



Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí

TITULO: Costos de producción y distribución de mosquitos *Aedes aegypti* estériles para el control de las arbovirosis. IPK, 2021

Autor: Dra Zairis García Alfaro

Tutores. Lic. Alberto Baly Gil, DrC.

Dr Rene Gato Armas, MsC.

Dra. Misladys Rodríguez, MsC.

Tesis para optar por el Título de Master en Epidemiología

2023

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle ante todo al profesor Lic. Alberto Baly Gil, DrC. por su intensa dedicación e inmensa paciencia, quien fue el motor impulsor de la realización de este proyecto de investigación y al cual se le deben en gran medida la obtención de los resultados alcanzados. Muchas gracias al Dr. René Gato Armas, MsC. y la Dra. Mysladis Rodriguez MsC. por su apoyo incondicional en todo momento y el aporte de valiosos conocimientos. A todos los trabajadores del Laboratorio TIE sin los cuales no hubiese sido posible el desarrollo de la investigación. Gracias a todos los profesores vinculados a la maestría de Epidemiología y trabajadores del dpto.

RESUMEN

Introducción: Se prueban nuevas herramientas para el control de *Aedes aegypti*, como la Técnica del Insecto Estéril (TIE). Se hipotetiza que sus costos operacionales pueden constituir una barrera para su implementación.

Objetivo: Estimar los costos asociados a la producción y liberación de mosquitos *Aedes aegypti* esterilizados a través de la Técnica de Insecto Estéril en el Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri.

Método: Se realizó un estudio de evaluación económica parcial de descripción de costos con horizonte temporal entre mayo-agosto 2020 y junio 2021, con perspectiva del sistema de salud. Se describió el proceso de producción y se utilizó el método de micro costeo para la estimación de los costos.

Resultados: La inversión financiera inicial en medios de capital y entrenamiento alcanzó 73 329,34 EUR y 73 250,00 CUP, respectivamente. El número promedio de mosquitos estériles liberados por ciclo de producción fue de 75 000. Los gastos totales por ciclo fueron estimados en 17 939,54 CUP, 16 017,44 CUP de ellos fueron directos. De estos, el 6,22% se utilizó en alimentación de los mosquitos. Los costos cada 10 000 mosquitos estériles ascendieron a 2 391,93 CUP y 358,79 CUP por hectárea tratada. Las variables con impacto en la variación porcentual de los costos promedio fueron el aumento de la producción (-240%), la tasa de cambio (+100%), el aumento de la densidad de mosquitos liberados por hectárea (+16%) y la disminución del gasto en monitoreo (-12%). El punto de equilibrio económico es de 0,21 centavos de CUP por cada mosquito y 135,75 CUP por cada 10 000 huevos producidos. El costo-efecto estimado fue de 2 571,96 CUP por unidad porcentual entomológica reducida.

Conclusión: La estimación realizada del costo es información importante para la presupuestación de la TIE. El costo efecto calculado es menor que el PIB per cápita de Cuba, lo que indica que su implementación le puede imprimir eficiencia al Programa de Control de *Aedes aegypti*.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación del estudio y problema de investigación	2
1.2 Objetivo general	3
1.3 Objetivos específicos	3
2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO PARA DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y LOS COSTOS.....	6
2.1 El dengue como problema de salud.....	6
2.2 Control del mosquito <i>Aedes aegypti</i>	7
2.3 Los costos del control del mosquito <i>Aedes aegypti</i>	8
2.4 El Proceso productivo	8
2.5 Descripción de los procesos para el costeo. Diagrama de flujo del proceso. Matriz Programa-Actividad-Acción-Tarea-Insumo.....	11
2.6 Economía de la salud.....	12
2.6.1 Perspectiva y horizonte analítico	13
2.6.2 Los costos.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	16
3.1 Diseño del estudio.....	16
3.3 Operacionalización de las variables	16
3.4 Técnicas y procedimientos para la identificación y recolección de los datos de costo y su estimación. Clasificación de los costos	18
3.5.1 Descripción del proceso	18
3.5.2 Cuantificación de la producción y los recursos. Valoración de los recursos utilizados. Estimación de los costos.	19
3.6 Análisis de datos	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Proceso de producción y matriz PAAI	22
4.2 Producto obtenido según actividad	31
4.3 Gastos financieros iniciales, totales y costos	32
4.4 Análisis de sensibilidad (variación de los costos según capacidad de producción y otras variables), punto de equilibrio económico y costo efecto puntual de la TIE.	39
5. CONCLUSIONES.....	43
6. RECOMENDACIONES	44

7. BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	52

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la propagación y el aumento del dengue y la aparición de otras enfermedades arbovirales ha sido una de las principales preocupaciones de los sistemas de salud y los gobiernos de todo el mundo. Es consecuencia del aumento de las densidades del mosquito *Aedes aegypti*, su principal vector, y su proliferación a nuevas áreas geográficas, debido al cambio climático¹, el aumento de la urbanización y la pobreza, la globalización de las actividades económicas y la intensificación del movimiento humano.²

En el caso de Cuba, sufrió una extensa epidemia de dengue clásico en 1977 causada por dengue 1, donde se infectó el 44% de la población cubana³. En 1981 ocurre la primera epidemia de dengue hemorrágico reportada en las Américas causada por dengue 2 con 10 000 casos de dengue grave y 158 muertes.⁴ A partir 1997 comienzan a producirse brotes de dengue como el brote de 1997 en Santiago de Cuba⁵, el 2001-2002 en La Habana⁶, el 2006 en todo el país. Desde el 2008, se reporta dengue todos los años con brotes epidémicos en periodos entre tres y cuatro años, así como se reportó casos de chikungunya en 2014⁷ y Zika en 2016 y 2018⁸

En la actualidad, solo existe una vacuna parcialmente eficaz contra el dengue, pero no contra Zika ni Chikungunya.² Se están desarrollando nuevas vacunas contra el dengue y otros arbovirus, pero lo más probable es que no sean una solución independiente para controlar la arbovirosis.² Será necesario complementarlas con acciones de control de vectores.^{9,10}

El control del vector es el principal método de prevención y control de las arbovirosis.¹¹ En Cuba en 1981 se desarrolló el Programa Nacional de Control de *Aedes aegypti*¹² y fue reorganizado en 2006¹³. Es un programa relativamente intensivo, que tiene una cobertura del 100% de las viviendas y que radica en cada área de salud.

Las herramientas “clásicas” de control de vectores como la aplicación de insecticidas y la reducción de los sitios de cría no han logrado una reducción significativa y efectiva del *Aedes aegypti* y por tanto de la incidencia de las arbovirosis, también en Cuba. Por ello, se están desarrollando nuevas estrategias y herramientas de control de *Aedes* como cebos atraedores de

azúcar, Wolbachia, la técnica del insecto estéril (TIE) por manipulación genética o radiación, repelentes espaciales, materiales tratados con insecticidas, entre otros¹¹, mientras que las más antiguas, como la fumigación con insecticidas residuales se están utilizando y reevaluando en diferentes entornos.^{14,15}

Entre las nuevas herramientas de control de vectores se está estudiando la TIE, Se basa en la cría masiva y liberación de insectos machos esterilizados por radiación o por otras técnicas como la modificación genética, que no producirán descendencia viable después apareamiento con hembras de tipo salvaje. Este tipo de técnica se ha venido usando con éxito para el control de plagas de importancia para la agricultura y la veterinaria.¹⁶

Para las enfermedades transmitidas por mosquitos, la TIE no ha alcanzado un nivel operacional.¹⁶ Actualmente, se realiza un grupo de experimentos para determinar si la TIE es un método eficaz para la supresión de las poblaciones de mosquitos, incluyendo el *Aedes aegypti*.¹⁷⁻²⁰ El Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí (IPK) de Cuba, dispone del laboratorio TIE-IPK para el desarrollo de la técnica mediante radiación, como método de control de este vector. Se ha estudiado la factibilidad y eficacia de la TIE durante un ensayo piloto (fase de aplicación de campo), que abarcó dos localidades (un área de intervención y un área de control) del municipio La Lisa, entre mayo y agosto de 2020.¹⁶ El área de intervención fue el poblado de El Cano, con 50 hectáreas y 960 viviendas. En este estudio, se demostró una reducción significativa (del 93%) del número de huevos en las ovitrampas 17 semanas después de la continua liberación de mosquitos *Aedes aegypti* machos estériles irradiados en el área de intervención, comparado con el área control. En las últimas tres semanas de la investigación no se encontraron huevos en las ovitrampas colocadas en el área de intervención¹⁶. Gato y col. (2021)¹⁶ concluyeron que la liberación de *Aedes aegypti* machos estériles es factible y suprime la población de mosquito.

1.1 Justificación del estudio y problema de investigación

En general, la aplicación de las herramientas y las estrategias de control del *Aedes aegypti* produce gastos elevados²¹, y en el caso de la TIE, se hipotetiza que sus costos operacionales pueden constituir una barrera para su implementación en países endémicos de dengue con ingresos bajos y medios¹¹, como Cuba. Por lo tanto, estimar los gastos en que se incurre en la producción

y liberación en las comunidades de mosquitos *Aedes aegypti* esterilizados por radiación, puede contribuir a la toma de decisión relacionada con el ejercicio de presupuestación de la técnica y su replicación en otros sitios del país.

