los trabajadores, formación, comunicación, planificación y control en materia de seguridad y salud en el trabajo. La medición de estas variables se realiza en una escala Likert de cinco puntos, lo que posibilita la medición del clima de seguridad y a su vez, la toma de decisiones. Es utilizada a su vez, la disciplina relacionada con la estadística multivariada, aplicando para ello el análisis factorial, análisis de componentes principales y los modelos de regresión Poisson, Binomial Negativo y Logístico, que permiten explicar la relación entre la variable dependiente (Accidente Laboral) y las variables relacionadas con el clima de seguridad. Es válido destacar que se tendrán en cuenta los siguientes términos:

Instrumentos: Encuesta a utilizar ofrecida por Fernández Muñoz *et al.* (2006).

Variables: Aspectos que se cuestionan en número de factores en cada instrumento, tales como Gestión de la Seguridad y Salud (43 factores), Evaluación de Riesgos Labores y Satisfacción Laboral.

Factores: Ítems que agrupan las variables estudiadas sin haber realizado el análisis factorial, es decir, los puntos a tratar para el análisis de cada variable.

Componentes: Factores agrupados a partir de la utilización del análisis factorial, que luego se utilizarán en el modelo matemático, y tienen relación con las variables.

3. RESULTADOS

1. Análisis de accidentalidad laboral por organismos

En la Figura 1 se muestra que sobresalen seis organismos que representan el 90% de la accidentalidad laboral en la región (del país) estudiada, y son: Poder Popular, Ministerio de la Agricultura (MINAG), Ministerio de Industria Alimenticia (MINAL), Ministerio de la Construcción (MICONS), Ministerio del Azúcar (MINAZ) y Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

Es preciso destacar que el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) es el organismo que está compuesto por el menor número de empresas (teniendo en cuenta la región del país analizada) en comparación con los organismos que lo superan en cuanto a accidentalidad laboral, esto contribuye a la trascendencia de sus cifras. Además vale resaltar para un mejor análisis de la siniestralidad laboral, el comportamiento de los indicadores relativos a este tema del MINEM, teniéndose en cuenta un período de 6 años. Se realiza una comparación considerándose el año 2012 y 2013, debido a que la investigación fue desarrollada en el último año mencionado.

- El MINEM es el cuarto organismo a nivel nacional con 188 accidentes de trabajo, 192 lesionados y 6 fallecidos.
- Es el segundo organismo que posee mayor número de hombres-días perdidos por accidentes de trabajo con 1 5951.1, y debido a años anteriores el primero con 5 390 hombres-días perdidos.
- En cuanto a los accidentes equiparados al trabajo, es el cuarto organismo con 74 y es el de más aumento con respecto al año anterior (2012) con 12 accidentes.
- También es el cuarto con respecto a lesiones por accidentes equiparados al trabajo con 74 y el tercero donde las mujeres sufren lesiones de este tipo.
- Es el tercero de mayor cifra de índice de incidencia con 2.1 lesionados por cada mil trabajadores.

- El segundo en cuanto al índice de frecuencia con 1,0 lesionados por cada millón de horas trabajadas y en aumentar dicho índice respecto al año anterior (2012) en 0.1.
- Respecto al coeficiente de mortalidad, es el tercer organismo de mayor cifra donde existe 31,3 fallecidos por cada mil lesionados por accidentes de trabajo, a pesar de ser el primero en disminuir en relación al año anterior (2012) en 20.3.

Los elementos anteriores sustentan la decisión de realizar el estudio de incidentes laborales en el MINEM.

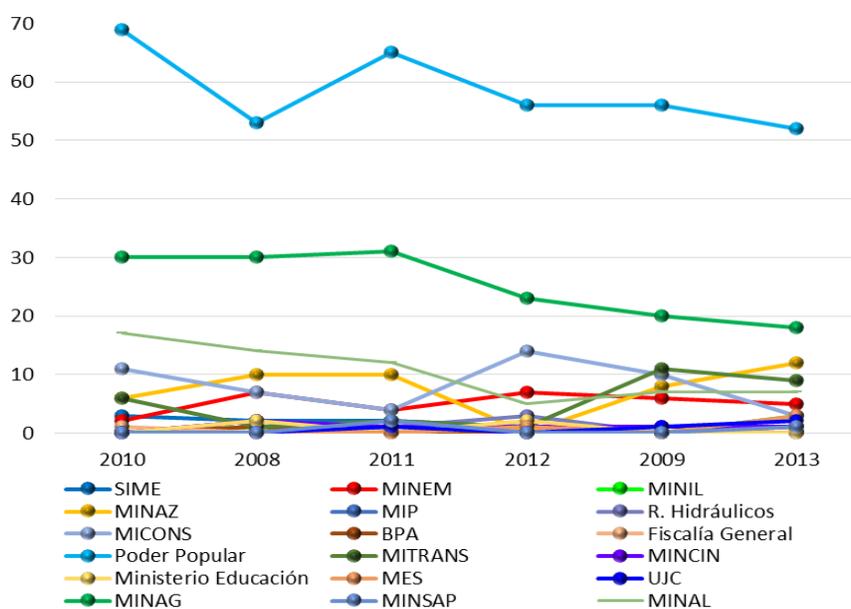


Figura 1. Comportamiento de la accidentalidad laboral (por años) de los 33 instituciones radicadas en la región estudiada. Fuente: Elaboración propia a partir de información brindada por el Ministerio del Trabajo y Seguridad Social.

Teniendo en cuenta las cifras emitidas por el Ministerio del Trabajo y Seguridad Social y en los Anuarios de la Oficina Nacional de Estadísticas de Cuba, se escogen las empresas que reportan altas cifras de accidentes laborales pertenecientes al Ministerio de Energía y Minas, para realizar la investigación sobre clima de seguridad y salud en el trabajo. Estas razones explican el por qué son estudiadas estas empresas desde el punto vista preventivo laboral.

2. Aplicación del método de expertos.

Objetivo: Identificar las variables que medirán el clima de seguridad y salud en el trabajo en las empresas estudiadas.

Se realiza el método de expertos para conocer cuáles de las variables que conforman la encuesta escogida en la literatura científica pasan a formar parte del análisis factorial. Once (11) expertos dan su juicio individualmente. El equipo de trabajo queda conformado por los especialistas en seguridad y salud de la dirección provincial de trabajo, trabajadores de las propias empresas objetos de estudio, así como profesores que investigan en la temática pertenecientes a la Universidad de Cienfuegos, Cuba. Todos presentan un coeficiente de competencia alto, lo que demuestra que están aptos para emitir su juicio respecto al tema.

Para verificar si el juicio de los expertos es consistente o no, se utiliza el paquete de programas estadísticos IBM SPSS versión 20.0, obteniéndose como resultado el coeficiente de Kendall, con un valor de 0.8818672, aproximándose a 1, y la significación asintótica (0.0) menor que el nivel de confianza (0.05) establecido en la investigación, además se utiliza la prueba de hipótesis χ^2 , en la cual se cumple la región crítica. Por tanto se concluye que el juicio de los expertos es consistente demostrándose la validez de los resultados obtenidos en este paso.

Como resultado de la aplicación del método, se obtiene que inicialmente la encuesta que mide el clima seguridad y salud en el trabajo estaba conformada con un total de 43 variables, queda diseñada con 24, con las cuales se realiza el análisis estadístico multivariado. A continuación son presentados los resultados en las tres empresas estudiadas.

Caso de estudio No.1

Análisis matemático

Esta etapa está conformada por diversos pasos. Primeramente se realiza el escalamiento óptimo, luego se efectúa el análisis factorial. Seguidamente se requiere del uso de técnicas de regresión para encontrar el modelo matemático que explique la accidentalidad laboral, a partir de la medición del clima de seguridad y de otras variables independientes que inciden en este indicador.

3.1 Escalamiento óptimo

Objetivo: Transformar variables de tipo categóricas a métricas

Se realiza el escalamiento óptimo por la necesidad de trabajar con variables cuantitativas que garanticen un mejor ajuste del modelo, por lo que se deben transformar las variables de tipo categóricas a métricas; para el caso de variables nominales, las transformaciones deben realizarse de forma tal, que se conserve la correspondencia de las observaciones en cada categoría. Por tanto se utiliza el paquete de programa estadístico IBM SPSS versión 20.0 a través de la opción reducción de datos-escalamiento óptimo, quedando asignadas cuantificaciones numéricas a las categorías de cada variable, para posteriormente realizar el análisis factorial. En todos los casos los resultados obtenidos (coeficiente Alpha de Cronbach y % de varianza total explicada) son aceptables, superiores a 0.8.

3.2 Análisis factorial

Objetivo: Minimizar datos y determinar variables que pueden formar parte del análisis matemático.

El análisis factorial se realiza con las 24 variables relativas al clima de seguridad y salud, derivadas del método de expertos. Este procedimiento estadístico es realizado con el objetivo de encontrar una manera de resumir la información contenida en una serie de factores originales, en una más pequeña de dimensiones compuestas con una mínima pérdida de información.

Diseño de análisis factorial relacionado con las variables asociadas a la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Los resultados obtenidos en el análisis factorial relacionado con las variables asociadas al clima de seguridad y salud en el trabajo, permiten concluir que se cumple con los supuestos establecidos. Por lo que puede proseguirse con el análisis de reducción de factores.

Para este propósito es utilizado el método de los componentes principales, que es apropiado cuando el interés primordial se centra en la predicción o reducción del número de factores necesarios para justificar la porción máxima de la varianza, representada en la serie de variables originales. Al observar las comunalidades, todas las variables se encuentran por encima de 0.5, por tanto pasan a formar parte del estudio. La matriz de pesos factoriales rotadas, muestra que todos los factores saturan en algún componente (según VARIMAX), quedando cuatro cargas factoriales superiores al valor de 0.50 preestablecido, las cuales son: Gestión Preventiva, Formación y Comunicación, Control Organizacional y por último Responsabilidad de la Dirección.

Además se realizaron análisis estadísticos idénticos al expuesto anteriormente, con otras variables que inciden en la ocurrencia de los incidentes laborales, por lo que la lista de variables independientes está compuesta no solo con las relativas al clima de seguridad y salud en el trabajo, sino a otras cuestiones técnicas relacionadas con los riesgos laborales y la conducta de los trabajadores. Esta inclusión enriquece el análisis, debido a que permite correlacionar el clima de seguridad con otras variables incidentes en estos hechos. Para la obtención del modelo matemático que explique la accidentalidad laboral en la empresa objeto de estudio, se cuenta con las siguientes variables:

- Variable dependiente: Accidentes laborales.
- Variables independientes: Aspectos del puesto de trabajo, Comunicación Organizacional, Gestión de la Seguridad, Distribución de las Funciones, Gestión Preventiva, Formación y Comunicación, Control Organizacional, Responsabilidad de la Dirección, Riesgos.

