

Determinación de Indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad. Caso de Estudio: Industria de Elaboración de Conservas de Atún

Determination of Indicators of Reliability, Maintainability and Availability. Case Study: Canned Tuna Processing Industry

Luis Gerardo Quisigüiña Reyes¹, Ángel Rafael Arteaga Linzan², Pedro Antonio Rodríguez Ramos^{3,*}

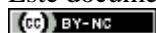
¹Universidad Técnica de Manabí. Instituto de Posgrado. Av. Universitaria y Calle Che Guevara. Ciudad Portoviejo. Manabí, Ecuador.

²Universidad Técnica de Manabí. Carrera de Mecánica. Av. Universitaria y Calle Che Guevara. Ciudad Portoviejo. Manabí, Ecuador

³Universidad Tecnológica de la Habana. “José Antonio Echeverría”, CUJAE. Calle 114, # 11901, e/Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: parr@mecanica.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 1 marzo 2021 **Aceptado:** 5 abril 2021 **Publicado:** 8 abril 2021

Resumen

El objetivo del presente trabajo es determinar los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de refrigeración de una industria de elaboración de conservas de atún en el Ecuador y evaluar mediante la curva de Davis, el periodo de vida en que se encuentran 3 cámaras de refrigeración objeto de estudio. La metodología utilizada fue el modelo universal para pronosticar indicadores, a través del Método de Mínimos Cuadrados y de la distribución de Weibull; los tiempos operativos y de reparación fueron obtenidos de los datos históricos del software “Sistema de Mantenimiento Programado”. Los resultados del Método de Mínimos Cuadrados muestran, que los parámetros de forma de las cámaras de refrigeración 3, 4 y 5 presentan valores de 1,469, 1,391 y 1,612 respectivamente, que según la curva de Davis, las 3 cámaras de refrigeración se encuentran en el periodo de desgaste. Lo anterior se ratifica en el hecho de que las cámaras de refrigeración obtuvieron, de acuerdo a la distribución de Weibull (periodo evaluado-720 horas) una confiabilidad de 7,00%, 3,70%, 8,72% y una mantenibilidad (periodo evaluado-48 horas) de 69,85%, 47,39% y 70,65% respectivamente. Finalmente, se concluye que la cámara 4 tiene la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad más baja del sistema analizado.

Palabras clave: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, cámara de refrigeración

Abstract

The objective of this work is to determine the reliability, maintainability and availability indicators of an industrial refrigeration system of a tuna canning industry in Ecuador and to evaluate the life service moment of the 3 refrigeration chambers under study using the Davis curve. The methodology used was the universal model to forecast indicators, through the least squares method and the Weibull distribution; the operating and repair times were obtained from the historical data of the software "scheduled maintenance system". The results of the least squares method show that the

shape parameters of the cooling chambers 3, 4 and 5 present values of 1,469, 1,391 and 1,612 respectively, locating according to the Davis curve in the period of wear down. The above is confirmed by the fact that the refrigeration chambers obtained, according to the weibull distribution for a period of 720 hours, a reliabilities of 7.00%, 3.70%, 8.72% and the maintainability for a period of 48 hour are 69.85%, 47.39% and 70.65% respectively. Finally, it is concluded that chamber 4 has the lowest reliability, maintainability and availability of the analyzed system.

Keywords: reliability, maintainability, availability, refrigeration chamber

1. Introducción

De acuerdo a una investigación realizada por Núñez [1] el atún es el tercer producto de mayor consumo en el mundo, siendo la conserva su principal forma de comercialización, permitiendo a la industria atunera tener un campo importante en el mercado mundial, tanto por ser una fuente de alimentos, como por su aporte económico. Entre 2014 y 2015 el sector de la pesca y la acuicultura representaron para la República de Ecuador el 12% de sus exportaciones, convirtiéndose en el segundo reglón exportable, después del petróleo [2]. El Ecuador se encuentra entre los diez principales países del mundo en captura de atún y el segundo mayor procesador. En este contexto los equipos frigoríficos constituyen una pieza fundamental para la industria atunera, en lo que respecta a la conservación de la materia prima, ya que eliminan muchos problemas relacionados con la aparición de organismos patógenos en los alimentos. Lo anterior evidencia la importancia del mantenimiento de este tipo de equipos, para evitar que problemas como retrasos en el almacenamiento de la materia prima, por daño parcial o total de algún equipo o instalación, conlleven al deterioro de la misma y al incumplimiento de los programas de producción.