En este sentido, nos planteamos la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los costos de producción (obtención de mosquitos en el laboratorio IPK-TIE y liberación en el Cano) del mosquito *Aedes aegypti* estéril?

Para lo cual nos planteamos los siguientes objetivos:

1.2 Objetivo general

Estimar los costos asociados a la obtención de *Aedes aegypti* esterilizados por radiación, utilizando la técnica del insecto estéril en el laboratorio TIE-IPK, y su liberación en El Cano, La Lisa,

1.3 Objetivos específicos

1. Describir el proceso de producción (obtención de mosquitos en el laboratorio IPK-TIE y liberación en el Cano) de mosquitos *Aedes aegypti* estériles en el periodo de mayo- agosto 2020 y junio 2021.
2. Estimar los costos medios, fijos y variables asociados a las actividades de producción de mosquitos machos estriles, en el periodo mencionado.
3. Explorar la relación entre los costos medios de producción y la variación de variables seleccionadas en el periodo mencionado.
4. Estimar el punto de equilibrio económico y el costo-efecto puntual en el periodo mencionado.

Para cumplimentar estos objetivos se llevó a cabo una investigación de evaluación económica parcial de descripción de costos, de la producción y de la liberación de los mosquitos machos *Aedes aegypti* estériles irradiados, realizada por el personal del laboratorio TIE-IPK durante mayo-agosto 2020 y junio 2021. Se combinaron técnicas cualitativas y cuantitativas. Se utilizó la revisión documental, la entrevista a informantes claves según Patton, (2002)²² y la observación directa de la producción para la descripción del flujo del proceso de producción y la elaboración de la matriz de Programa-Actividad-Acción-Insumo.²³ Para el cálculo de costos se utilizó la técnica de microcosteo descrita por Gold, (2017)²⁴ que consta de tres pasos: 1. Descripción del proceso e identificación de los recursos (en el proceso anteriormente descrito se identificaron las actividades, acciones e insumos (tiempo de personal, materiales y medicamentos, medios de capital) consumidos en la producción; 2. Contabilizar los recursos consumidos 3. Valoración (precio) de los recursos y cálculo de los costos. Las fuentes de información fueron las facturas de compra y los registros electrónicos del laboratorio TIE-IPK, así como los datos registrados durante la observación del proceso de producción. Los costos por actividad se calcularon multiplicando el número de recursos consumidos por su precio. Finalmente, los costos se clasificaron por actividades y elementos según Jonhs y col. (2003).²⁵

Se tuvo en cuenta el cumplimiento con los principios éticos contenidos en la Declaración de Helsinki. Se informó a las personas sobre los objetivos de la investigación y la posibilidad de retirarse de la misma, sin que ello representara ninguna repercusión en su trabajo o proyección futura. Se obtuvo el consentimiento informado de los diferentes actores para observar la actividad que desarrollan y para la entrevista. En todos los casos se garantizó el anonimato y la confidencialidad de la información, que fue custodiada por el investigador principal y utilizado únicamente con fines docentes y científicos. La radiación de las pupas de los mosquitos se realizó en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, por lo que no constituyó peligro alguno para las personas durante la actividad de radiación. Tampoco constityó peligro alguno durante el resto del proceso de producción ni liberación de los mosquitos esterilizados ni en el Cano.

La investigación, además de responder a un problema práctico, está en correspondencia con la necesidad de describir los costos de esta novedosa actividad.

Este trabajo constituye un resultado del ejercicio final de Tesis para optar por el título de máster en Epidemiología en el IPK.

2. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO PARA DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y LOS COSTOS.

El presente capítulo pretende proporcionar una breve información sobre el dengue y el control del mosquito *Aedes aegypti*, y aborda teóricamente el proceso productivo y la economía en salud, como elementos imprescindibles para soportar la metodología utilizada para la estimación de los costos de producción y liberación de mosquitos *Aedes aegypti* estériles irradiados mediante la TIE.

2.1 El dengue como problema de salud

El dengue es una enfermedad viral transmitida por mosquitos más común entre los humanos.²⁶ Se describen cuatro serotipos del virus del dengue (DENV-1, DENV-2, DENV-3, y DENV-4) distintos, pero cercanamente relacionados que conforman el complejo del dengue dentro de la familia de los *Flaviviridae*, género *Flavivirus*.²⁷ Los sujetos que se recuperan de una infección por un serotipo adquieren inmunidad de por vida para este, pero solo parcial y transitoria para una infección subsecuente por alguno de los otros tres serotipos.²⁷ Su forma clínica más común es parecida a la influenza, y es conocida como fiebre del dengue, pero las nuevas infecciones incrementan el riesgo de adquirir dengue grave o con la ocurrencia de choque, daño severo de órganos, hemorragias, distrés respiratorio y la muerte.²⁸

En 2013, se estimaron 58,4 millones de casos y casi 14.000 muertes a nivel mundial, así como una carga de enfermedad de 1,14 millones de años de vida ajustados por discapacidad (AVAD).^{29,30} En las Américas, durante 2015 y 2016 hubo más de dos millones de casos por año. En 2017, los casos notificados disminuyeron a 581 268; en 2018, a 533 646, con solo 296 muertes.³¹ Sin embargo, en 2019 se notificaron más de tres millones de casos, la cifra más alta en la historia de las Américas y más del 30 % de la cantidad de casos notificados en 2015 (año epidémico), y estos valores probablemente sean mucho más altos que los datos oficiales como resultado de casos no notificados.³⁰

En Cuba, se reporta dengue desde 1782. El primer brote en el siglo XX en La Habana ocurre en 1944, y después no hay reportes de DENV hasta 1977 en que ocurre una epidemia a DENV -1 con 553 138 enfermos.³ En 1981, ocurre la

mayor epidemia de fiebre hemorrágica del dengue (FHD) reportada en la región, producida por una cepa de laboratorio de DENV -2 que fue deliberadamente introducida en Cuba. En esta se reportaron 344 303 casos, de ellos 10 312 de FHD con la ocurrencia de 158 fallecidos.⁴

Después de la epidemia de 1981 transcurrieron 16 años, sin que se reportara circulación autóctona de DENV, hasta que en 1997 en Santiago de Cuba se produce un brote a DENV-2, con 3 012 casos notificados; 205 FHD y 12 fallecidos. En La Habana, la reintroducción de DENV ocurre en el 2000.⁵

Posterior a 2002 ocurre una epidemia en 2006 y desde 2008 se reportan casos de dengue y otras arbovirosis en forma de brotes cada tres o cuatro años.

2.2 Control del mosquito *Aedes aegypti*

En Cuba, el control del mosquito se realiza a través del Programa Nacional de Control de Vectores.¹³ El programa es semivertical con estructuras administrativas y técnicas a nivel nacional, provincial, municipal y de área de salud. Las decisiones de política se toman a nivel nacional, pero la implementación a nivel del área de salud tiene cierto grado de independencia. Los niveles provincial y municipal planifican estrategias de control, asignan los recursos materiales y realizan el control de calidad a nivel de área de salud y aseguran el análisis de la información correspondiente. El actúa a través de trabajadores pertenecientes y remunerados por las áreas de salud. Las principales actividades del programa son: la inspección de las instalaciones acompañada del control de larvas, el tratamiento de mosquitos adultos en interiores (rociado y/o nebulización) y la nebulización en exteriores.

A pesar de ser un programa intensivo, no se ha logrado evitar la aparición de brotes de dengue y otras arbovirosis.³²

Desde hace unos años se vienen reevaluando o probando nuevas herramientas de control de *Aedes aegypti* como la aplicación de insecticidas residuales, las cortinas impregnadas con insecticidas^{15,33} y la TIE.¹⁶

La TIE se basa en la producción y liberación de insectos estériles, para inducir la reducción de la fertilidad de la población nativa de la propia especie en las zonas tratadas. Siendo la alta capacidad reproductiva de los insectos, una de las claves de su éxito en mantener las poblaciones estables en los ecosistemas, la

afectación de esta propiedad biológica representa un excelente potencial en el control del vector de manera sostenible.¹⁷

La tecnología se ha aplicado con éxito contra plagas de insectos de importancia agrícola y veterinaria en un enfoque de manejo integrado de plagas en áreas extensas. Para los mosquitos vectores de enfermedades humanas, la TIE aún no ha alcanzado el nivel operacional, pero se están realizando ensayos piloto en varias partes del mundo para determinar si la técnica es un método eficaz para la reducción de las poblaciones de mosquitos vectores y, con ello, de la transmisión de arbovirosis.¹⁸

2.3 Los costos del control del mosquito *Aedes aegypti*

A nivel mundial y en Cuba, los datos sobre el gasto para el control rutinario de *Aedes* no son muy precisos. La evidencia económica disponible sobre el coste del control rutinario de *Aedes* es dispersa, escasa y no estandarizada y apenas permite planificar los recursos necesarios ni identificar las actividades más rentables. Esto puede explicarse, entre otras cosas, porque la mano de obra y los suministros a menudo también se utilizan para combatir otros vectores. Por lo general, durante las epidemias de dengue aumentan los gastos de los gobiernos y los donantes internacionales, particularmente en insecticidas, mientras que entre epidemias con frecuencia no hay fondos suficientes para llevar a cabo las actividades de rutina para el control del vector.³²

En Cuba el Programa de Control de *Aedes aegypti* constituye una prioridad desde el punto de vista presupuestario. Los estimados de gasto por habitante en Cuba han ido disminuyendo desde 181,25 CUP en 2012³³ a 112.75 CUP por habitante por año en 2018 (Santiago de Cuba 2015/2017, Playa 2018, datos no publicados).