3.3 Selección e interpretación del modelo

Para la elección del modelo que mejor explique los accidentes laborales se utilizan: modelos de regresión logística, modelos de regresión *Poisson* y modelos de regresión binomial negativa. Para la comparación de los modelos se ha utilizado en primer lugar el *test* óptimo, basado en la regresión propuesta por Cameron y Trivedi (1990), para contrastar la sobredispersión o equidispersión en el modelo de Poisson. A continuación se procede al procesamiento de los datos para los tres modelos seleccionados, utilizando el Statgraphics Centurion XV, en el que se ajusta cada modelo, teniendo en cuenta la máxima verosimilitud que permite estimar los parámetros de un modelo probabilístico, de manera que sean los más factibles a partir de los datos obtenidos. A continuación se muestran los componentes, así como el modelo final de cada regresión utilizada.

Resumen de los modelos

Al comparar la significación estadística de los efectos de acuerdo al modelo de Regresión Logística (MRL), modelo de Regresión de Poisson (MRP) y al modelo de Regresión Binomial Negativa (MRBN), se obtienen resultados iguales en el caso de los dos últimos debido a que no hay sobredispersión en los datos. A continuación se muestra en la Tabla 1 los componentes así como el modelo final de cada regresión utilizada.

Tabla 1. Modelos finales ajustados de las regresiones utilizadas. Fuente: Elaboración propia.

Modelos Finales Ajustados	
MRL	$\text{Accidentes} = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$ $\eta = -4,63292 - 0,882158 * \text{Comunicación Organizacional} - 1,0124 * \text{Formación y Comunicación} - 1,6986 * \text{Gestión de la Seguridad} - 1,05741 * \text{Responsabilidad de la Dirección}.$
MRP	$\text{Accidentes} = \exp(-4,49716 - 0,75533 * \text{Comunicación Organizacional} - 0,841783 * \text{Formación y Comunicación} - 1,4949 * \text{Gestión de la Seguridad} - 0,914225 * \text{Responsabilidad de la Dirección}).$
MRBN	$\text{Accidentes} = \exp(-4,49716 - 0,75533 * \text{Comunicación Organizacional} - 0,841783 * \text{Formación y Comunicación} - 1,4949 * \text{Gestión de la Seguridad} - 0,914225 * \text{Responsabilidad de la Dirección}).$

En la Tabla 2 se presentan los valores del porcentaje de desviación explicado y del porcentaje ajustado, obtenidos para los tres modelos.

Tabla 2. Porcentaje de desviación explicado y ajustado para los modelos estudiados. Fuente: Elaboración propia.

	Modelo de Regresión Logística (MRL)	Modelo de Regresión de Poisson (MRP)	Modelo de Regresión Binomial Negativa (MRBN)
Ajuste	Accidentes		
Porcentaje de desviación explicado	31.2508	38.0846	38.0846
Porcentaje ajustado	22.4196	26.2026	26.2026

De la Tabla anterior se concluye que el modelo de Regresión de Poisson y el modelo de Regresión Binomial Negativa, tienen igual porcentaje de desviación explicado y porcentaje ajustado, además, en la Tabla 1 se muestra que el modelo final ajustado es el mismo. Esto se debe a que ambos tipos de regresión son aconsejables, cuando la

variable dependiente es de tipo recuento, pero el modelo de Regresión Binomial Negativa es bueno, cuando existen sobredispersión o equidispersión en los datos, y el de Poisson debe cumplir como supuesto fundamental la equidispersión.

Otro resultado es que tanto el modelo de Regresión de Poisson como el modelo de Regresión Binomial Negativa, presentan mejor porcentaje de desviación y ajuste que el modelo de Regresión Logística, por lo cual se descarta este último para el análisis posterior.

El modelo finalmente seleccionado para la variable criterio, es el modelo de regresión Binomial Negativa, debido a que es efectiva cuando existe sobredispersión en los datos y es el caso que ocupa al presente trabajo.

Téngase en cuenta que estas variables son las que inciden en los accidentes laborales, y las que fueron identificadas en el diagnóstico del proceso de Prevención de Riesgos Laborales y el análisis de siniestralidad como debilidades en investigaciones realizadas a la par con el presente trabajo, validándose desde el punto práctico los resultados obtenidos en el análisis matemático.

Al identificar las variables independientes, evidenciado en el apartado “Diseño del análisis factorial”, estas pasan a formar parte del modelo matemático, por tanto se puede observar que de las nueve (9) variables identificadas, cuatro (4) están relacionadas con el clima de seguridad. En el modelo resultante se observa que todas las variables de mayor incidencia pertenecen al clima de seguridad; esto demuestra lo dispuesto en las investigaciones empíricas consultadas, las cuales expresan en sus resultados el poder predictivo del clima de seguridad respecto a la ocurrencia de los accidentes laborales. Procedimientos similares fueron desarrollados en las dos organizaciones restantes, cuyos resultados se muestran a continuación de forma resumida.

Caso de estudio No.2

Los resultados del análisis de componentes principales, así como del análisis factorial, métodos que permiten identificar variables del clima de seguridad, que pasan a formar parte del análisis con los modelos de regresión, acceden a determinar cuatro componentes. Estas son: Gestión Preventiva, Responsabilidad de la Dirección, Planificación Formativa.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en el diagnóstico del proceso de gestión de la seguridad realizado, se comprueba que existe reiteración en lo obtenido con el análisis estadístico efectuado, validándose desde el punto de vista práctico.

De manera similar al caso de estudio anterior, se le aplicó el análisis de componentes principales y el análisis factorial a diversas variables independientes, relativas a otras

categorías que pueden incidir en la ocurrencia de los incidentes, propiciando de esta forma, establecer una correlación y así demostrar el poder predictivo de la variable clima de seguridad y salud en el trabajo. Por tanto, para la obtención del modelo matemático que explique la accidentalidad laboral en la empresa objeto de estudio, se cuenta con las siguientes variables:

- Variable dependiente: Incidentes laborales.
- Variables independientes: Obligaciones de Seguridad, Aspectos Conductuales, Gestión Preventiva, Responsabilidad de la Dirección, Planificación Formativa, Riesgos de Origen Tecnológico (I), Riesgos de Origen Tecnológico (II), Riesgos Físicos, Riesgos Mecánicos.
-

A continuación se muestran los datos obtenidos a partir de su procesamiento para los tres modelos seleccionados, utilizando el Statgraphics Centurion XV. La Tabla 3 muestra los componentes, así como el modelo final de cada regresión utilizada.

Tabla 3. Modelos finales ajustados de las regresiones utilizadas. Fuente: Elaboración propia.

Modelos Finales Ajustados	
MRL	<p>Incidentes Laborales = $\exp(\eta)/(1+\exp(\eta))$ donde</p> $\eta = -0,0725216 + 1,04491 * \text{Obligaciones de seguridad} + 1,33619 * \text{Aspectos conductuales} + 0,463083 * \text{Gestión preventiva} + 0,736308 * \text{Planificación formativa}$
MRP	<p>Incidentes Laborales = $\exp(-0,771324 + 0,695081 * \text{Obligaciones de seguridad} + 0,598496 * \text{Aspectos conductuales})$</p>
MRBN	<p>Incidentes Laborales = $\exp(-0,771324 + 0,695081 * \text{Obligaciones de seguridad} + 0,598496 * \text{Aspectos conductuales})$</p>

En la Tabla 4 se presentan los valores del porcentaje de desviación explicado y del porcentaje ajustado, obtenidos para los tres modelos.

Tabla 4. Porcentaje de desviación explicado y ajustado para los modelos estudiados.
Fuente: Elaboración propia.

	MRL	MRP	MRBN
Ajuste	Incidentes		
Porcentaje de desviación explicado	22,0256	16,0176	16,0176
Porcentaje ajustado	16,3018	8,55673	8,55673

De la Tabla anterior se concluye que el modelo de Regresión de Poisson y el modelo de Regresión Binomial Negativa tienen igual porcentaje de desviación explicado y porcentaje ajustado, además en la Tabla 3 se muestra que el modelo final ajustado es el mismo. En la investigación los datos no muestran sobredispersión porque la varianza es menor que la media, por tanto ambos modelos arrojan iguales resultados; ante esta situación se puede seleccionar uno u otro indistintamente.

Como conclusión de este paso, el modelo seleccionado para describir la relación entre incidentes laborales y las variables independientes es el de Regresión Logística, debido a que cuenta con un mayor porcentaje de desviación explicado y porcentaje ajustado (Ver Tabla 4).

Las variables independientes identificadas que pasan a formar parte del modelo matemático, son nueve (9), de ellas tres (3) permiten medir el clima de seguridad. Al observar los resultados del modelo escogido se puede detectar que dos (2) de las variables que explican la accidentalidad laboral, están contenidas dentro del clima de seguridad, demostrándose la incidencia de esta causa que origina la ocurrencia de accidentes laborales.

Caso de estudio No. 3

Los resultados del análisis de componentes principales, así como del análisis factorial, permiten determinar que son cinco componentes las que pasan a formar parte del análisis con los modelos de regresión. Estas son: Cumplimiento de la

Legislación, Planificación de la Prevención, Formación en Prevención, Actualización de la Gestión de Riesgos Laborales y por último la Política.

Las variables identificadas son:

- Variable dependiente: Accidentes laborales ocurridos a cada individuo durante el período 2006-2010 (5 años).
- Variables independientes: Compromiso de la Dirección, Condiciones Laborales, Supervisión, Cumplimiento de la Legislación, Planificación de la Prevención, Formación en Prevención, Actualización de la Gestión de Riesgos Laborales, Política, Riesgos.
-

Resumen de los modelos

Al comparar la significación estadística de los efectos de acuerdo al modelo de Regresión Logística (MRL), modelo de Regresión Poisson (MRP) y al modelo de Regresión Binomial Negativo (MRBN) se obtienen resultados iguales en el caso de los dos últimos, debido a que no hay sobredispersión en los datos. A continuación se muestran en la Tabla 5 los componentes así como el modelo final de cada regresión utilizada.

Tabla 5. Modelos finales ajustados de las regresiones utilizadas. *Fuente:* Elaboración propia.