En vista de lo expuesto, el análisis de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) aparece como una poderosa herramienta que permite aumentar y optimizar la eficiencia, productividad y la calidad de los procesos. Esta metodología o sistema permite configurar, verificar y pronosticar el comportamiento del sistema de una manera más práctica, además de guiar hacia la selección de políticas de mantenimiento correctas.

Según Williams [3] el análisis de los indicadores CMD es un elemento vital en el mantenimiento de la función de un equipo o instalación, siendo uno de los campos cruciales para mejorar la rentabilidad, el rendimiento medioambiental y la seguridad, al aportar una base de datos real y actualizada sobre el estado del sistema. El análisis CMD es diferente en cada sistema industrial debido a varios factores: las condiciones de operación del sistema, el nivel de capacitación de los empleados (operadores, técnicos y gerentes), la política de mantenimiento existente, etc. Es decir cada sistema es particular y requiere un conocimiento especial para resolverlo [4].

En vista de lo anteriormente expuesto, este trabajo tiene como objetivo determinar los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad del sistema de refrigeración de una industria de elaboración de conservas de atún en el Ecuador y evaluar mediante la curva de Davis, el periodo de vida en que se encuentran 3 cámaras de refrigeración objeto de estudio.

2. Materiales y Métodos

El sistema de refrigeración objeto de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Manta y tiene como actividad principal la captura, industrialización y comercialización del atún en sus especies Skipjack, Yellowfin y Bigeye

Descripción del sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración objeto de estudio consta de 3 cámaras frigoríficas, en las que se almacena y mantiene la materia prima (atún). Sus características constructivas se detallan a continuación.

Tabla 1. Cámaras frigoríficas

Cámara	Descripción	Capacidad (ton)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)
3	Mat. prima	600	26,84	20,25	7,19	3907,84
4	Mat. prima	500	21,95	16,79	6,33	2332,86
5	Mat. prima	600	22,00	22,34	6,65	3268,34

Las cámaras de refrigeración 3, 4 y 5 poseen una capacidad de almacenamiento total de 1700 toneladas (9509,04 m³) y cumplen un papel fundamental en la calidad de la materia prima y del producto terminado. El sistema de refrigeración utiliza refrigerante hidrofluorocarbono (HFC) R404a y está compuesto por: 6 compresores alternativos (reciprocantes) movidos por motores eléctricos trifásicos de 220 volt, condensadores enfriados por aire y un evaporador que opera por convección forzada, todos mediante ventiladores eléctricos trifásicos de 220 volt y una válvula de expansión equilibrada externamente. [5, 6].

Determinación de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

Para la determinación de estos indicadores se utilizó el modelo universal CMD, el cual consta de 6 etapas y tiene los siguientes objetivos [7, 8]:

- Definir los pasos de obtención, manipulación, tabulación, y tratamiento de los datos obtenidos, para que sean compatibles en su forma, estilo y composición, para su uso en las distribuciones estadísticas y en los cálculos establecidos en la metodología.
- Tomar decisiones sobre la disponibilidad adecuada, para los datos obtenidos y las expectativas de la industria; esta disponibilidad debe estar en función con los elementos a controlar y a las disponibilidades existentes.