2.4 El Proceso productivo

El proceso productivo es el conjunto de tareas y procedimientos requeridos que realiza una institución de salud para efectuar la elaboración de bienes y servicios. También puede entenderse como una serie de operaciones y procesos necesarios que se realizan de forma planificada y sucesiva para lograr la elaboración de productos y servicios.³⁴

El proceso productivo es realizado por las instituciones de salud, las cuáles se valen de información y tecnología que es utilizada por las personas para la fabricación de los productos o prestación de servicios médicos. Además, las instituciones de salud realizan sus procesos productivos con la finalidad de poder satisfacer la demanda de salud de la población.

2.4.1 Principales etapas del proceso productivo³⁴

Adquisición de materias primas

En esta primera etapa del proceso productivo la institución de salud reúne todas las materias primas (personal, medios de capital, materiales) que serán imprescindibles para la elaboración de los productos que ofrecerá. Para completar esta fase se necesita definir correctamente el objetivo de producción. Esto garantiza que se utilicen las cantidades y las combinaciones adecuadas de materias primas para ejecutar el proceso de forma eficiente. La falta de las materias primas en cantidad y calidad afecta directamente la producción.

a. Producción

En esta segunda fase se realiza concretamente la transformación de las materias primas e insumos para ser convertidos en productos.

En efecto, es básicamente el proceso de elaboración de los bienes y servicios, por esa razón es indispensable mantener controles estrictos para dar cumplimiento a los estándares de calidad exigidos. Los productos ofertados por las instituciones de salud deberían satisfacer las exigencias de los demandantes (pacientes) en términos de salud en lo posible (calidad y cantidad de vida).

La falta de calidad puede expresarse en términos de disminución de la cantidad y calidad de vida del paciente

b. Adaptación de producto

En este paso se puede evaluar si se han cumplido con las metas establecidas, o sea si el producto o el servicio fue ofertado en adecuación al paciente y de igual forma proceder a realizar las correcciones necesarias.

Por último, la institución establecerá los precios con los que serán comercializados los productos y servicios elaborados, teniendo en cuenta

los **costos** incurridos durante todo el proceso y considerando un margen utilitario.

En general el recorrido productivo va de la planificación a los “inputs” a la función de producción sujeta a control de calidad a los “outputs” que pueden ser productos intermedios o finales que son consumidos por los usuarios.

En cada uno de los pasos se va agregando valor, ese valor tiene expresión en el costo de producción.

2.4.2 Elementos más importantes del proceso productivo³⁴

a. Factores de producción.

Los factores de producción son la tierra, el capital y el trabajo que son requeridos para llevar a cabo el proceso de producción. Si predomina el factor trabajo se dice que la producción es labor intensiva. Si predomina el factor capital se dice que la producción es capital intensiva

b. Función de producción o función transformadora de los inputs en outputs.

Incluye toda la tecnología que se utiliza dentro del proceso y consiste en determinar cómo se efectúa la combinación de los medios humanos, materiales y tecnológicos para desarrollar el proceso de producción.

c. Productos

Los productos son todos los bienes y servicios que se producen para el consumo final de los agentes económicos que son los consumidores, en este caso pacientes; o bienes de capital que son usados para la producción de otros productos o la generación de más riqueza productiva.

2.4.3 Tipos de procesos productivos³⁴

a. Producción en serie. Se realiza cuando se producen productos con características homogéneas, por tanto, son productos estandarizados, no tienen ninguna diferenciación y se producen para el consumo masivo. Por ejemplo, las operaciones en serie oftalmológicas, los paquetes de gasa esterilizados.

b. Producción bajo pedido. Es la que se realiza para elaborar un producto diferenciado y adaptado a las necesidades específicas de cada usuario o paciente. Por ejemplo, la cura de una herida de un paciente, la elaboración de un par de espejuelos.

- c. Producción por lote. Se hace por un cierto número de productos que recibe el nombre de lote de producción, cuando se concluye un grupo de productos, se procede a producir otro y así sucesivamente. Este es el tipo de producción que más se adapta a la TIE.

2.5 Descripción de los procesos para el costeo. Diagrama de flujo del proceso. Matriz Programa-Actividad-Acción-Tarea-Insumo.

Un paso necesario para evaluar los costos del proceso productivo es la descripción gráfica y matricial de la secuencia de actividades u operaciones realizadas, para identificar en cada paso los gastos asociados.

Harrington en su libro “Mejoramiento de los procesos de la empresa” parafrasea el proverbio “Una imagen vale más que mil palabras” de forma tal que lo convierte y amplía hacia los procesos de la empresa en “Un diagrama de flujo vale más que mil procedimientos”.³⁵

Un diagrama de flujo, es una herramienta grafica para describir un proceso. Para ello utiliza símbolos, líneas y palabras simples, que se emplean para demostrar las actividades y su secuencia en el proceso.³⁶

Los pasos a seguir para construir el diagrama de flujo son:

- a. Establecer el alcance del proceso a describir. De esta manera quedará fijado el comienzo y el final del diagrama. Frecuentemente el comienzo es la salida de la actividad previa y el final la entrada a la actividad siguiente.
- b. Identificar y listar las principales actividades/subprocesos que están incluidos en el proceso a describir y su orden cronológico.
- c. Construir el diagrama respetando la secuencia cronológica y asignando los correspondientes símbolos.
- d. Asignar el output productivo para cada actividad.
- e. Asignar un título al diagrama y verificar que esté completo y describa con exactitud el proceso elegido.

Originalmente, la matriz Programa-Actividad-Acción-Tarea-Insumo (PAATI)²³ es una tabla que desglosa o describe las operaciones del flujo de actividades del diagrama de flujo, en círculos concéntricos anidados que van desde las operaciones más generales (actividades) hasta las más específicas o tareas. Así, a cada actividad le corresponden acciones y a cada acción le corresponden

tareas. En esta etapa de tareas se identifican los insumos o recursos necesarios para su ejecución. Esto permite finalmente conocer qué tipo de recursos se necesita medir para encontrar los costos asociados a las tareas, acciones, actividades y proceso en general.

Cualquier proceso asociado a la producción por TIE que se quiera costear, es susceptible de ser mapeado y descrito utilizando la matriz PAATI.

En este estudio decidimos reducir la matriz PAATI a una matriz PAAI (donde se elimina el elemento “tarea”). Para la producción TIE, la cantidad de elementos anidados es más simple que otros procesos productivos en salud. Por tanto, se podía igualar la acción a tarea sin que se perdiera la posibilidad de una buena identificación de los insumos consumidos y el adecuado desglose de los costos dentro de las actividades.

2.6 Economía de la salud

La economía de la salud es la rama de la economía que se centra en el estudio de cómo se utilizan los recursos para satisfacer las necesidades de salud, ya sea en el contexto de un individuo o en el de un grupo de población.³⁷

La evaluación económica forma parte de ella porque es el proceder que conjuga los resultados o beneficios que se pudieran obtener o se han obtenido en cualquier rama de la economía, teniendo en cuenta más de una alternativa y sus costos.³⁶ El principal propósito de una evaluación económica es promover el uso más eficiente de los recursos en un ambiente de escasez.³⁷ En el sector de la salud su aplicación da la posibilidad de ir desde la evaluación de los costos de los servicios y las tecnologías hasta la evaluación de la eficiencia de las mismas.²⁴

Las evaluaciones económicas se clasifican, según su alcance, en completas o parciales. Se consideran evaluaciones económicas completas aquellas que toman en consideración, tanto los costos como las consecuencias (resultados) de diferentes opciones comparadas, por lo que permiten determinar la eficiencia económica de las acciones sanitarias o programas.³⁷

Siendo así se describen cuatro tipos principales: análisis de costo-minimización, análisis costo-efectividad, análisis costo-utilidad y análisis costo-beneficio.³⁷ Estos análisis se diferencian entre sí en que, a pesar de emplear una

metodología similar en la estimación de costos, el método que utilizan para estimar los beneficios es diferente para cada uno de ellos.³⁷

Por otra parte, las evaluaciones económicas parciales son aquellas en las que se evalúa un aspecto de la evaluación económica, los costos o los resultados, pero sin compararlos con otras alternativas. Estas evaluaciones involucran: 1) los estudios de descripción de costos, 2) los de descripción de costo-consecuencia y 3) los análisis de costos,³⁷ siendo la primera la base de esta tesis.