Modelo Final Ajustado	
MRL	$\text{Accidentes Laborales} = \exp(\eta) / (1 + \exp(\eta))$ donde $\eta = -9,82066 - 3,60431 * \text{Compromiso de la Dirección} - 2,56811 * \text{Cumplimiento de la Legislación} - 7,12273 * \text{Formación en Prevención} - 3,02833 * \text{Actualización de la Gestión de Riesgos Laborales} - 5,35337 * \text{Política}$
MRP	$\text{Accidentes Laborales} = \exp(-5,71197 + 1,65921 * \text{Planificación de la Prevención} - 4,06726 * \text{Formación en Prevención} - 3,89328 * \text{Actualización de la Gestión de Riesgos Laborales})$
MRBN	$\text{Accidentes Laborales} = \exp(-5,71197 + 1,65921 * \text{Planificación de la Prevención} - 4,06726 * \text{Formación en Prevención} - 3,89328 * \text{Actualización de la Gestión de Riesgos Laborales})$

En la Tabla 6 se presentan los valores del porcentaje de desviación explicado y del porcentaje ajustado, obtenidos para los tres modelos.

Tabla 6. Porcentaje de desviación explicado y ajustado para los modelos estudiados.
Fuente: Elaboración propia.

	Modelo de Regresión Logístico (MRL)	Modelo de Regresión de Poisson (MRP)	Modelo de Regresión Binomial Negativo (MRBN)
Ajuste	Accidentes		
Porcentaje de desviación explicado	68,2197	45.896	45.896
Porcentaje ajustado	25.6721	6.90887	6.90887

De la tabla anterior se concluye que el modelo de Regresión de Poisson y el modelo de Regresión Binomial Negativo tienen igual porcentaje de desviación explicado y porcentaje ajustado. Además en la Tabla 5, se muestra que el modelo final ajustado es el mismo, por tanto ambos modelos arrojan iguales resultados. Ante esta situación se puede seleccionar uno u otro modelo indistintamente, pero el finalmente seleccionado para describir la relación entre accidentes y las variables independientes es el de Regresión Logística, debido a que este cuenta con un mayor porcentaje de desviación explicado y porcentaje ajustado (Ver Tabla 6).

Al igual que en los dos casos analizados anteriormente, estas variables son las que inciden en la accidentalidad laboral y las que fueron identificadas en el diagnóstico del proceso de Prevención de Riesgos Laborales y el análisis de siniestralidad como debilidades, lo que valida desde el punto de vista práctico los resultados obtenidos. En la Tabla 5 puede observarse que todas las variables identificadas forman parte del clima de seguridad y salud en el trabajo, corroborándose con esta última aplicación práctica, la capacidad de predecir los accidentes laborales que posee este factor.

3. Proyección de las medidas preventivas en función de los resultados obtenidos

Objetivo: Elaborar un conjunto de medidas preventivas para minimizar el efecto de las variables identificadas como significativas en la etapa anterior.

El objetivo perseguido en esta etapa permite disminuir la probabilidad de materialización de factores de riesgos presentes, durante la ejecución de las diferentes actividades. Es por ello que se hace necesario la elaboración e implementación de programas de mejoras, relativos a la Prevención de Riesgos Laborales, que incluyan actividades, niveles involucrados, evaluación y planificación de acciones preventivas. El análisis realizado, permitió la identificación de los componentes de influencia significativa en la ocurrencia de accidentes laborales. Por lo que se proponen un conjunto de acciones de mejoras que deben ser tenidas en cuenta por la dirección de las empresas objeto de estudio, lo cual posibilitaría la disminución de los accidentes/incidentes laborales. Se realizaron dichas propuestas e indicadores para evaluar su cumplimiento de cada acción de mejora. Cabe destacar que dentro de estos planes se indican una serie de medidas que conllevan a la realización de otras investigaciones referidas al procedimiento de “Análisis de Riesgos Psicosociales”, “Diseño de Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud” y “Análisis Ergonómico del Trabajo”, que indican de manera específica la solución a la que se quiere llegar. A su vez, se considera imprescindible establecer planes para la formación en prevención de riesgos laborales para todos los trabajadores, como una forma de crear cultura en seguridad y salud laboral en todos los niveles organizacionales.

4. CONCLUSIONES

La investigación realiza un aporte práctico a supuestos teóricos y trabajos de campo que le anteceden, al comprobarse la hipótesis de que el uso de la estadística multivariada y el análisis de regresión, unido a la aplicación de técnicas propias de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo, identifican de manera objetiva variables que han incidido en la ocurrencia de accidentes laborales, propiciando la elaboración de planes de mejora para su control. Todo ello posibilita una mayor profundización al efectuar estudios sobre este tema en las organizaciones que presentan cifras significativas de estos hechos súbitos. El análisis de diferentes modelos matemáticos desarrollados para explicar la accidentalidad laboral en las empresas estudiadas, permite identificar que el de regresión binomial negativa y el de regresión logística brindan resultados con un menor margen de error y posibilita seleccionar como variables con influencia significativa en la accidentalidad laboral, variables relativas al clima de seguridad; comprobándose de esta manera lo expresado en investigaciones empíricas que plantean la incidencia significativa de esta variable en la predicción de los accidentes e incidentes laborales.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] A.G. Pablo; N.A. Imanol; V.R. Mikel. 2011, 29. El impacto de la prevención de riesgos laborales y los factores organizativos en la siniestralidad laboral.
- [2] A.C. Cameron; P.K. Trivedi. 1990, Vol. 46(No.3):347 – 364. Regression-based tests for overdispersion in the Poisson model. *Journal of Econometrics*.
- [3] B.F. Muñiz; J.M. Peón; C.V. Ordás. 2006, Vol. 12 (No. 3):77 – 93. Desarrollo y validación de una escala de medición para el sistema de gestión de la seguridad laboral. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*.
- [4] M. Garcia-Layunta; A. Oliver; J. M.Tomas; F. Verdøe; G. Zaragoza. 2002. Factores psicosociales influyentes en la ocurrencia de accidentes laborales.
- [5] W. Gardner; E.P. Mulvey; E.C.Shaw. 1995, Vol. 118(No.3):392 - 404 Regression analysis of counts and rates: Poisson, Overdispersed Poisson and Negative Binomial Models.
- [6] J. F. Hair; R. E. Anderson; R. L.Tatham. 1999. Análisis Multivariante. Quinta edición ed. Madrid: Prentice Hall International.
- [7] J. K. Lindsey. 1995. *Introductory Statistics: A Modelling Approach*.
- [8] Long, J. S. 1997. *Regression models for categorical and limited dependent variables*.
- [9] Thousand Oaks, CA: Sage Publications. 1997.
- [10] J.E. Medina; J.L. Cevallos; R.J. Sojos. 2009, 1-6. Identificación de factores de siniestralidad laboral de una empresa dedicada a la producción de equipos eléctricos.
- [11] J. L. Melia; J.M. Peiro. 1998, 5. Cuestionario de Satisfacción Laboral S20/23. *Psicología de la Seguridad Laboral*.
- [12] J. M. Tomas; A. Vheyne. 2005, 253-268. Clima de seguridad laboral: naturaleza y poder predictivo .*Revista de psicología del trabajo y de las organizaciones. Sistema de Información Científica Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*.
- [13] M. Simard; A. Marchand. 1995, 113-129. A multilevel analysis of organizational factors related to the taking of safety initiatives by work groups. *ScienceDirect.com - Safety Science*.
- [14] J. M. Tomás; M. F. Rodrigo; A. Oliver. 2005, Vol. 17(No. 1). *Modelos lineales y*

no lineales en la explicación de la siniestralidad laboral. *Psicothema*.

[15] W. Tsung-Chih; S. Sen-Yu. 2010,423-431. Predicting safety culture: The roles of employer, operations manager and safety professional. *ScienceDirect.com - Journal of Safety Research*.

[16] D. Zohar. 1980,96-102. Safety climate in industrial organisations: theoretical and applied implications. *Journal of Applied Psychology*.

IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA CRISTALIZACIÓN DE TEMPLAS DE C Y AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE CRISTALES, CON NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Tomas Peralta Carrisoza¹, Faustino Espín González¹, Deyanira Ochoa Vásquez¹,
Blanca Estela Ortiz Aguilar¹, Enrique López Duran²

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, *devamx2002@yahoo.com.mx

2) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Sistemas Computacionales. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se realizó un análisis de los parámetros de operación del crista- evaporador (tacho) de templeas de “C” para poder fijar las condiciones óptimas de operación y el material adecuado que será utilizado para la elaboración de azúcar como lo son las mieles de A y mieles de B, así como también la implementación de un microscopio óptico como herramienta de trabajo para recaudar imágenes al momento de la cristalización de templeas de “C”. Se instaló un equipo de cómputo en el área de cristalización para poder monitorear muestras de las distintas templeas de “C”, además se utilizó como herramienta de apoyo para los operadores de los crista- evaporadores (tachos), para así poder tener una visión más amplia y clara de las muestras a verificar. Se utilizó una hoja de cálculo (Excel), en ella se programó una formula la cual auxilió a los operadores al momento de calcular las purezas de las templeas a realizar. Con los datos e imágenes recopiladas se hizo una bitácora de trabajo en la cual se registraron algunas templeas de la zafra 2013- 2014 las cuales serán utilizadas en otros ingenios como guía y ayuda en la mejora continua de la elaboración de azúcar.

Palabras clave: Crista-evaporador (tacho), Templeas de “C”, Mieles de A y B, Cristalización, Pureza.

ABSTRACT

In this paper an analysis of the operating parameters of the massecuites “C” vacuum pans was conducted to establish the optimum operating conditions, and the right material that will be used for the production of sugar such as syrup A and syrup B, as well as the implementation of an optical microscope as a tool to collect images at the time of the massecuites “C” crystallization. Computer equipment was installed in the area to monitor crystallization samples of different massecuites "C" also was used as a support tool for operators of the vacuum pans, in order to have a broader and clearer view sample to be tested. A spreadsheet (Excel), in it a formula which aided operators when calculating the purities of the massecuites was scheduled to perform was used. With the collected data and images became a log of work in which some massecuites of zafra 2013- 2014 which will be used in other mills as a guide and aid in the continuous improvement of the production of sugar were recorded.

Keywords: Vacuum pans, massecuites “C”, syrup A and Syrup B, crystalizations, purities.