En base a lo expuesto, la disponibilidad inherente es la que se ajusta a la realidad y a las necesidades del sistema e industria objeto de estudio, sus parámetros son el Tiempo Promedio Operativo (TPO) y el Tiempo Promedio Para Reparación (TPPR). La disponibilidad dentro del mantenimiento industrial, permite obtener una estimación general de la proporción de tiempo que una determinada maquinaria o equipo está disponible luego de ejecutar un trabajo (correctivo y/o modificativo) [9]. Para la determinación de este indicador se necesita conocer el TPO y el TPPR, que se obtienen como:

$$\text{TPO (TPPR)} = \alpha \Gamma (1 + (1/\beta)) \quad (1)$$

Donde:

α : Vida característica

Γ : Función Gamma

β : Parámetro de forma

Los métodos recomendados en el modelo universal para pronosticar indicadores CMD son el Método de Mínimos Cuadrados y el Método de Máxima Verosimilitud. El método utilizado será el de los Mínimos Cuadrados, por ser un método simple y más fácil de aplicar, además que, la gráfica y su ecuación lineal de regresión sirve como una prueba de bondad de ajuste de la distribución. La distribución Weibull define los valores de α y β , los cuales permiten determinar los TPO y TTPR, para mediante la prueba de Smirnov-Kolmogórov evaluar sus bondades de ajuste. Los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, se calculan conforme a la función que se seleccione [10-13].

3. Resultados y Discusión

Para la medición y análisis de los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad se desarrollaron las 6 etapas que componen la metodología del modelo universal CMD [7, 8]. Se utiliza como base, los datos históricos obtenidos del software Sistema de Mantenimiento Programado, (SMPROG), sobre los distintos modos de falla de las 3 cámaras frigoríficas objeto de estudio. Las tablas 2, 3 y 4 muestran los tiempos operativos y de reparación de las cámaras frigoríficas 3, 4 y 5, ocurridos durante el periodo de evaluación del sistema frigorífico.

Tabla 2. Tiempos de operación y de reparación de la cámara 3

Nº de falla	Fecha	Tiempo de operación (h)	Tiempo de reparación (h)
1	10/11/2018	250	72
2	14/11/2018	275	36
3	27/11/2018	150	48
4	05/12/2018	350	43,2
5	21/12/2018	650	36
6	19/01/2019	815	48
7	24/02/2019	335	31,2
8	11/03/2019	215	60
9	22/03/2019	100	24
10	27/03/2019	265	38,4
11	09/04/2019	114	24
12	15/04/2019	50	9,6
13	17/04/2019	650	36
14	16/05/2019	198	24
15	25/05/2019	548	48

Tabla 3. Tiempos de operación y de reparación de la cámara 4

Nº de falla	Fecha	Tiempo de operación (h)	Tiempo de reparación (h)
1	10/11/2018	230	120
2	11/11/2018	876	72
3	18/12/2018	869	72
4	23/01/2019	150	48
5	29/01/2019	251	72
6	09/02/2019	315	48
7	22/02/2019	102	43,2
8	26/02/2019	215	36
9	07/03/2019	156	48
10	14/03/2019	222	24
11	23/03/2019	198	24
12	31/03/2019	75	24
13	04/04/2019	389	96
14	21/04/2019	132	33,6
15	27/04/2019	48	24

Los datos presentados en las Tablas 2, 3 y 4 constituyen la base para la determinación de β y α , mediante el Método de Mínimos Cuadrados, con el objetivo de calcular los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, mediante la distribución de Weibull.

Método de mínimos cuadrados

Las Tablas 5, 6 y 7 muestran los tiempos de operación ordenados de menos a mayor, además de la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa de las cámaras 3, 4 y 5 respectivamente. Mediante la transformación doble logarítmica presentada en las tablas 5, 6 y 7 se transformó la función de distribución acumulativa en una ecuación lineal de regresión, a través de la cual se determinaron los valores de β y α representados en la Tabla 8. En correspondencia con los valores mostrados en la Tabla 8, las cámaras 3, 4 y 5 presentan valores de parámetro de forma β de 1,469, 1,391 y 1,612 respectivamente, lo que indica que se encuentran en el periodo de desgaste (etapa III de una curva de Davis) que, de acuerdo a los datos recopilados durante esta investigación, se deben fundamentalmente a daños en las resistencias eléctricas de los sistemas de defrost de los evaporadores de las cámaras de refrigeración.