2.6.1 Perspectiva y horizonte analítico

Al realizar una evaluación económica debe considerarse el punto de vista o perspectiva desde la cual se va a realizar, dado que ello conduce a cambios en los costos y en las consecuencias o beneficios a incluir en el análisis.²⁴ Esto se refiere al punto de vista que se adopte para responder a la pregunta de elección entre las opciones en competencia.

Hay dos perspectivas bien definidas: la social, donde son relevantes todos los costos y beneficios (o daños) no importa quien pague y quien reciba los beneficios; y la de grupos específicos en la sociedad, perspectiva del proveedor de los servicios, donde los costos de los pacientes no son evaluados, solo son relevantes los costos que recaen sobre la entidad pública de salud.²⁴

Por otra parte, el horizonte analítico es el intervalo de tiempo durante el cual se observan costos y beneficios. Este debe ser seleccionado de tal forma que incluya todos los costos y beneficios relevantes en que se incurra.²⁴

2.6.2 Los costos

El costo es la expresión financiera del consumo de los recursos para producir un bien o un servicio.³⁸

Los costos expresan este consumo en unidades monetarias, por ejemplo, en dólares estadounidenses (USD). Este consumo representa un sacrificio de recursos que no podrán ser utilizados para producir otro bien o servicio.³⁸

Muchas veces la palabra costo se intercambia por la palabra “gasto” aunque teóricamente no expresan el mismo concepto, porque el costo es el gasto cuando se aplica a las unidades de producción³⁸ para el presente tema sería (gasto de

producción de los mosquitos estériles dividido entre el número de mosquitos producidos).

El gasto no siempre puede aplicarse a la producción (gastos administrativos, renta de autos, multas entre otros).³⁸

Para el cálculo del costo es necesaria la identificación de todos los tipos de recursos utilizados, la medición de las cantidades utilizadas y valoración de esas cantidades. La valoración significa que el número de unidades gastadas de un recurso específico se multiplica por el precio de una unidad.

Clasificación de los costos en el contexto de los servicios de salud

- a. Los costos pueden ser financieros o económicos. Los primeros reflejan el sacrificio en unidades monetarias, los segundos el de oportunidad, que es aquel en que se incurre por tomar una decisión en lugar de otra.³⁷
- b. Atendiendo a su finalidad, el costo puede ser real, cuando refleja los recursos gastados para efectuar una determinada actividad; o de mercado, si representa el precio en que se compra y se vende un producto o servicio.
- c. Tomando en consideración la identificación del servicio se clasifican como directos o indirectos. Los costos directos son los que se asocian al servicio que se está ejecutando, es por ello que se consideran como tales aquellos gastos originados por el pago de la fuerza de trabajo de quien ejecuta directamente las acciones, los consumos de los materiales utilizados, los servicios y otras obligaciones que puedan asociarse de forma directa a la actividad que se ejecuta. En el caso de la TIE, son directos aquellos asociados a recursos gastados que se pueden asociar directamente a la producción de mosquitos como la alimentación, los salarios, la depreciación de capital. Por su parte, los indirectos constituyen gastos o partes de gastos que no pueden asociarse de manera directa a la ejecución de las actividades y por regla general, se originan en otras áreas organizativas que apoyan las acciones de los que lo reciben, se consideran como tal los derivados del agua, teléfono, electricidad, lavandería calderas, entre otros.^{37,39}

- d. Según la duración, los costos se clasifican en elementos como costos de capital, cuando se refiere a recursos de larga duración conocidos también como activos fijos (edificios, muebles, equipos, computadoras, vehículos), y como costos de recurrentes los que se consumen o gastan durante la producción de un bien o servicio y se adquieren regularmente durante un año (salarios, medicamentos, combustible, electricidad, alimentos, papelería).²⁵
- e. Atendiendo a su comportamiento los costos pueden ser fijos (cuando no varían, aunque el nivel de actividad cambie, como ocurre con el sueldo de los profesionales, la depreciación de los medios de capital); variables (cuando varían con el nivel de actividad porque se relacionan directamente con la cantidad de bienes y servicios, como la alimentación de los mosquitos).³⁹
- f. Atendiendo a su cálculo analítico, los costos también se pueden clasificar en totales (cuando incluyen los costos fijos y variables relacionados con la producción de un bien o servicio); promedio o unitario (que es aquel que se refiere al valor medio de producir un bien o servicio y resulta de dividir el costo total entre el número total de productos o acciones) y marginal o incremental (que es el costo de producir una unidad de actividad o servicio adicional).⁴⁰

La aproximación a la estimación de todos estos costos puede ser hecha por microcosteo.²⁴ El microcosteo también llamado costeo por ingredientes o de abajo hacia arriba, que es el que utilizaremos en esta tesis, identifica los elementos del costo a través de la descripción del proceso productivo. Estos elementos del costo, se miden utilizando diferentes técnicas de recolección de datos como la revisión documental (ejemplo: registros de contabilidad), entrevistas, encuestas u observación directa. Por último, los elementos se valoran a precios del mercado y se van agregando por actividad o actor o nivel o alguna combinación de estos, hasta conformar los llamados costos totales por actividad, actor, nivel o alguna combinación de ellos. El microcosteo se realiza utilizando la matriz PAAI de derecha a izquierda.

3. MATERIALES Y MÉTODO

En este capítulo se aborda el diseño del estudio, la disposición de la organización y aspectos metodológicos para la descripción del proceso de producción y el costeo en el laboratorio TIE-IPK. Se presentan las técnicas y procedimientos empleados para la recolección de la información, análisis de datos y las consideraciones éticas.

3.1 Diseño del estudio

Desde el punto de vista epidemiológico, se realizó un estudio observacional de corte transversal.

Desde el punto de vista de la economía de la salud, se realizó una evaluación económica parcial de descripción de costos, desde la perspectiva del proveedor de servicios, y con técnica de microcosteo.

Horizonte temporal y analítico referido a dos momentos.

- Primero, en el periodo comprendido entre junio-agosto 2020 (datos retrospectivos), periodo en el que se ejecutó el ensayo piloto de campo de la eficacia de la TIE.
- Segundo, en junio de 2021 (observación directa), donde se ejecutó un ciclo de producción con el objetivo de realizar una observación *in situ* para el costeo.

3.2 Descripción del sitio de estudio

La producción de mosquitos *Aedes aegypti* estériles irradiados se realizó en el laboratorio TIE-IPK especializado que se encuentra dentro de la institución de salud perteneciente al tercer nivel de atención. Se sitúa en un espacio con un área aproximada de unos 400 m² en la planta baja, que corresponde al bioterio. En este laboratorio se emplean 11 personas de distintas calificaciones que realizan 10 actividades productivas que se detallan más abajo en el documento. Este laboratorio ha sido creado con financiamiento parcial de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA).

3.3 Operacionalización de las variables

Las principales variables que utilizamos en el estudio se describen en la siguiente tabla.

Variable independiente	Tipo	Descripción
Tipo de actividad productiva	Cualitativa nominal	1 Vigilancia 2 Mantenimiento de colonia madre 3 Adultos 4 Inmaduros 5 Separación 6 Irradiación 7 Empaque 8 Liberación 9 Control de Calidad 10 Gerencia
Gasto de salario	Cuantitativa discreta	Se refiere al gasto en la fuerza de trabajo sin incluir transferencias por seguridad social
Gasto de materiales	Cuantitativa discreta	Recursos materiales utilizados
Gasto de alimentos	Cuantitativa continua	Recursos en alimentos utilizados
Costo de medios de capital	Cuantitativa continua	Se refiere a la amortización de los bienes que duran más de un año
Costo medio	Cuantitativa continua	Costos totales de producción divididos por el número de unidades producidas
Costo medio por actividad	Cuantitativa continua	Se refiere al costo medio por tipo de actividad productiva
Costo fijo	Cuantitativa continua	Se refiere al costo que no varía con la variación de la producción

Costo variable	Cuantitativa continua	Se refiere al costo que varía con la variación de la producción
Costo total	Cuantitativa continua	Suma de todos los costos de producción por actividad o del proceso

3.4 Técnicas y procedimientos para la identificación y recolección de los datos de costo y su estimación. Clasificación de los costos

Para la recolección y estimación de los costos se siguieron tres pasos (por microcosteo): 1) descripción del proceso e identificación de los recursos utilizados, 2) cuantificación de los recursos consumidos, 3) valoración de los recursos y estimación de los costos y su estimación por actividades.

3.5.1 Descripción del proceso

En este acápite y en adelante hablaremos de proceso productivo, producción, producción y distribución como sinónimos. Se realizó la técnica de tormenta de ideas²² con el jefe del laboratorio TIE-IPK para elaborar el diagrama de flujo del proceso productivo de la obtención y distribución de mosquitos machos *Aedes aegypti* estériles, y una matriz PAAI, esta última con el objetivo de identificar el personal, los materiales y alimentos y los medios de capital que se utilizan en cada actividad, para la estimación de los costos.