1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. Es un híbrido complejo de varias especies, derivadas principalmente de *saccharumofficinarum* y otras especies de *saccharum* [1]. La caña de azúcar ha sido, sin lugar a dudas, uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial en el mundo. Los principales países productores de azúcar son Brasil, La India, Estados Unidos, China, México, Tailandia, Australia, Cuba y Pakistán; estos países concentran el 70% de la producción mundial [2]. El proceso de fabricación de azúcar comienza con la molienda. La caña preparada por las picadoras llega a unos molinos (acanalados), estos equipos mediante presión extraen el jugo de la caña, saliendo el bagazo con aproximadamente 50% de fibra leñosa [1]. El jugo de caña obtenido de la molienda pasa por un proceso de clarificación el cual es de gran importancia ya que esta afecta el rendimiento del azúcar como producto final [3]. Una vez clarificado el jugo pasa a un proceso de evaporación, en el cual se va retirando el agua hasta llevarlo a cierta concentración de sacarosa [4]. La etapa más importante en la elaboración del azúcar es la cristalización la cual se lleva a cabo por un aumento de concentración hasta el punto donde se forman cristales,

una vez regulada la concentración se hacen crecer los cristales al tamaño deseado, esto se lleva a cabo en un crista- evaporador o tacho [5]. El grano de azúcar se hace crecer en estos tachos hasta un tamaño deseado, una vez crecido el grano por medio de un proceso llamado semillamiento (siembra de cristales de azúcar pequeños como área de deposición de la sacarosa) se centrifuga para eliminar el exceso de mieles y se hace pasar por un secador. Se debe de tener cuidado al momento de cristalizar y llevar a cabo una templa ya que existen las reproducciones (formación de grano falso) la cual se produce por un mal control del cocimiento. Esto sucede con mayor frecuencia al momento de desarrollar la templa. El grano falso es pequeño y de estructura débil lo que provoca taponamiento en las telas de las maquinas centrifugas y una pérdida de sacarosa importante en la miel final (miel que ya no es reutilizada en el proceso de elaboración de azúcar), ya que al momento de centrifugarse el grano pequeño que logra pasar junto con la miel final por las telas de las centrifugas, aumentando la cantidad de sacarosa en ella y disminuyendo el rendimiento del grano [5]. En el siguiente trabajo se realizó un análisis de los parámetros de operación del crista- evaporador de templas de “C” para poder fijar las condiciones óptimas de operación y el material adecuado que será utilizado para la elaboración de azúcar, así como también la implementación de un microscopio óptico como herramienta de trabajo para recaudar imágenes al momento de la cristalización de templas de “C”. Se instaló un equipo de cómputo en el área de cristalización para poder monitorear muestras de las distintas templas de “C”, además se utilizó como herramienta de apoyo para los operadores de los tachos, para así poder tener una visión más amplia y clara de las muestras a verificar. Por otro lado también utilizo una hoja de cálculo (Excel) la cual auxilió a los operadores al momento de calcular las purezas de las templas a realizar. Con los datos e imágenes recopiladas se hizo una bitácora de trabajo en la cual se registraron algunas templas de la zafra 2013- 2014 las cuales serán utilizadas en otros ingenios como guía y ayuda en la mejora continua de la elaboración de azúcar.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la realización del desarrollo del proyecto, se muestra en la figura 1.

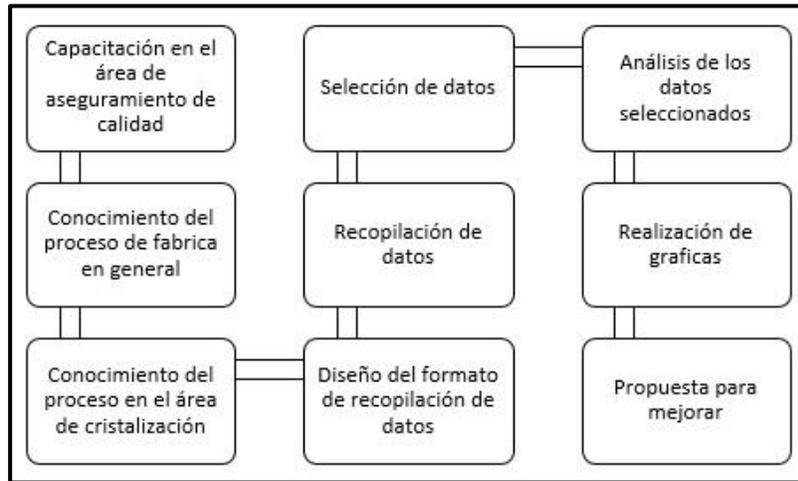


Figura 1. Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto.

Se trabajó un mes en el área de aseguramiento de la calidad para tener conocimiento de que tipo de análisis se hacen a lo largo del proceso de elaboración de azúcar y de la fábrica en general. Los meses restantes de zafra se trabajó en el área de cristalización, para comprender este proceso se necesitó de la ayuda de los ingenieros y operadores a cargo de los crista- evaporadores (tachos). En una hoja de cálculo de Excel se recopilaron los datos de las condiciones de operación del cristalizador, los datos de las mieles que laboratorio envía a fábrica y las imágenes capturadas al momento de realizarse la cristalización o templa. Se realizó la recopilación de datos de las cristalizaciones y templeas que se llevaron a cabo en turno. Un grupo de personas expertas en el tema se dieron a la tarea de elegir los datos que serían útiles para realizar este trabajo, una vez seleccionados los datos, se llevó a cabo un análisis de los datos con la ayuda de un grupo de personas expertas en el tema. Se realizaron graficas de pureza de semillamiento contra pureza de la templa de c para identificar la pureza óptima de semillamiento. Las imágenes capturadas con el microscopio se ajustaron a 4.5 y a 1.5X para observar más a detalle la calidad de la templa. En la Tabla 1 se muestra la hoja de cálculo de Excel en la cual se recopilaron los parámetros operacionales del tacho.

Tabla 1. Registro de parámetros e imágenes adjuntadas del semillamiento y templeas de “C”.

No. TACH	No. TEMP	INICIO	TERMINO	MATERIAL UTILIZADO		CAPTURA		OBSERVACIONES: IMG A 4.5X	CONDICIONES DE OPERACIÓN				
				% MA	% MB	IMG 15X	HFI		TEMP	VACIO	NIVEL	T.C. BAR	Brit
1	823	7:57	16:10	50	10			CRISTALIZACION CON MELAJURA. INTRODUCCION DE NUCLEOS	55	20,5	60	46	81
						AS DE	8:02	TEMPLAS DE C\8.02 4.jpg	55	20,5	60	46,4	82,9
						AS DE	8:32	TEMPLAS DE C\8.32 4.jpg	56	20,5	60	47,3	85,4
						AS DE	9:02	TEMPLAS DE C\9.02 4.jpg	55	20,5	60	44,7	79,3
						AS DE	9:32	TEMPLAS DE C\9.32 4.jpg	56	20,5	60	44,7	79,5
						AS DE	10:02	TEMPLAS DE C\10.02 4.jpg	56	20,5	60	44,2	85,3
					15	AS DE	10:32	TEMPLAS DE C\10.32 4.jpg	59	20,5	75	47,7	87,8
					20	AS DE	11:09	1° CORTE	59	20,5	95	47,4	82,8
						AS DE	11:39	TEMPLAS DE C\11.39 4.jpg	58	21	65	47,8	90,2
					15	AS DE	12:09	TEMPLAS DE C\12.09 4.jpg	60	21	80	41,6	91,8
					20	AS DE	12:30	2° CORTE	59	21	100	41	79,9
						.	13:00	TEMPLAS DE C\13.00 4.jpg	60	21	60	41,8	92,3
					10	AS DE	13:30	TEMPLAS DE C\13.30 4.jpg	59	21	70	41,8	88,2
					10	AS DE	14:00	TEMPLAS DE C\14.00 4.jpg	60	21	80	41,3	93,1
					10	AS DE	14:30	TEMPLAS DE C\14.30 4.jpg	60	21	90	41,5	95,1
					5	AS DE	15:00	TEMPLAS DE C\15.00 4.jpg	59	21	95	42,2	83,2
					5	AS DE	15:30	TEMPLAS DE C\15.30 4.jpg	60	21	100	42,2	87,7
						.	16:10	DESCARGANDO	60	21	100	42,1	87,9

Juzgando a la templa con base a las imágenes capturadas se catalogaron, dependiendo de la cantidad y la calidad del cristal, así se lograron establecer tres tipos de templeas de “C”; templeas de buena calidad, regulares y malas. A continuación se muestran los tres tipos de templeas de “C” según su calidad.

Cabe mencionar que la selección de la calidad de las templeas se llevó a cabo tomando en cuenta la limpieza de la misma, esto quiere decir que la templa debe de estar libre de nucleación y sin mucha variación en el tamaño del grano (pequeños cristales).

En la figura 2 se muestran las imágenes capturadas con el microscopio a 1.5X de las templeas de C según su clasificación.

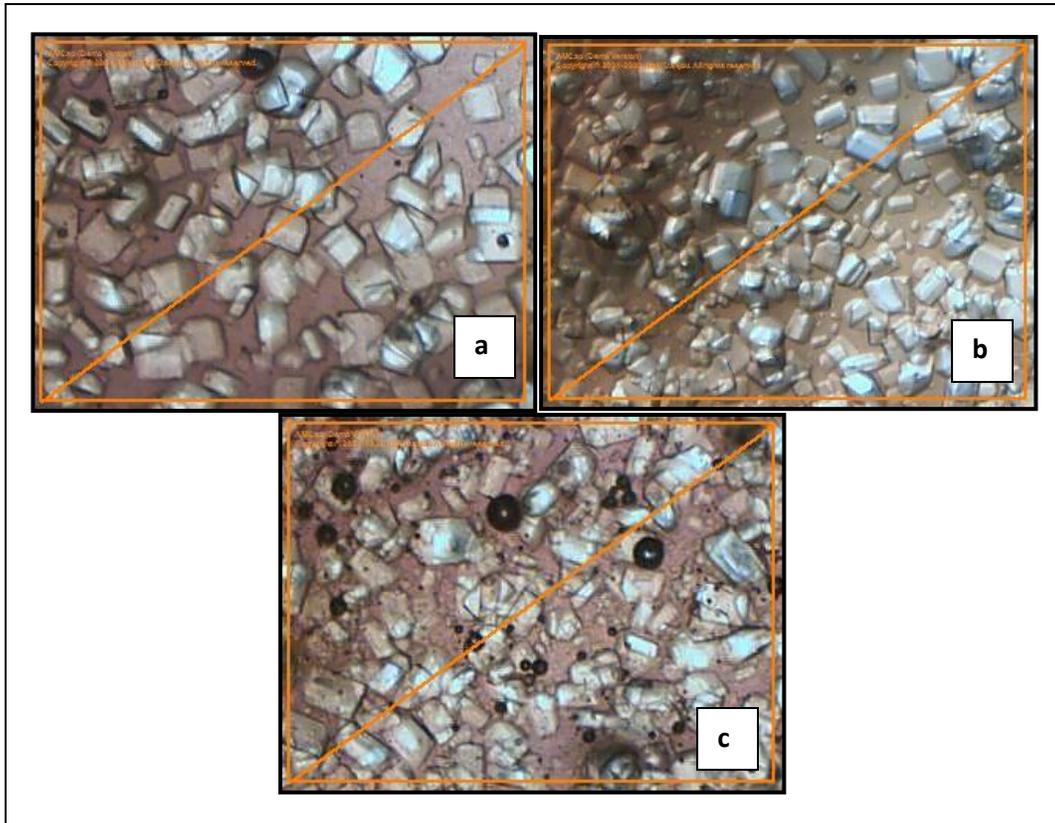


Figura 2. Imágenes de las templas de “C” a 1.5X. Templá de buena calidad (Fig. 2A); Templá de calidad regular (Fig. 2B); Templá de mala calidad (Fig. 2C).