Tabla 4. Tiempos de operación y de reparación de la cámara 5

Nº de falla	Fecha	Tiempo de operación (h)	Tiempo de reparación (h)
1	10/11/2018	285	72
2	11/11/2018	463	43,2
3	30/11/2018	597	48
4	25/12/2018	612	64,8
5	20/01/2018	365	45,6
6	04/02/2019	298	24
7	17/02/2019	689	28,8
8	18/03/2019	67	12
9	21/03/2019	352	48
10	05/04/2019	345	31,2
11	20/04/2019	158	24
12	28/04/2019	75	9,6
13	02/05/2019	389	48
14	19/05/2019	383	40,8
15	04/06/2019	235	24

Tabla 5. Tiempos de operación y transformación doble logarítmica de la Cámara 3

Nº de fallas	Tiempo de operación (h)	Rango de media RM(Ft)	ln(t)	ln(ln(1/(1-Ft)))
1	50	0,05	3,91	-3,07
2	100	0,11	4,61	-2,15
3	114	0,18	4,74	-1,65
4	150	0,24	5,01	-1,29
5	198	0,31	5,29	-1,01
6	215	0,37	5,37	-0,77
7	250	0,44	5,52	-0,56
8	265	0,50	5,58	-0,37
9	275	0,56	5,62	-0,18
10	335	0,63	5,81	-0,01
11	350	0,69	5,86	0,17
12	548	0,76	6,31	0,35
13	650	0,82	6,48	0,55
14	650	0,89	6,48	0,79
15	815	0,95	6,70	1,13

Tabla 6. Tiempos de operación y transformación doble logarítmica de la Cámara 4

Nº de fallas	Tiempo de operación (h)	Rango de media RM(Ft)	ln(t)	ln(ln(1/(1-Ft)))
1	48	0,05	3,87	-3,07
2	75	0,11	4,32	-2,15
3	102	0,18	4,62	-1,65
4	132	0,24	4,88	-1,29
5	150	0,31	5,01	-1,01
6	156	0,37	5,05	-0,77
7	198	0,44	5,29	-0,56
8	215	0,50	5,37	-0,37
9	222	0,56	5,40	-0,18
10	230	0,63	5,44	-0,01
11	251	0,69	5,53	0,17
12	315	0,76	5,75	0,35
13	389	0,82	5,96	0,55
14	869	0,89	6,77	0,79
15	876	0,95	6,78	1,13

Tabla 7. Tiempos de operación y transformación doble logarítmica de la Cámara 5

Nº de fallas	Tiempo de operación (h)	Rango de media RM(Ft)	ln(t)	ln(ln(1/(1-Ft)))
1	67	0,05	4,20	-3,07
2	75	0,11	4,32	-2,15
3	158	0,18	5,06	-1,65
4	235	0,24	5,46	-1,29
5	285	0,31	5,65	-1,01
6	298	0,37	5,70	-0,77
7	345	0,44	5,84	-0,56
8	352	0,50	5,86	-0,37
9	365	0,56	5,90	-0,18
10	383	0,63	5,95	-0,01
11	389	0,69	5,96	0,17
12	463	0,76	6,14	0,35
13	597	0,82	6,39	0,55
14	612	0,89	6,42	0,79
15	689	0,95	6,54	1,13

Tabla 8. Funciones estadísticas de la distribución de Weibull

Cálculos de la función estadística

	Cámara 3	Cámara 4	Cámara 5
β	1,469	1,391	1,612
α	371,345	305,490	414

En función de los datos obtenidos en la Tabla 5, se presenta la ecuación lineal de regresión de los tiempos de operación de la cámara 3, ver Figura 1 (para las cámaras 4 y 5 el comportamiento es similar, solo varían las ecuaciones de regresión lineal y las R^2). Los parámetros de forma β , los TPO, los TPPR y los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las cámaras 3, 4 y 5, se muestran en las Tablas 9, 10 y 11 respectivamente.