En la matriz PAAI (Anexo 1) se definió como “Programa” la producción de mosquitos estériles, como “Actividades” las relacionadas con cada paso del proceso de producción: 1. Monitoreo, 2. Mantenimiento de colonia madre, 3. Adultos hembras y machos, 4. Inmaduros, 5. Separación, 6. Irradiación de pupas macho, 7. Empaque de adulto, 8. Liberación, 9. Control de Calidad y 10. Gerencia. Como “Acciones” se definieron las tareas a realizar dentro de cada actividad y como “Recursos o insumos” el tiempo-persona, materiales y medios de capital necesarios para la ejecución de las tareas.

3.5.2 Cuantificación de la producción y los recursos. Valoración de los recursos utilizados. Estimación de los costos.

Una vez identificados los tipos de recurso que se utilizaba en cada actividad y tarea se procedió a cuantificarlos. Se realizó una cuantificación ambispectiva. Por un lado, se obtuvieron los datos ya registrados en el laboratorio TIE-IPK durante el periodo junio-agosto 2020 y por otro, se realizó una observación directa del proceso de producción (junio 2021) para ponderar el gasto de recursos según actividad (asignar una ponderación al recurso consumido que puede ser común a varias actividades). Estas ponderaciones se revisaron con los trabajadores y el jefe del laboratorio TIE-IPK y se modificaron según fuera el caso para alcanzar un “promedio ponderado”. Las técnicas utilizadas fueron: la revisión documental (registros contables de salarios, facturas del laboratorio, bases de datos electrónicas del laboratorio), la observación directa de cada actividad (la utilización de los medios de capital, el tiempo utilizado por las personas, los materiales y alimentos consumidos) y las entrevistas a actores clave (jefe del laboratorio y a los trabajadores ocupados en cada actividad).

Los datos obtenidos se vaciaron en los modelos diseñados al efecto (Anexos 2 y 3).

Los recursos cuantificados se valoraron multiplicando la cantidad de recursos consumidos por sus precios promedios a precios constantes del 2021 en CUP. Para ello se utilizaron las facturas de aprovisionamiento del laboratorio TIE-IPK. En su ausencia se utilizaron los listados de la OMS en su página web.⁴¹

Los costos de capital se estimaron por anualización,³⁷ a una tasa de descuento del 3%, una vida útil media según se reportó por el jefe del laboratorio TIE-IPK o como la asumida por WHO-CHOICE,⁴¹ 20% de valor de desecho o reventa y los precios de reemplazamiento en el mercado internacional.³⁷

Algunos de los insumos y medios de capital fueron comprados en Euros. Para convertir Euros a CUP se utilizó una tasa de 1 Euro=27,71 CUP. Para convertir de USD a CUP se utilizó la tasa oficial de cambio 1 USD=25 CUP y viceversa.

Los costos fueron estimados por actividades y dentro de ellas se clasificaron por su naturaleza en recurrentes (salarios, materiales) y de capital.²⁵ Además, en costos fijos y variables.

Para evitar los sesgos de recogida de la información la autora del presente estudio observó al personal e introdujo los datos en los modelos creados al efecto (Anexos 2 y 3).

Los datos fueron transferidos a una hoja de cálculo de Microsoft Excel, y analizados con el Programa IBM® SPSS® Statistics versión 21.

3.6 Análisis de datos

Los cálculos se hicieron basados en una producción (liberación) de 75 000 mosquitos estériles como promedio por ciclo de producción (se refiere al completamiento del proceso de producción una vez, de aproximadamente siete días).

Se estimó la producción promedio por ciclo según actividad y se calcularon los intervalos de confianza del 95% por *bootstrap*. Este método se basa en escoger “n” muestras de tamaño “N” a partir de los datos originales, de forma aleatoria con reemplazo. Para cada muestra se calcula la media y la desviación estándar. Las n medias se ordenan de menor a mayor y se escogen las que representen el 2,5 y el 97,5 percentil de la distribución de medias estimadas, para construir el intervalo de confianza y la estimación de la verdadera media.⁴²

Se calcularon los gastos iniciales de inversión de capital, los gastos fijos en salarios y de capital, los gastos variables en materiales y suministros por ciclo de producción (siete días) y su peso relativo.

Los costos promedio y su frecuencia relativa se estimaron por ciclo de producción (siete días) y por 10 000 mosquitos estériles liberados, según actividad y elementos del costo. Además, se computaron los costos directos e indirectos por actividad. Los costos indirectos se calcularon como el 12% de los directos.⁴³

Se calculó y graficó la estructura porcentual (salarios, materiales y suministros y depreciación de capital) del gasto por actividad.

Se computaron los costos fijos y variables por 10 000 mosquitos liberados, por hectárea cubierta. Los costos indirectos fueron incluidos en los costos variables.

Se realizó un análisis de sensibilidad estático puntual del costo:

1. Como las estimaciones de costo se realizaron sobre la base de la producción de 75 000 mosquitos estériles por ciclo de producción y la capacidad estimada del laboratorio es de 450 000, se proyectaron los costos fijos, variables y promedio, en el intervalo entre 75 000 y 450 000 mosquitos producidos, suponiendo que los costos variables tendrían una tendencia de aumento lineal. Esta proyección se graficó. Para este cálculo solo se tuvieron en cuenta los costos directos.

2. Se calculó la variación del costo por 10 000 mosquitos liberados y por hectárea tratada, bajo el supuesto de una producción de 75 000 mosquitos, variando las siguientes variables: reducción del costo de la actividad de monitoreo en un 30%, aumento de la densidad de mosquitos liberados por hectárea de 1 500 a 2 500 (ajustado a la proyección del costo por aumento de la producción necesaria para cubrir las 50 hectáreas originales), aumento de la tasa de cambio de 1 USD=25 CUP a 125 CUP (Casa de Cambio, CADECA), suponiendo que serían las variables cuya variación tendrían más impacto en los costos finales.

Se calculó el punto de equilibrio económico para identificar el precio potencial de venta de huevos (con un 80% de viabilidad) para la producción de mosquitos estériles que se pudiera realizar en otras provincias del país. Para ello se utilizó el siguiente cálculo:

$$Q = C_f / (p - C_v), \text{ donde}$$

Q-cantidad producida

C_f-costo fijo

C_v-costo variable por unidad producida

p-precio

El precio de venta p se obtuvo haciendo manipulaciones algebraicas sencillas en la fórmula.

Se obtuvo la estimación puntual del costo efecto o costo marginal como el costo por unidad porcentual reducida del índice entomológico (porcentaje de esterilidad inducida).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados y su discusión, respondiendo a cada uno de los objetivos relacionados. Se describen el proceso de producción y la matriz PAAI, después el producto obtenido, los gastos financieros, los costos por actividad, la estructura de los costos y una proyección del costo promedio según capacidad del laboratorio. Se calculan el punto de equilibrio económico, se realiza el análisis de sensibilidad estático y se calcula el estimado puntual de costo efecto.

4.1 Proceso de producción y matriz PAAI

En la figura 1 se muestra el flujo de actividades necesarias para completar el proceso de producción de los mosquitos machos *Aedes aegypti* estériles. El periodo que se necesitó para completar un ciclo de producción (ocurrencia del proceso una vez) fue de siete días. Cada mes ocurrieron cuatro de estos ciclos de producción. Este proceso de producción se puede clasificar como continuo por lotes.

A continuación, se describe el contenido de cada actividad del proceso productivo (ciclo de producción). Cada actividad se repite en cada ciclo de producción.

Actividad 1: monitoreo entomológico.

Consistió en la recolección de huevos de mosquitos en el campo por medio de trampas, que básicamente simulan un criadero de *Ae. aegypti* para estimular la oviposición. Las trampas son recipientes plásticos de color negro, con capacidad de 500 mL, que son rellenas con 300mL de agua y forradas por su parte interior con papel de filtro, de manera que se cubre el borde de la línea de agua. El material biológico de las trampas se colectó cada siete días, retirando el papel de filtro y sustituyéndolo por uno nuevo. Los papeles se transportaron al laboratorio TIE-IPK en cajas plásticas de 8 x 12 x 8 cm (ancho, largo, altura) para evitar el aplastamiento de los huevos de los mosquitos y se mantuvieron en ambiente húmedo durante siete días para permitir la maduración embrionaria.

Posteriormente se realizó la inspección de los papeles por medio de un microscopio estereoscópico (Leica MZ12, Alemania). Se identificaron los huevos recolectados, se contaron y clasificaron en íntegros, colapsados y eclosionados. Los papeles con huevos íntegros se sumergieron en agua para desencadenar la eclosión, utilizando cajas plásticas de 8 x 12 x 8 cm (ancho, largo, altura) rellenas con agua hasta la mitad de su altura con una pizca de harina de pescado como alimento (aproximadamente 5 gr). Las cajas se taparon, de forma que se permitió el intercambio gaseoso, pero no el escape de los adultos. Las larvas se contaron en estadios III – IV y, una vez emergidos los adultos del estadio de pupa, se colocaron en un congelador a -20°C durante 5 minutos para derribar los mosquitos y permitir su clasificación por sexo y especie.