Una templa con cristales escasos provoca una nucleación espontánea severa, la miel que envuelve al cristal impide que la sacarosa ocupe la superficie, provocando una nueva cristalización y generando cristales pequeños denominados granos falsos, ya que la cantidad de sacarosa con la que se forman es escasa. Esto provoca que las mallas de las centrifugas se tapen y genere derrames de agua sobre los pocos cristales bien formados, aumentando el porcentaje de sacarosa en la miel final y un rendimiento bajo en la producción de azúcar final.

Para poder lograr que la templa tuviese una buena calidad en su desarrollo se utilizó el diagrama de cobenze que se describe de la siguiente manera como lo indica la Figura 3.

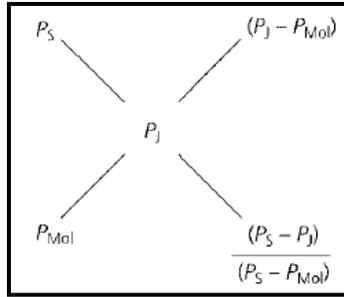


Figura 3. Diagrama de Cobenze.

Donde:

P_s = pureza de la semilla

P_{Mol} = pureza de la miel

P_j = pureza requerida de la templa.

Con esta fórmula podemos encontrar el porcentaje de miel que se debe de utilizar cuando se requiere de cierta pureza de la templa a realizar. Se programó una hoja de cálculo de Excel para poder obtener el porcentaje del material a utilizar para el desarrollo de la templa, el material que se utiliza es Miel A y Miel B, como se muestra en la Tabla 2. Según lo crea conveniente el operador del tacho, esto también depende de las purezas de las mieles.

Tabla 2. Formula del Diagrama de Cobenze desarrollada en una hoja de cálculo de Excel.

MATERIAL	PUREZA	TEMPLA "C" 58-60%	PZA TEMPLA
MIEL A	72	20	60,808
MIEL B	58,01	80	

3. RESULTADOS

En la figura 4, se muestra un histograma con la pureza de plantas de C de datos recopilados el mes de Marzo.

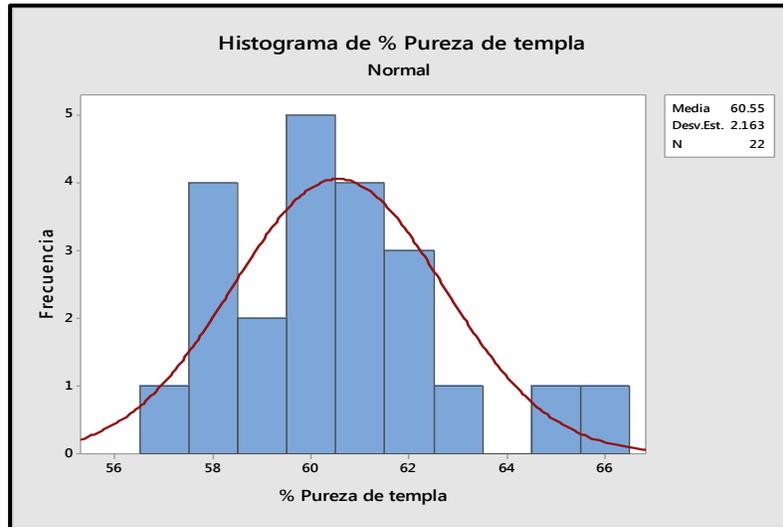


Figura 4. Histograma de porcentaje de pureza de planta del mes Marzo.

En la figura 5, se grafica la pureza del semillamiento vs pureza de planta del mes de Marzo.

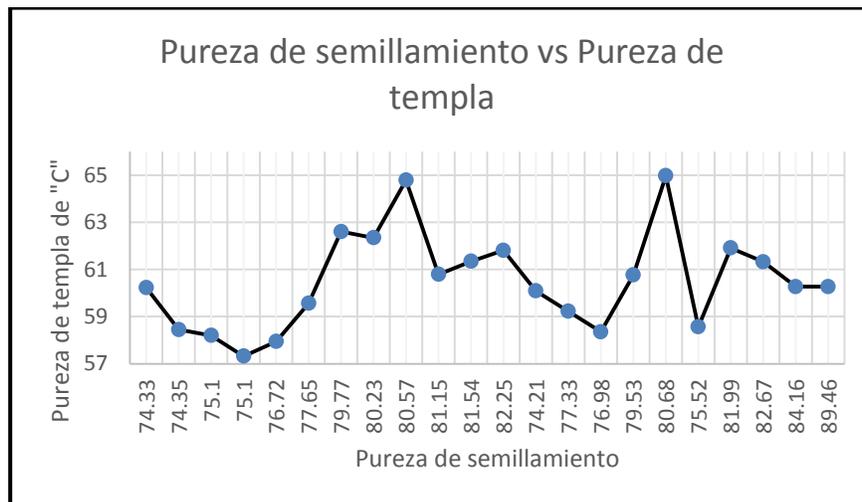


Figura 5. Gráfica de pureza de semillamiento vs pureza de planta del mes Marzo.

El histograma y la gráfica del mes de Marzo se realizaron sin aplicar aun la fórmula de Cobenze, esto, para hacer notar el cambio en la estabilidad del proceso en los meses siguientes a la zafra.

Una vez aplicada la formula se realizaron dos histogramas y dos graficas más de los meses de Abril y Mayo. La figura 6 muestra el histograma de los datos recopilados de porcentaje de pureza de la templa del mes de Abril.

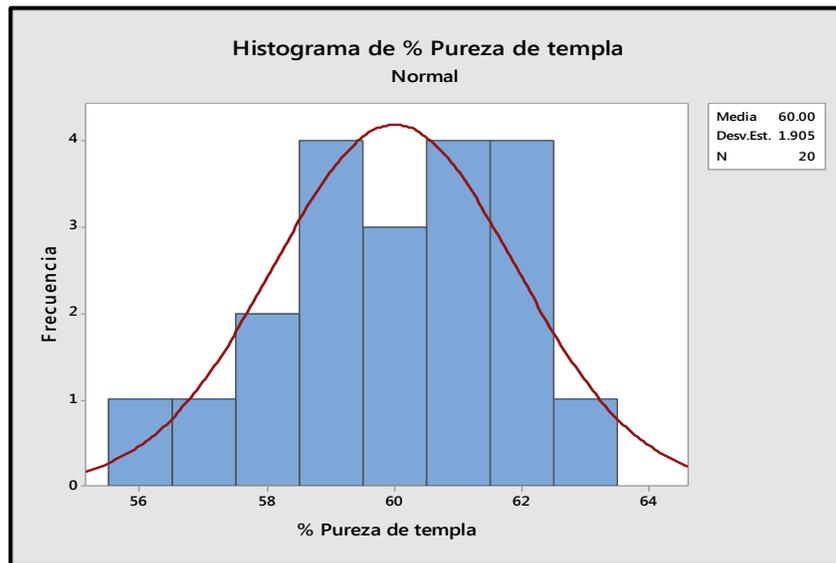


Figura 6. Histograma de porcentaje de pureza de templa del mes Abril.

La desviación estándar del mes de Abril es menor comparada con la del mes de Marzo, esto quiere decir que hay una mejoría en la estabilidad del proceso al momento de llevar a cabo una templa. En la figura 7 se muestra la gráfica de porcentaje de pureza de semillamiento vs porcentaje de pureza de la templa.

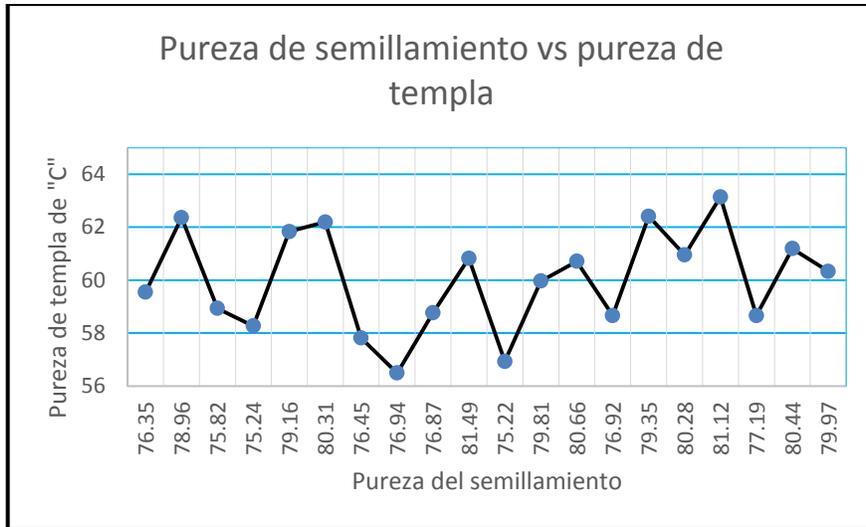


Figura 7. Gráfica de pureza de semillamiento vs pureza de templa del mes Abril- Mayo.

Se realizaron el histograma y la gráfica de porcentaje de pureza de semillamiento vs porcentaje de pureza de la templa para el mes de Mayo, como se muestran en las figuras 8 y 9.