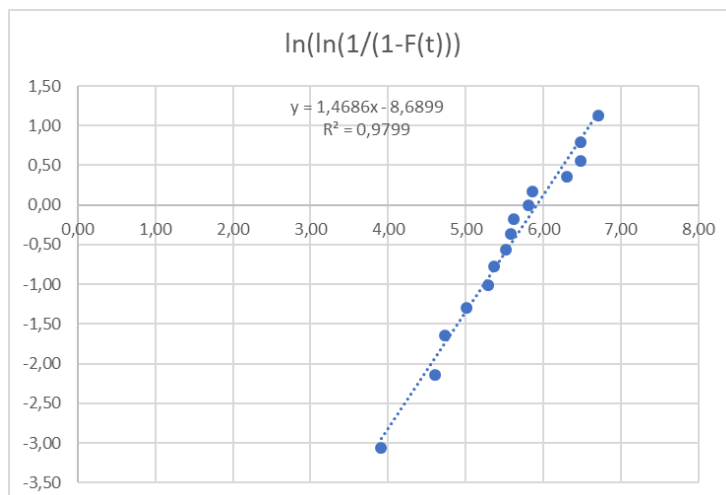


Fig. 1 Ecuación lineal de regresión para tiempos operativos de la cámara 3

Tabla 9. Resultados del cálculo de la confiabilidad de las cámaras
Indicador de confiabilidad calculado con $t = 720$ h

Cámaras	β	TPO (h)	Confiabilidad (%)
Cámara 3	1,469	336,127	7,0
Cámara 4	1,391	278,729	3,70
Cámara 5	1,612	370,929	8,72

Tabla 10. Resultados del cálculo de la mantenibilidad de las cámaras
Indicador de mantenibilidad calculado con $t = 48$ h

Cámaras	TPPR (h)	Mantenibilidad (%)
Cámara 3	39,295	69,85
Cámara 4	52,936	47,39
Cámara 5	38,379	70,65

Tabla 11. Resultados del cálculo de la disponibilidad de las cámaras

Indicador de disponibilidad	
Cámaras	Disponibilidad (%)
Cámara 3	89,5
Cámara 4	84
Cámara 5	91,0

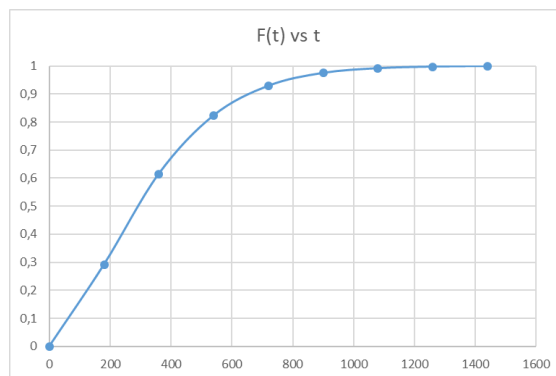


Fig.2 Densidad de la falla de la cámara 3

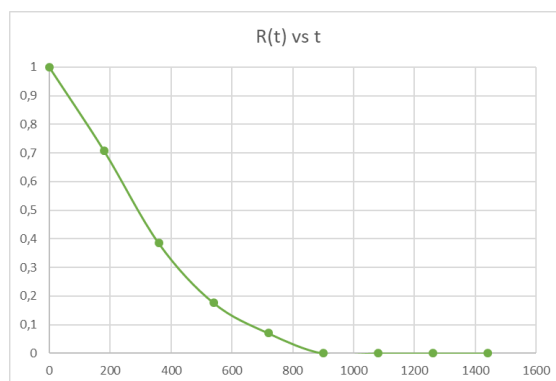


Fig.3 Confiabilidad de la cámara 3

De acuerdo a los parámetros estadísticos β y α , obtenidos mediante la modelación de los distintos modos de fallas de la cámara 3, a través del Método de Mínimos Cuadrados; la función de probabilidad de falla acumulada $F(t)$, Figura 2, tiene forma creciente (% vs h) y la función de confiabilidad $R(t)$, Figura 3, decreciente (% vs h). El mismo comportamiento ocurre con las cámaras 4 y 5.