En esta actividad se calculan habitualmente tres variables de salida del monitoreo, que son expresión de la frecuencia (índice de ovitrampas), la densidad (huevos/trampa) y la fertilidad, todas promediadas por unidad de tiempo (semana).

Actividad 2: mantenimiento de la colonia madre.

En esta actividad se mantuvo la cepa de mosquitos en condiciones de cría no intensiva para garantizar el mejor estado físico posible de los individuos, por lo que es independiente de la producción masiva. Incluyó tanto la cría de los adultos en jaulas de 30 x 30 x 30 cm (BugDorm, Bioquip, EEUU), como la cría de los estadios inmaduros en bandejas plásticas individuales de 30 x 50 cm. Los huevos obtenidos de los adultos fueron conservados a 10°C y utilizados para el propio mantenimiento sistemático de la colonia madre, así como para reforzar la cría intensiva en caso necesario.

Actividad 3: adultos.

El objetivo de esta actividad fue la producción de huevos a gran escala, destinados a la producción de los mosquitos estériles que serán liberados. Se realizó en jaulas de cría masiva, consistentes en gabinetes conformados por marcos de aluminio y cubiertos con malla de acero con poros de 1mm (BioQip, EEUU). Estas jaulas miden de 24 x 24 x 24 pulgadas y poseen una manga para facilitar el acceso interior sin permitir el escape de mosquitos.

La actividad comenzó con la introducción de pupas en las jaulas. Las pupas se separaron por sexo aprovechando el fenómeno del dimorfismo. Para su conteo se utilizaron tubos graduados, que poseen pequeños orificios en el fondo para permitir el escurrimiento del agua, pero evitan la salida de las pupas. Para cada lote de producción se calibró el tubo graduado para las tres entidades morfológicas: larvas, pupas machos y pupas hembras. Para ello, un operador realizó de manera visual al menos cinco conteos de 500 individuos, con el auxilio de un gotero. Una vez calibrado, el tubo facilitó el conteo de todo el material biológico producido, habitualmente decenas de miles de individuos.

Se adicionaron suficientes pupas a las jaulas para lograr una densidad de tres mosquitos por centímetro cuadrado de superficie interna, con una proporción de tres hembras por cada macho.

Se adicionó agua y solución de sacarosa al 10% en recipientes de vidrio con un papel de filtro embebido con el líquido, para la hidratación y alimentación de los adultos, una vez emergidos. A las hembras se les ofreció sangre de cerdo una vez por semana, mediante un equipo de alimentación artificial (Hemotek, Reino Unido).

Dos días después se retiraron los recipientes con agua para hidratación y se colocaron bandejas plásticas de 20 x 10 x 10 cm (largo, ancho, alto) conteniendo agua desionizada hasta la mitad de su altura y forradas en su interior con papel de filtro, superficie sobre la cual los mosquitos realizaron la oviposición.

Los papeles con los huevos se colectaron 48 horas después y se dejaron tres días en condiciones de humedad al 80% para favorecer la maduración de los embriones. Después se dejaron secar y se cepillaron con una brocha suave para desprender los huevos de los papeles. El material colectado se tamizó para eliminar detritos, restos de mosquitos y otras impurezas, y se pesó en balanza analítica (Sartorius, Alemania). Los huevos se adicionaron a frascos plásticos de 100mL con tapa, debidamente etiquetados con la fecha, la identificación de la jaula, el ciclo gonadotrófico y el peso. Los recipientes plásticos fueron herméticamente cerrados y, para evitar la proliferación de ácaros, se conservaron a 10°C en un refrigerador horizontal (Dometic, China).

A cada colonia en el interior de las jaulas se les permitió vivir durante cuatro ciclos gonadotróficos, después de lo cual colonia fue eliminada, y se realizó limpieza de las jaulas con agua a presión para eliminar todos los desechos, para ser secadas posteriormente bajo la luz solar.

Actividad 4: inmaduros.

Se refiere a la producción masiva de estadios inmaduros para obtener los machos que serían irradiados. Comenzó con la elaboración del plan de producción en función de la cantidad de machos requeridos para las liberaciones. Se asumió una tasa de recuperación de machos del 38% del total de inmaduros criados, así como una tasa de eclosión de los huevos del 90%.

Para la cuantificación de los huevos se siguió el procedimiento de Zheng y col. (2015),⁴⁴ basado en la relación peso-cantidad. Se asumió que 1g de huevos corresponde a 100000 unidades. Se pesaron los huevos en lotes de 0,1g, en una balanza analítica (Sartorius, Alemania). Cada lote se colocó en un frasco plástico de 100mL de capacidad, destinado a una bandeja de cría masiva. Se dejaron reposar el material biológico a temperatura ambiente hasta el día siguiente en la tarde, en que se adicionó agua a 37°C y se aplicó vacío durante 10 minutos para favorecer la eclosión simultánea.

Se vertió el contenido de los recipientes en bandejas de 9 x 4 x 3 cm (largo, ancho y alto, respectivamente), para proveer la suficiente superficie de agua que permita respirar a todas las larvas. Se dejó reposar toda la noche sin alimentos para promover el desarrollo sincrónico de las larvas, periodo durante el cual eclosionan el resto de huevos viables, y se emparejan en madurez todos los individuos. A la mañana siguiente se transfieren a las bandejas definitivas de cría intensiva (40 x 24 x 2 cm de largo, ancho, alto, respectivamente) y se proporciona dieta por primera vez. La dieta consistió en harina de atún, levadura torula, extracto de levadura, cultivo vivo de *Saccharomyces cerevisiae* y azúcar.

Actividad 5: separación.

Las pupas obtenidas en la actividad 4 se separaron en pupas hembra y macho con un equipo manual estándar importado, diseñado especialmente para esa actividad. Se basa en el dimorfismo, una característica de *Ae. aegypti* en que las pupas hembra son considerablemente más grandes que los machos.

Actividad 6: irradiación.

Las pupas hembras fueron desechadas y las pupas machos se irradiaron para su esterilización. Las pupas machos se empacaron en frascos planos de cultivo celular de 500 mL de capacidad (Corning, EEUU), rellenos solo hasta 250mL y colocados horizontalmente para proveer una amplia superficie para la respiración de las pupas. Se trasladaron al Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear para ser irradiadas con una dosis de 80 Gy en un irradiador de cobalto 60 Isogamma LLCo irradiator (Izotop, Budapest, Hungría), que tenía una tasa de dosis de 8 kGy/h. Una vez completada la irradiación, las pupas fueron retornadas al laboratorio TIE-IPK en los propios frascos de cultivo celular.

Actividad 7: empaque de adultos.

Las pupas irradiadas se empacaron en cajas de cartón elaboradas manualmente en el laboratorio (45 x 12 x 12 cm de largo, ancho y alto, respectivamente). Se les suministró alimento consistente en solución de sacarosa al 10%. Los mosquitos emergieron en el interior de las cajas, a razón de 8 000 por caja, donde permanecieron durante 48 horas, periodo para su maduración y nutrición.

Actividad 8: liberación.

Las cajas de cartón con los mosquitos adultos estériles se trasladaron al área de la intervención con la TIE. Se establecieron 10 puntos de liberación (se utilizó una caja con mosquitos estériles por punto de liberación). Los puntos de liberación se ubicaron cada 200 m, teniendo en cuenta el rango de vuelo de los mosquitos estériles. Para la liberación, el vehículo automotor siguió un itinerario pre-establecido que permitió alcanzar toda el área de estudio, moviéndose a una velocidad de 10 km/h. Desde el interior del vehículo un operador abrió un extremo de la caja, a la vez que la sacaba rápidamente a través de una ventana hecha en la puerta trasera del vehículo, con las dimensiones justas para la caja. Se aplicó una corriente de aire por el extremo contralateral, a través de una apertura de 10 cm de diámetro protegida por una malla metálica. La corriente de aire se obtuvo de ventilador acoplado a la batería del vehículo.

Actividad 9: control de calidad.

Cada actividad de producción de mosquitos estériles realizó procedimientos para comprobar la obtención de los parámetros establecidos. Incluyó la comprobación

de la integridad y viabilidad de los huevos, registro diario de la mortalidad larvaria, mortalidad de las pupas, duración del ciclo de vida del mosquito, cálculo del porcentaje de recuperación de machos y del porcentaje de eclosión de los huevos.

Después de cada irradiación, se tomaron muestras de 50 mosquitos estériles y se cruzaron con 50 hembras no irradiadas. Estas colonias fueron mantenidas con los procedimientos convencionales incluyendo el suministro de sangre y colecta de huevos, que fueron colocados a eclosionar para verificar la esterilidad de los mosquitos. Se registró la supervivencia de los mosquitos estériles, en comparación con mosquitos fértiles.

Actividad 10: gerencia.

Esta actividad se refiere a la organización general del proceso productivo, la administración y la gestión de los recursos humanos y financieros, realización de los planes de trabajo y la verificación de su cumplimiento, las coordinaciones con las instituciones colaboradoras y la verificación de la realización del control de calidad.