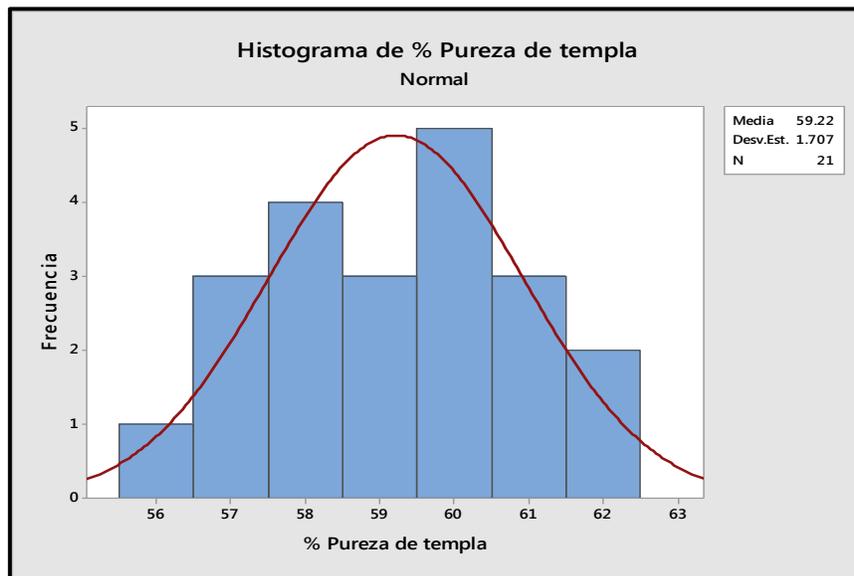


Figura 8. Histograma de porcentaje de pureza de templa del mes Mayo- Junio.

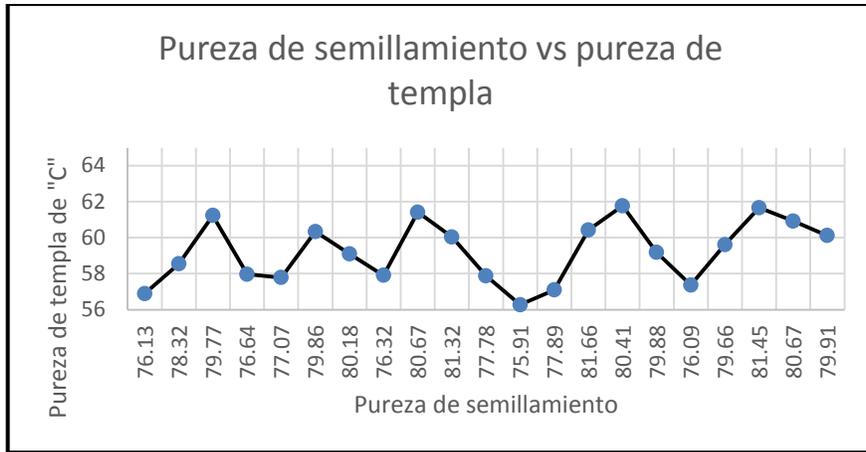


Figura 9. Gráfica de pureza de semillamiento vs pureza de templa del mes Mayo.

En la figura 10 se muestra una gráfica que se realizó con los datos de laboratorio de fábrica de porcentaje de miel final de los meses de Marzo, Abril y Mayo (datos los cuales laboratorio de fábrica reportaba y registraba cada hora las 24 h del día).

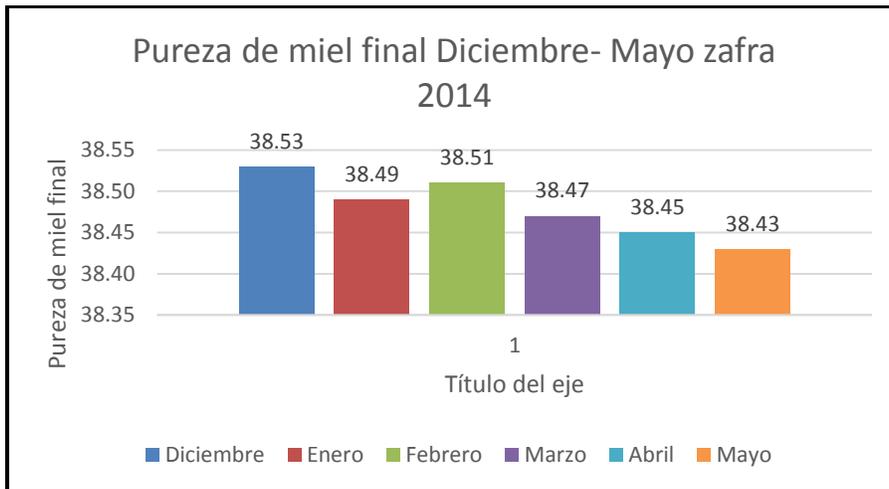


Figura 10. Porcentaje de pureza de miel final de los meses de Diciembre- Mayo de la zafra 2014- 2015.

En las Figuras 11 y 12 se muestran Diagramas de causa-efecto los cuales describen los problemas principales que afectan el rendimiento del cristal y el aumento del porcentaje de sacarosa en miel final.

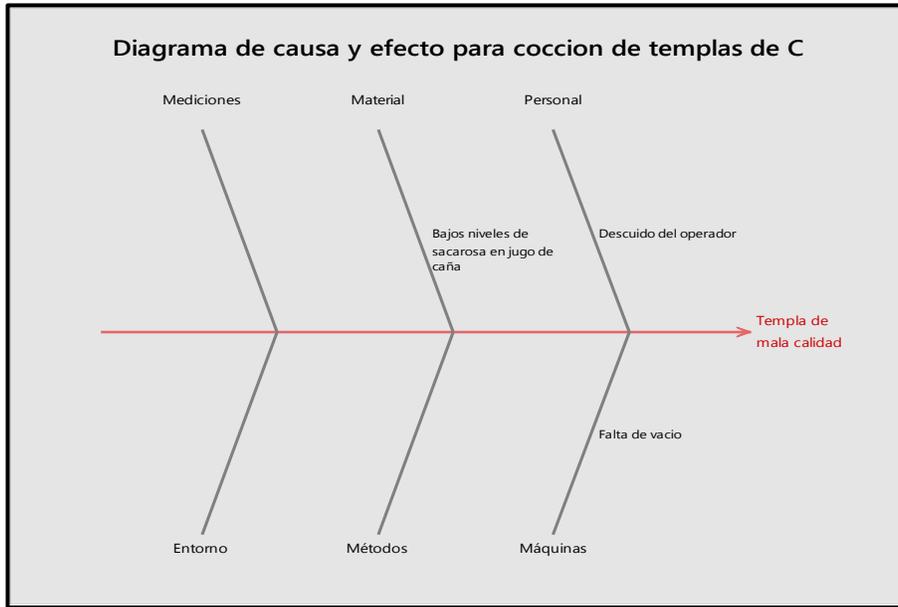


Figura 11. Diagrama de causa y efecto para cocción de templeas de C.

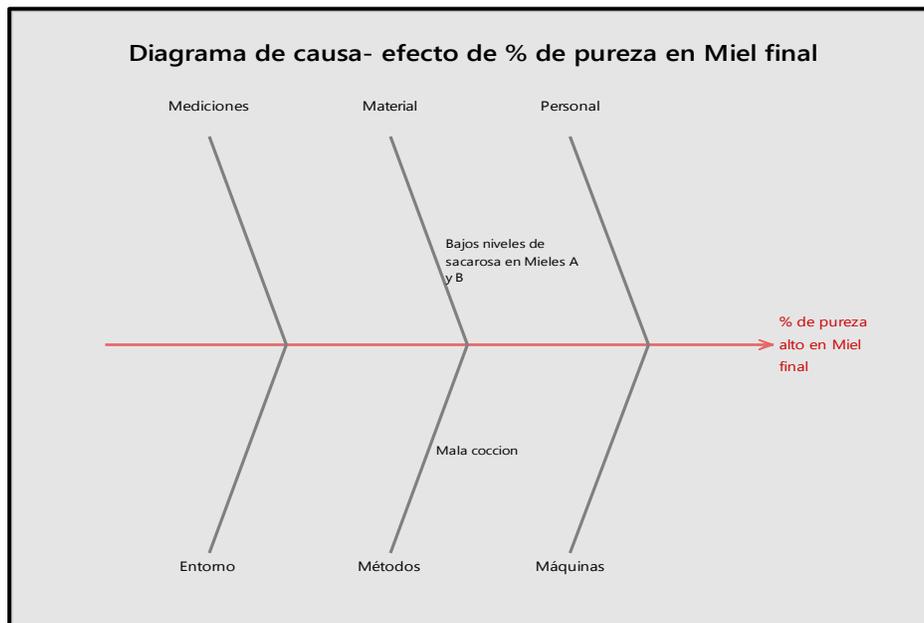


Figura 12. Diagrama de causa-efecto de % de pureza en Miel final.

4. CONCLUSIONES

Como se observa en los histogramas la desviación estándar del mes de mayo es menor a la de los dos meses anteriores esto quiere decir que se puede lograr una mejor estabilidad en el proceso de cristalización.

Las templas de calidad regular y buena dependen del porcentaje de pureza del semillamiento y el porcentaje de pureza de la templa, esto se lleva a cabo con la ayuda de la hoja de cálculo de Excel y con la fórmula de Cobenze auxiliados con el equipo de cómputo y con el microscopio que se implementó en el área de cristalización. Los parámetros más importantes para la realización de templas de C de buena calidad es el porcentaje de pureza de semillamiento y el porcentaje de pureza de la templa de C los cuales están entre 58- 61% y 78- 80%, respectivamente.

La captura de imágenes y la recopilación de las condiciones de operación y datos de laboratorio son excelentes para la elaboración de una bitácora de trabajo a lo largo de la zafra, con ella se podrá hacer un análisis para una mejora continua en zafras futuras.

La supervisión al momento de realizar la templa con ayuda del microscopio, fue útil ya que se pudieron corregir templas en mal estado y de este modo evitar el taponamiento de las telas de las maquinas centrifugas, reduciendo notablemente el nivel de sacarosa en la miel final y aumentando el rendimiento del cristal.

Se logró el primer lugar por quinta ocasión consecutiva de rendimiento de fábrica, rompiendo un record del 14.16% comparado con años anteriores.

5 REFERENCIAS

- [1] PETER REIN (2012), Ingeniería de la caña de azúcar. Berlín: editorial Bartens . P 37, 117
- [2] Alvarez, José y Lázaro Peña Castellanos (1995) Preliminary Study of the Sugar Industries in Cuba and Florida within the Context of the World Sugar Market, International Working Paper IW95-6 International Agricultural Trade and Development Center, Food and Resource Economics Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, p. 54.
- [3] Chen, J. 2000. Manual del azúcar de caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados. Editorial Limusa. Ciudad de México, México. P. 1200
- [4] Amosun A, Gbo A, Wada AC. 2000. Opening pan sugar processing technology: An option for developing countries, sugar tech, 2 (1-2): 19-22.
- [5] Morfín Rafael (n.d.). Operaciones Unitarias en el Proceso Azucarero, p. 1, 16.

ELIMINACIÓN DE HORMONAS PERSISTENTES EN AGUAS RESIDUALES, MEDIANTE LOS PROCESOS FENTON Y ELECTROFENTON, PARA UNA MEJOR SUSTENTABILIDAD EN EL AMBIENTE.