4. Conclusiones

Una vez aplicado el modelo universal para la determinación de los indicadores confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al sistema objeto de estudio, compuesto por tres cámaras de refrigeración de una industria procesadora de atún, se concluye que: de acuerdo a los parámetros de forma β y la curva de Davis, las 3 cámaras de refrigeración objeto de estudio se encuentran en el periodo de desgaste (etapa III), lo que se confirma por la baja confiabilidad alcanzada por todas ellas. El resultado de estos indicadores muestra que la cámara 4 tiene los valores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad más bajos del sistema analizado. El método CMD constituye una poderosa herramienta de evaluación del sistema de gestión de mantenimiento en este tipo de instalaciones de refrigeración.

Referencias

1. Núñez, R., *Las empresas conserveras y el mercado mundial del atún*. Revista Galega de Economía, 2006. **15**(1): p. 1-20.
2. Avadi, A., Bolaños, C., Sandoval, I., Ycaza, C., *Life cycle assessment of Ecuadorian processed tuna*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2015. **20**(10): p. 1415-1428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0943-2>

3. Williams, J.P., *Predicting process systems*. Hydrocarbon Engineering, 2001. **6**(7): p. 29-33.
4. Tsarouhas, P., *Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Study of an Ice Cream Industry*. Applied Sciences, 2020. **10**(12). DOI: <https://doi.org/10.3390/10124265>
5. Francisco, A., Encarna, A., Perla G., *Cálculos frigoríficos en industrias pequeñas y artesanales de productos mínimamente procesados de iv y v gamas*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 2015. **16**(2): p. 152-157.
6. Raúl, G., Ricardo, G., *Metodología para la evaluación de sistemas de refrigeración industrial*. Scientia et Technica, 2006. **12**(30): p. 215-217
7. Mora G., *Mantenimiento Estratégico Empresarial, Enfoqué sistemático Kantiano*, 2009. México: Alfaomega Grupo Editor. ISBN: 978-958-682-769-0.
8. Marcos, C.H., Wison, J., Mirian, C., *Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) del sistema de reinyección de agua de formación*. Koinonía, 2020. **5**(9): e249. DOI: <https://doi.org/10.35381/r.k.v5i9.647>
9. Luis, B., *Utilización de la auditoría de mantenimiento y el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) como herramientas para la identificación de problemas en la gestión de mantenimiento de locomotoras en empresas de ferrocarriles*. FIPCAEC, 2019. **4**(2): p. 171-198. DOI: <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v4i4.129>
10. José, A., Julio, Z., *Diseño Metodológico para la Selección de una Muestra Representativa de Estudiantes Universitarios*. Revista Economía y Administración, 2014. **5**(1): p. 65-78.
11. Ronald W., Raymond, M., Sharon, M., Keying, Y., *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias 2012*, México: Pearson Educación. ISBN: 978-607-32-1417-9.
12. O'Connor, P.D., *Practical Reliability Engineering 2012*, United Kingdom: Wiley. ISBN: 978-111-996-127-7.
13. Gallegos, C., Vizcaíno, M., Sergio, S., *Estudio de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aplicado a grupos electrógenos prime*. Conciencia Digital, 2020. **3**(3): p. 44-61. DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1266>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Luis Gerardo Quisigüiña Reyes. ORCID: 0000-0003-2695-7591.

Diseño de la investigación y revisión del estado del arte. Recolección y procesamiento de datos. Realizó contribuciones en el análisis e interpretación de los datos y en el análisis de los resultados.

Ángel Rafael Arteaga Linzan. ORCID: 0000-0002-3589-5866.

Análisis e interpretación de los datos y revisión crítica del manuscrito. Participó en el diseño de la investigación, el análisis de los resultados, revisión y redacción.

Pedro A. Rodríguez Ramos. ORCID: 0000-0003-2862-0984.

Participó en el análisis de los resultados y revisión crítica del contenido, así como en la redacción del manuscrito.