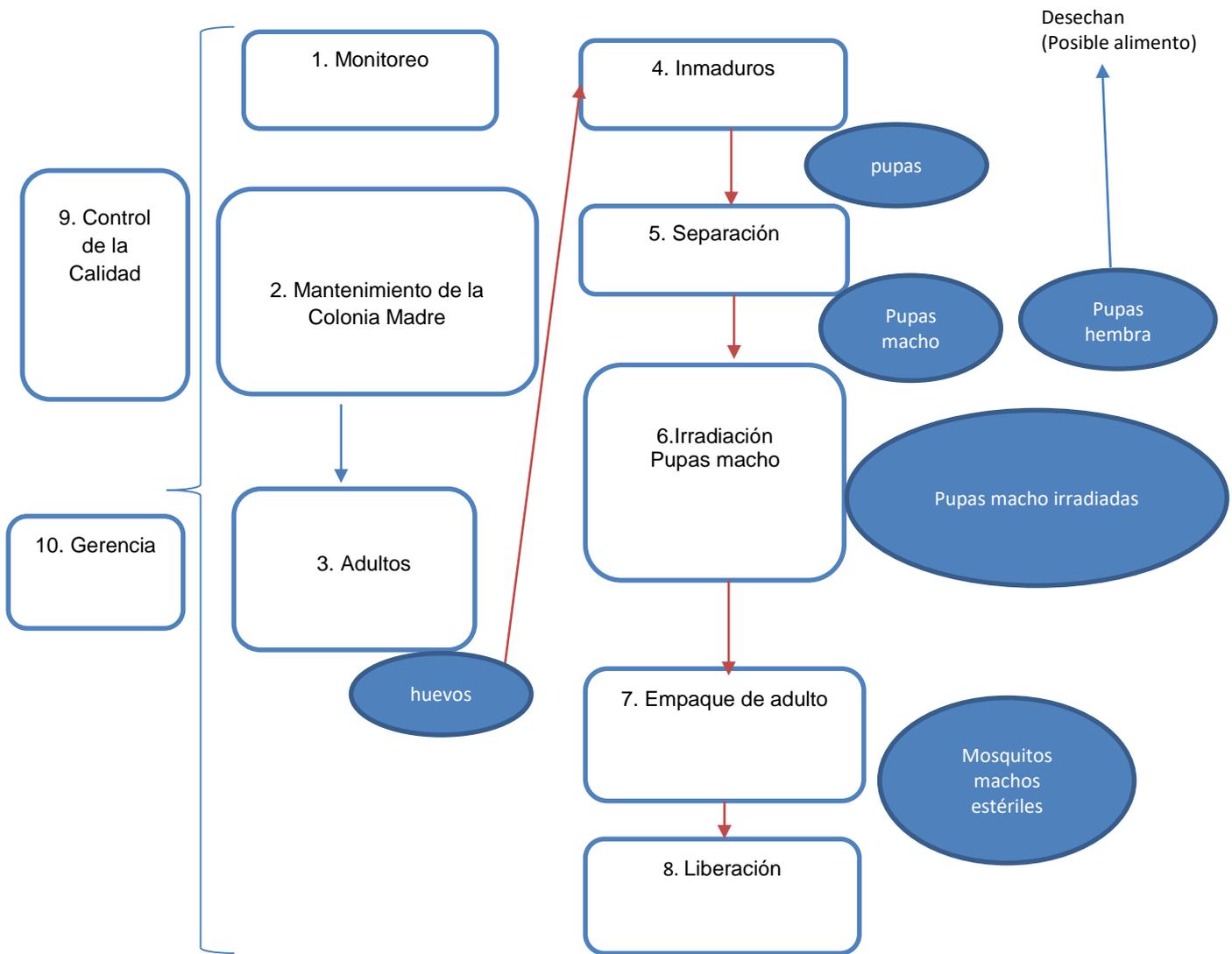


Figura 1. Proceso productivo del mosquito *Aedes aegypti* macho estéril. IPK, 2021.

Este tipo de proceso de producción contiene un flujo de actividades que es típico de los que utiliza la agricultura para la obtención de insectos estériles mediante la TIE, para el control y la eliminación de plagas que dañan cultivos de interés económico. Por ejemplo, la mosca del mediterráneo en países como Ecuador, México, la mosca del Gusano Barrenador en varios países de América Latina, la mosca tse-tsé en Senegal.¹⁹

En la tabla 1 se muestra la matriz PAAI donde se definen cada una de las actividades y las acciones que se realizan dentro de cada una de ellas y la identificación de insumos que se necesitan para las producciones intermedias.

Tabla 1. Matriz Programa-Actividad-Acción-Insumo del proceso de producción de TIE. IPK.2021

Programa	Actividad	Acción	Insumos
Producción de mosquitos estériles	1 Monitoreo	Colocación y recolección de trampas en el terreno (con huevos)	Aguja entomológica, bolígrafo, cajas de puntas, marcador permanente, Goteros, hojas blancas, harina de pescado, láminas cubreobjetos, laminas portaobjetos, papel de filtro corrugado, pinzas, luminarias, trampas de adultos BG-Sentinel, ovitrampas , Freezer - 20°C, split 1 tonelada, microscopio estereoscópico UV, microscopio clínico, lupa, tiempo de personal
	2. Mantenimiento de colonia madre	Alimentación de mosquitos hembras y machos <i>Aedes aegypti</i> de la actividad 1 y de la actividad 3 para	Parafilm, sangre, goteros, papel para esterilizar, azúcar, miel, algodón, gasa, tiempo de personal.
	3.Adultos	Producción masiva de mosquitos para colonia madre.	Jaula de cría masiva (dimensiones 24 x 24 x 24 (Bio Quip)) Estantes para jaulas Tiempo de personal
	4.Inmaduros	Alimentación de las larvas con el objetivo que emerjan las pupas	Agua Tubos plásticos de 50mL Bandejas, papel para pesar

		Pomos de cristal 2500ml, gradillas Tiempo de personal
5. Separación.	Separación de pupas en hembras y machos.	Agua Bandejas Beakers Goteros Contador Luminarias Tubos plásticos de 50mL Tiempo de personal
6. Irradiación.	Irradiación de las pupas machos para lograr su esterilización.	Combustible Pomos de irradiar Cajas Citroen Berlingo, Tiempo de personal
7. Empaque	Empaque de las pupas machos irradiadas con el alimento apropiado en cajas de cartón especialmente diseñadas hasta la emergencia de los mosquitos	Pomos de empaque Cajas de Liberación Estantes Jaulas Bug Door Azúcar Lámparas 20Watt Tiempo de personal
8. Liberación.	Traslado de los mosquitos empacados al lugar previamente seleccionado y se procede a su liberación manual	Citroen Berlingo Combustible Tiempo de personal
9. Control de la calidad.	Revisión de la vitalidad y viabilidad de las pupas en diferentes etapas del proceso.	Placas Pipetas Beaker Goteros Contador Tiempo de personal

	10.Gerencia.	Organización de las actividades	Computadora. Hojas Bolígrafos Tiempo de personal
--	--------------	---------------------------------	---

Esta matriz, junto a la descripción del proceso de producción constituyeron el primer paso para la ejecución del micro costeo.

4.2 Producto obtenido según actividad

En la tabla 2 se registra el producto obtenido según la actividad del proceso de producción. Se estimó que la fertilidad de los huevos para obtener las larvas fue del 80%. Nótese, además, que una parte de las larvas no transitó a pupas (41%). Del total de pupas aproximadamente el 60% se clasificaron como machos. Esto implicó un porcentaje de recuperación de mosquitos macho de aproximadamente el 35% (machos producidos del total de larvas). El número de mosquitos estériles liberados, que en promedio fue de 75 000, fue menor que el producido. Una parte de los mosquitos producidos se utilizan en el control de calidad como se explicó arriba. Esa cantidad producida fue suficiente para cubrir las 50 hectáreas de El Cano (con 960 viviendas), donde se implementó el estudio de eficacia.¹⁶

Tabla 2. Producción promedio por ciclo según tipo de actividad. IPK, 2021.

Actividad	Producto obtenido	Frecuencia absoluta		
		Promedio	IC95%	
Colonia madre	Huevos	339 000	308 311	369 688
Adultos	Hembras y machos	6 457	5 872	7 041
Inmaduros	Larvas	271 200	246 649	295 750
	Pupas total	160 350	140 398	180 301
Separación de pupas	Pupas machos	96 538	83 730	109 344
Irradiación	Pupas machos irradiadas	96 538	83 730	109 344
Empaque de mosquito adulto y liberación	Mosquitos estériles	75 000	68 680	81 319

Fuente. Datos del laboratorio TIE-IPK

Según los expertos el porcentaje máximo de recuperación de mosquitos macho puede ser del 40%. Como promedio, se ha observado internacionalmente un porcentaje del 30%. El 35% obtenido en el laboratorio puede calificarse como muy alto.