Sarai Deyanira Vara Hernández¹, Faustino Espín González¹, Deyanira Ochoa Vásquez¹, Laura Rueda Mata¹, Enrique López Duran²

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, *deyamx2002@yahoo.com.mx

2) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Sistemas Computacionales. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780.

RESUMEN

Este trabajo va enfocado a la eliminación de la hormona 17β estradiol mediante Procesos de Oxidación Avanzada (PAO's), las pruebas se llevaron a cabo en agua residual que proviene de un pre-tratamiento biológico en un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB). Estas pruebas experimentales se realizaron a través de PAO's como es Fenton y Electrofenton y se hizo una comparación de estos para determinar cuál es el más conveniente. Se realizaron pruebas DQO (Demanda Química de Oxígeno), TOC (Carbono Orgánico Total) para determinar la dosis óptima de los reactivos en cuanto a degradación de materia orgánica, remoción de Disruptores Endocrinos (EDC's) y ahorro de reactivos, en donde la relación 2.5:25 (FeSO_4 g/ H_2O_2 mL) Fenton es la más eficaz y conveniente, con base a los análisis de la degradación de la carga orgánica (DQO) y en la mineralización total de las sustancias tóxicas y de la hormona 17β estradiol (TOC), con respecto a las relaciones 1:33, 1:25, 1:10, 2.5:10 (FeSO_4 g/ H_2O_2 mL) y Electrofenton usando 2 A con 0.7 M (FeSO_4) y 2 A con 0.5 mM (FeSO_4). Podemos decir que Fenton resulta ser un proceso económico por que no requiere de equipos costosos para llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales como otros tratamientos en donde utilizan tecnologías costosas y aporte de energía eléctrica como es el caso del proceso Electrofenton. Además los resultados obtenidos se verificaron con la técnica de Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC). Este tipo de tecnologías abre la posibilidad de mejorar la calidad de agua que descargan las agroindustrias como lo son las granjas lecheras.

Palabras Clave: Hormona 17β estradiol, PAO's, Reactor tipo UASB, Fenton, Electrofenton, DQO, TOC, EDC's y HPLC.

ABSTRACT

This work is focused on the elimination of the hormone estradiol 17 β by Advanced Oxidation Processes (PAO's), tests were conducted on residual water from a biological pre-treatment in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). These experimental tests were performed by PAO's such as Fenton and ElectroFenton and made a comparison of these to determine what is the most convenient. Testing COD (chemical oxygen demand), TOC (Total Organic Carbon) were performed to determine the optimal dose of reagents as to degradation of organic matter, removal of Endocrine Disruptors (EDC's) and saving of reagents, where ratio 2.5: 25 (g FeSO₄ / H₂O₂ mL) Fenton is the most effective and convenient, based on the analysis of the degradation of the organic load (COD) and total mineralization of toxic substances and of the last 17 β estradiol (TOC) with respect to the relationship 1:33, 1:25, 1:10, 2.5: 10 (g FeSO₄ / H₂O₂ mL) and ElectroFenton using 2 A with 0.7 mM (FeSO₄) and 2 A with 0.5 mM (FeSO₄). We can say that Fenton turns out to be an economic process that does not require expensive equipment to carry out the treatment of wastewater and other treatments where they use expensive technologies and supply of electricity as in the case of ElectroFenton process. In addition the results were verified with the technique of high performance liquid chromatography (HPLC). These technologies opens the possibility of improving the quality of water discharged agribusiness such as dairy farms.

Keywords: Hormone estradiol 17 β , PAO's, UASB, Fenton, ElectroFenton, COD, TOC, EDC 's and HPLC.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso de mayor importancia y el que requiere especial atención [1], las aguas están siendo contaminadas por use, y la disposición de numerosos productos químicos que ofrecen mejoras de industria, agricultura, médicas y conveniencias domésticas que afectan la salud y al ecosistema [2]. Es por eso que va creciendo la escasez de los suministros de agua, los tratamientos para la recuperación de aguas residuales ofrecen una solución a este problema, la reutilización de aguas residuales en las CAFO, una estrategia de reciclado de agua factible y económico, que puede proporcionar nutrientes y materia orgánica para el crecimiento vegetal y ofrecer una fuente alternativa de agua para reducir la demanda de agua de alta calidad [3] como son las granjas lecheras. Sin embargo, el agua derivada de las granjas lecheras suele conservar muchos contaminantes como cantidades excesivas de nutrientes, salinidad, patógenos y orgánicos (hormonas

animales y productos farmacéuticos veterinarios), que presentan un riesgo potencial tanto para la recepción de ecosistemas como para los recursos de agua potable [3].

La gestión actual y las regulaciones para CAFO (como las granjas lecheras) en aguas residuales que se reutilizan en las tierras agrícolas se centran en nutrientes, pero no para contaminantes como antibióticos veterinarios y hormonas (EDC's). Estos EDC's causan efectos adversos a nivel del organismo [4] y en los suelos agrícolas [5].

Los estudios in vitro han demostrado que las concentraciones bajas de hormonas estrogénicas esteroideas, incluso a niveles tan bajos como ng/L, pueden afectar negativamente a la biología reproductiva de los recursos acuáticos [5].

Por lo tanto los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente [6].

La necesidad para tratar este tipo de aguas ha permitido el desarrollo de diferentes técnicas electroquímicas como biológicas para la eliminación de estos compuestos. Los métodos convencionales, en el tratamiento de aguas no proveen buenos resultados.

Con base a esto se propone el uso de procesos biológicos y electroquímicos combinados para la eliminación de compuestos recalcitrantes en este caso la hormona 17β estradiol [7].

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la realización del proceso Fenton, se muestra en la figura 1.



Figura 1. Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto

Proceso Fenton

Se realiza previamente la medición del DQO del agua salida del reactor UASB para poder realizar la comparación con el DQO de salida del proceso Fenton. Luego se realiza la curva de calibración con la solución digestiva (DQO, aplicando la norma NMX-AA-030-SCFI-2001 para una solución en 500 mL, con el método refluo cerrado / método espectrofotométrico) se hacen por duplicado las muestras, se analizan los resultados obtenidos (absorbancias cercanas al valor de las muestras de biftalato de potasio), posteriormente se realiza el proceso de oxidación avanzada, Fenton, se introducen las muestras al termodigestor y luego al espectrofotómetro, se vuelve a realiza DQO para comparar con el efluente de agua del reactor, se analizan los resultados y para comprobar la eliminación de la 17 estradiol se utilizó el equipo

de HPLC , y el equipo de TOC para comprobar que se mineralizo los compuestos tóxicos a sustancias inocuas (COT).

El procedimiento en forma general del proceso Fenton es:

1.- Se vertieron 150 mL de agua tratada (AT) del reactor UASB en un vaso de precipitado, luego se baja el pH de 7 a 2 con el pH-metro y se adiciona Sulfato Ferroso y Peróxido de Hidrógeno (relaciones de dosis diferentes de sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno, 1:33, 1:10, 1:25, 2.5:25, 2.5:10).

2.- se pasó a un agitador magnético a 20 revoluciones por min por un tiempo de 3 h.

3.- Se le dio un tiempo a la muestra del vaso de precipitado en agitación de 30, 60, 90, 150, 180 y 230 min, se sacaron en tubos de 20 mL de acuerdo a los tiempos.

4.- Después de que las muestras se sacaron de agitación por cierto tiempo, enseguida se neutralizó a un pH básico de 11 para detener la reacción, se esperó un tiempo de 10 min para la precipitación de la muestra, los lodos que generaron.

11.- Después de la precipitación la muestra se filtró y se vaciaron a tubos de ensaye para la medición del DQO de salida Y COT.

12.- Y por último se vuelve hacer DQO para comparar el DQO inicial y final con Fenton.

Proceso Electrofenton

Se realiza el DQO con base a la norma método reflujo abierto / método de titulación bajo la norma NMX-AA-030-SCFI-2001. Posteriormente se utilizó una celda de filtro prensa, empleando un cátodo y un ánodo de Diamante Dopado con Boro (DDB) entre la celda electroquímica. La celda fue conectada a una fuente de poder que suministra la corriente directa.

Los experimentos se realizaron con una muestra de 3L de agua residual de granjas lecheras, la muestra se dejó burbujear por 1 h para la producción de peróxido de hidrógeno. Se agregó solo sulfato ferroso (en diferentes dosis el reactivo), las condiciones de operación fueron: unidad de corriente eléctrica de 2 A, tiempo de tratamiento de 180 min, el pH de trabajo fue de 2 (se repitió con condiciones de operación distinta) cada 30 min se fue tomando muestra, y en cada 30 min se hizo una duplica cambiando el volumen de sulfato ferroso amoniacal.

Una vez efectuado estos procesos se midió el DQO y COT. Por último se sometieron las muestras a pruebas de HPLC para comprobar la eliminación de la hormona 17β estradiol y con base a los cromatogramas de HPLC, identificar el proceso más factible y eficiente.

La metodología utilizada para la realización del proceso Electrofenton, se muestra en la figura 2.

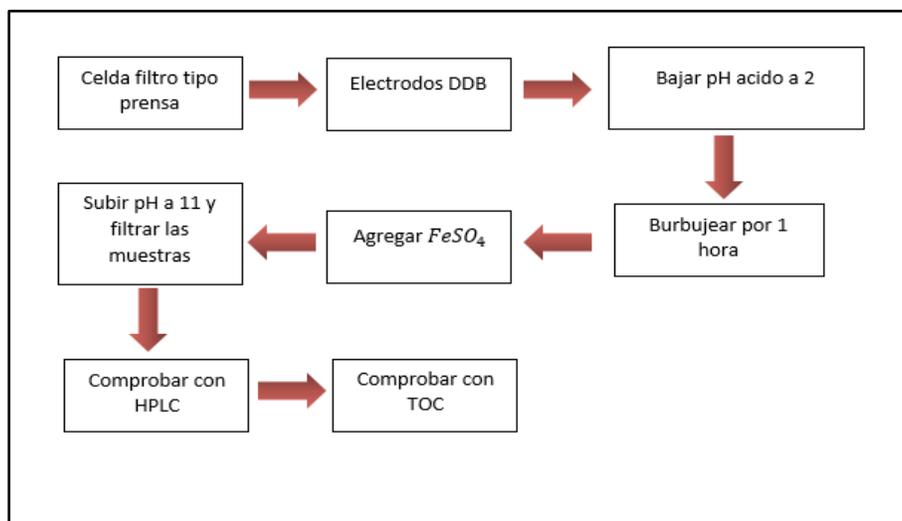


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso Electrofenton.

Al término de los resultados se hacen las comparaciones mediante gráficos y por medio de los cromatogramas en HPLC y por los resultados obtenidos en TOC la eliminación de la hormona, la degradación de la materia orgánica y la mineralización total de los compuestos tóxicos, para elegir el proceso más eficaz y económico.

3. RESULTADOS

En la figura 3, se puede apreciar el porcentaje de DQO de cada una de las 20 muestras que se realizaron con distinta concentración y tiempo, la que obtuvo mejores resultados fue la concentración 2.5:25 con un 72.21% en un tiempo de 180 min.

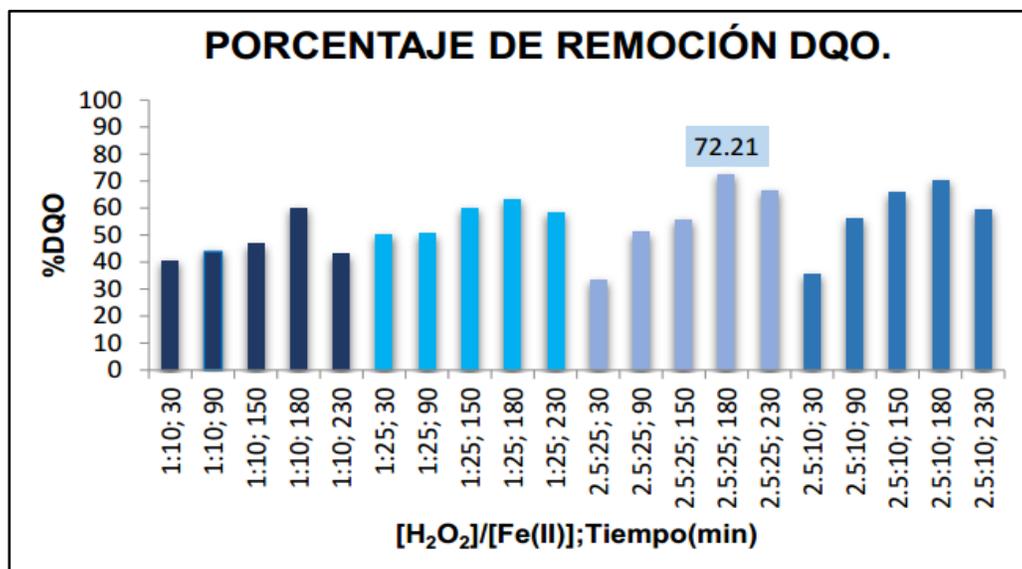


Figura 3. Porcentaje de remoción del DQO respecto a las concentraciones de Sulfato Férrico y Peróxido de Hidrógeno.

En la figura 4, se observa el comportamiento del TOC durante el tiempo 0-180 min con un porcentaje de degradación de 64.2845 % y del DQO durante el tiempo 0 -180 min del proceso Electrofonton de 2 A y una concentración de .7

mM con un porcentaje de degradación de 61.7647 %, siendo que en el minuto 180 removi6 más del 50% tanto en DQO como en TOC.

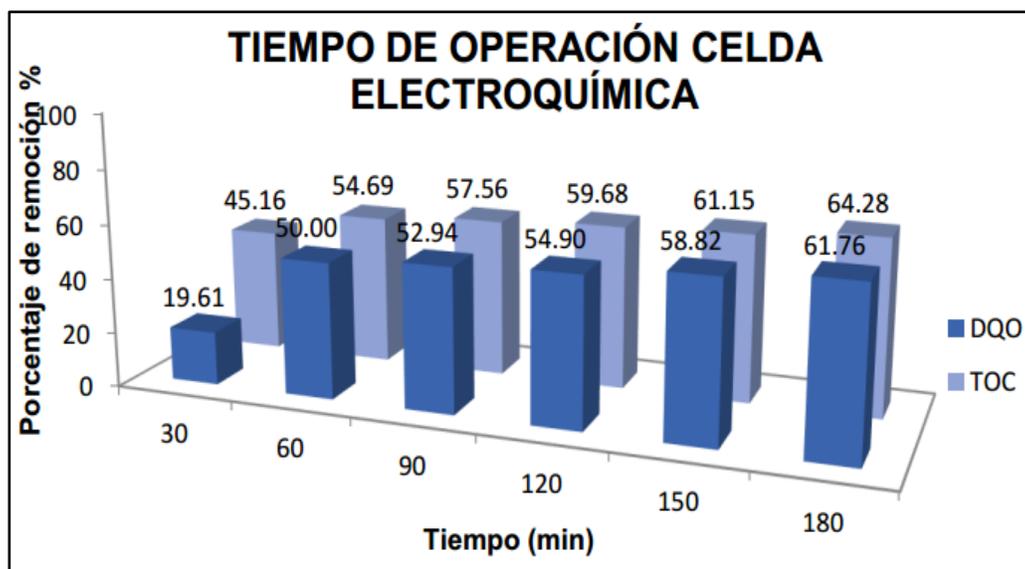


Figura 4. Porcentaje de remoción DQO y TOC, Electrofonton 2A y .7 mM.

En la figura 5, se muestra la eliminación por completo de la hormona 17β estradiol en el agua tratada con el proceso Electrofonton 2 A, 0.7 mM.

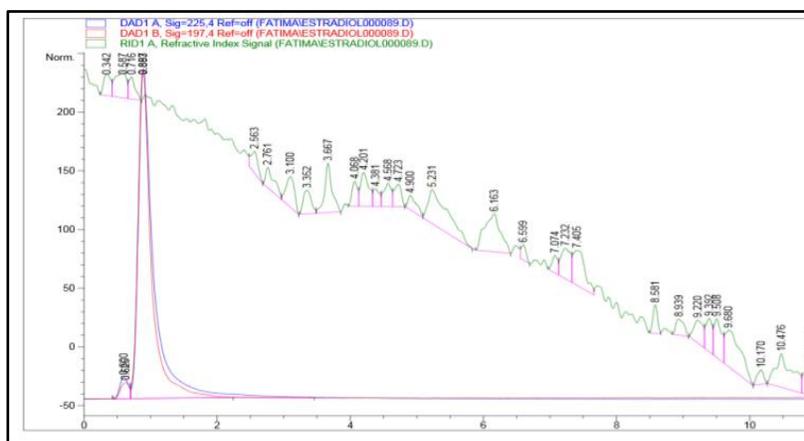


Figura 5. Cromatograma del proceso Electrofonton 2 A, 7 mM.

En la figura 6, se puede observar que se ha eliminado la hormona 17β estradiol, con el proceso Fenton, relación 2.5:25 y que es igual de eficiente que Electrofenton sin necesidad de aportación de energía.

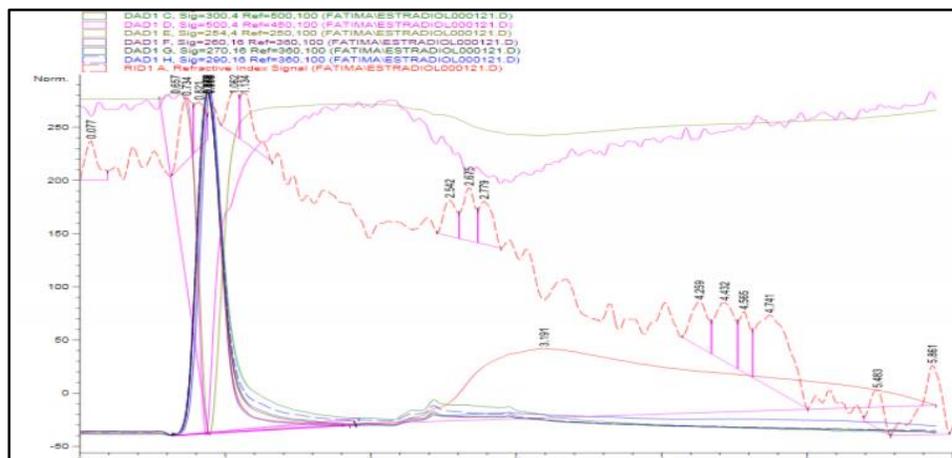


Figura 6. Cromatograma Fenton 2.5:25 en HPLC

4. CONCLUSIONES

El aplicar PAO's como pos-tratamiento al agua residual es una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales provenientes de granjas lecheras. El proceso Fenton 2.5:25 es más conveniente usarlo como pos-tratamiento porque no solo elimina la hormona totalmente sino también la carga orgánica, y resulta ser un proceso más económico que el Electrofenton que utiliza energía eléctrica para su funcionamiento. La técnica de Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC recomendada en literatura) para la determinación de la degradación de la hormona 17β estradiol en las muestras de agua tratadas con Electrofenton y Fenton, garantiza efectivamente la remoción. Este trabajo abre la posibilidad de mejorar la calidad de agua que descargan las agroindustrias, como las granjas lecheras; desde el punto de vista de la prevención y control de la contaminación y de la sostenibilidad, gracias a la reducción de los consumos de agua, reactivos y vertidos.

5 REFERENCIAS

- [1] Salazar, M. (2009). Sistemas integrales de tratamiento mediante el uso combinado de de digestión anaerobia y microalgas. *Contactos*, 73, 16-22
- [2] Daughton, C.G., Ternes, T.A. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change. *Env. Heal. Perspect.*, 107, 907-938.
- [3] Zheng, W., Xiaolin, L., Scott, R., Scott A. (2012). Anaerobic Transformation Kinetics and Mechanism of Steroid Estrogenic Hormones in Dairy Lagoon Water. *Illinois Sustain. Technol. Cent.*, 46 (10), 5471–5478
- [4] Bigsby, R., Chapin, R, E., Daston, G, P., Barbara, J, D., Gorski, J., Gray, L, E., Howdeshell, K L., Zoeller, R, T., Vom Saal F, S. (1999). Evaluating the Effects of Endocrine Disruptors on Endocrine Function during Development, *Enviromental Heal. Perspect.*, 107 (4), 613-618
- [5] Jobling, S., Nolan, M., Tyler C, R., Brighty., Sumpter, J, P. (1998). Widespread sexual disruption in wild fish, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 2498–2506
- [6] Rodriguez, J., Casa, J., Mohedano, A., Zazo J., Pliego, J., Blasco, S. (2010). *Tecnologías de tratamiento de aguas para su reutilización* (1era ed.). Madrid, España. : Consolider Tragua
- [7] García, C., Gortáres, M., Drogui, P. (2011). Tratamiento biológico y de oxidación Avanzada para una solución a la biotecnología ambiental, *Ideas CONACYTEG*, 6 (71), 585-605.