Los 75 000 mosquitos estériles producidos por ciclo, como promedio, representaron el 16,6 % de la capacidad del laboratorio. El laboratorio se concibió con una capacidad aproximada de producción de 450 000 mosquitos por ciclo de siete días. En esta primera etapa de donde se implementó el estudio piloto en El Cano, el número de mosquitos estériles que se necesitó liberar fue de 1 500 por hectárea por ciclo productivo de 7 días (obtención y liberación de los mosquitos. Esto dependió de la densidad de mosquitos *Aedes aegypti* salvajes encontrados en la línea base del estudio.¹⁶

4.3 Gastos financieros iniciales, totales y costos

Los gastos financieros totales iniciales en medios de capital (inversión) para la producción del mosquito estéril fueron estimados en 73 329.34 EUR (incluye el gasto si se hubiera comprado un auto para la liberación). No tuvo en cuenta la construcción del laboratorio TIE-IPK ni la compra de un dron. El entrenamiento inicial del personal contabiliza un gasto de salarios de 10 personas tiempo completo equivalente durante dos meses ascendente a 73 250,00 CUP.

Por su parte, los gastos financieros directos totales por ciclo de producción se distribuyeron de la siguiente manera:

Los gastos fijos en salarios fueron de 9 240,51 CUP para el pago de 11 personas a tiempo completo equivalente y dos investigadores a tiempo parcial. Estos constituyeron el 57,7% del gasto total.

Los gastos fijos de capital (depreciación + anualización con tasa de interés del 5% y precio de chatarra del 20%) fueron de 4 432,41 CUP por ciclo de producción (27,7% del gasto total) (tabla3).

Los gastos variables en materiales y suministros a un nivel de producción de 75 000 mosquitos estériles, como promedio, se contabilizaron en 2 344,52 CUP por ciclo (14,6% del gasto total).

Esto hace un total de gastos directos por ciclo de producción de 16 017,44 CUP.

La inversión inicial 73 329,34 EUR no se puede considerar elevada, pero es en moneda libremente convertible, fundamentalmente en medios de capital. Aun así, es una inversión que se realiza una sola vez cada cinco años. Este cálculo, sin embargo, es una subestimación de lo que habría que invertir si es necesario gastar para el arreglo o construcción de locales para un laboratorio TIE de este tipo.

En la tabla 3, también se reportan los gastos totales según actividad y costos de producción según actividad ajustados por 10 000 mosquitos producidos, sobre la base de una producción de 75 000 mosquitos por ciclo. La actividad de monitoreo constituye el 35,9% del costo por 10 000 *Aedes aegypti* estériles producidos con 860,19 CUP, seguida de Adultos con 395,95 CUP (16%), Inmaduros con 349,22 CUP (14,7%), separación con 211,80 CUP (8,9%), mantenimiento de la colonia madre con 204,82 CUP (8,6%), irradiación con 116,75 CUP (5%), liberación y control de calidad con 3% cada una (78,47 y 72,64 CUP), por último el empaque y la administración con 56,20 y 46,16 CUP que representó aproximadamente el 2% del costo en ambos casos. Los gastos totales por ciclo fueron estimados en 17 939,54 CUP, 16 017,44 CUP en gastos directos totales y el resto 1 922,09 CUP en gastos indirectos. De los gastos directos totales por ciclo, el 6,22% se utilizó en alimentación (dieta) para los mosquitos. La actividad hacia dentro de la cual el gasto relativo mayor fue la alimentación de adultos, que alcanzó el 34,72% (datos no mostrados), seguida de la de mantenimiento de la colonia madre con el 4,68%. En el resto de las actividades donde se consumen alimentos, su gasto relativo con respecto a los salarios, depreciación y otros materiales, es marginal.

Tabla 3. Gatos promedio y costo promedio (CUP) cada 10 000 mosquitos liberados por ciclo, según actividad y elemento del gasto (costo). IPK, 2021

Actividad/elemento de gasto (costo)	Gasto promedio por ciclo	%	Costo promedio cada 10 000 mosquitos liberados	%
Monitoreo				
Salarios	4 441,80	68,8	592,24	77,1
Materiales y suministros	734,73	11,4	97,96	12,8
Depreciación de medios de capital	583,68	9,1	77,83	10,1
Gatos (costos) directos	5 760,21	89,3	768,03	100,00
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	691,22	10,7	92,16	
Subtotal	6 451,43	100,0	860,19	35,9
Mantenimiento de colonia madre				
Salarios	596,39	29,0	79,52	43,5
Materiales y suministros	89,53	4,4	11,94	6,6
Depreciación de medios de capital	683,65	33,3	91,15	49,9
Gatos (costos) directos	1 369,58	89,3	182,61	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	164,34	10,7	21,91	
Subtotal	1 533,92	100,0	204,52	8,5
Adultos				
Salarios	1 175,81	39,6	156,77	44,4
Materiales y suministros	1 108,65	37,3	147,82	41,8
Depreciación de medios de capital	367,02	12,4	48,94	13,8
Gatos (costos) directos	2 651,48	89,3	353,53	100,00
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	318,18	10,7	42,42	
Subtotal	2 969,66	100,0	395,95	16,5
Inmaduro				
Salarios	134,36	5,1	17,92	5,7
Materiales y suministros	39,37	1,5	5,25	1,7
Depreciación de medios de capital	2 164,81	82,7	288,64	92,6
Gatos (costos) directos	2 338,54	89,3	311,81	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	280,62	10,7	37,42	

directos)				
Subtotal	2 619,16	100,0	349,22	14,7
Separación				
Salarios	1 284,38	80,8	171,26	90,6
Materiales y suministros	6,09	0,4	0,81	0,4
Depreciación de medios de capital	127,87	8,1	17,05	9,0
Gatos (costos) directos	1 418,34	89,3	189,12	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	170,20	10,7	22,69	
Subtotal	1 588,54	100,0	211,81	8,9
Irradiación				
Salarios	395,41	45,2	52,72	50,6
Materiales y suministros	114,81	13,1	15,31	14,7
Depreciación de medios de capital	271,66	31,0	36,22	34,7
Gatos (costos) directos	781,88	89,3	104,25	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	93,82	10,7	12,51	
Subtotal	875,70	100,0	116,76	4,9
Empaque				
Salarios	376,27	89,3	50,16	99,97
Materiales y suministros	0,10	0,0	0,01	0,03
Depreciación de medios de capital	0,00	0,0	0,00	0,00
Gatos (costos) directos	376,37	89,3	50,18	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	45,17	10,7	6,02	
Subtotal	421,54	100,0	56,20	2,3
Liberación				
Salarios	217,89	37,0	29,05	41,5
Materiales y suministros	111,92	19,0	14,92	21,3
Depreciación de medios de capital	195,66	33,3	26,09	37,2
Gatos (costos) directos	525,47	89,3	70,06	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	63,06	10,7	8,41	
Subtotal	588,53	100,0	78,47	3,3
Control de calidad				
Salarios	309,09	56,7	41,21	63,5
Materiales y suministros	139,33	25,6	18,58	28,7

Depreciación de medios de capital	38,06	7,0	5,07	7,8
Gatos (costos) directos	486,48	89,3	64,86	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	58,38	10,7	7,78	
Subtotal	544,86	100,0	72,64	3,1
Administración				
Salarios	309,09	89,3	41,21	100,00
Materiales y suministros	0,00	0,00	0,00	0,00
Depreciación de medios de capital	0,00	0,00	0,00	0,00
Gatos (costos) directos	309,09	89,3	41,21	100,0
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	37,09	10,7	4,95	
Subtotal	346,18	100,0	46,16	1,9
Total				
Salarios	9 240.51	50,0	1 232.07	58,0
Materiales y suministros	2 344.53	13,0	312.60	14,0
Depreciación de medios de capital	4 432.41	24,0	590.99	28,0
Gatos (costos) directos	16 017,45	89,3	2 135.66	100
Gastos (costos) indirectos (12% de los directos)	1 922,09	10,7	256.27	
Total general	17 939,54	100,0	2 391,93	100,0

No encontramos otros reportes sobre gastos y costos de la producción de mosquitos estériles por irradiación. Alphey y col. (2011)⁴⁵ en un reporte cuyo objetivo fue simular el impacto y los costos de la liberación de mosquitos estériles genéticamente modificados para el control del dengue, utilizó una cifra de costos operacionales de producción que varió de 203.25 a 408,0 CUP por 10 000 mosquitos producidos. Esta cifra es menor que la que reportamos aquí. Sin embargo, en ese estudio se calculó a precios inflacionados a 2008 de un reporte de la India que databa del año 1971. Como mismo reconoce el autor, era el mejor estimado debido a la ausencia de otros reportes. Tampoco se explica que se incluyó en esos costos.

La figura 2 muestra la estructura del gasto directo según actividad. De esta estructura se puede inferir, que el proceso de producción del mosquito *Aedes*

aegypti estéril tiene un carácter tipo labor intensivo. Hacia dentro de las actividades este carácter varía. Las actividades de empaque y administración son esencialmente labor intensiva y la actividad de inmaduros capital intensiva. Para el resto, se observa una combinación donde puede predominar el gasto en personal o la depreciación de capital y materiales.

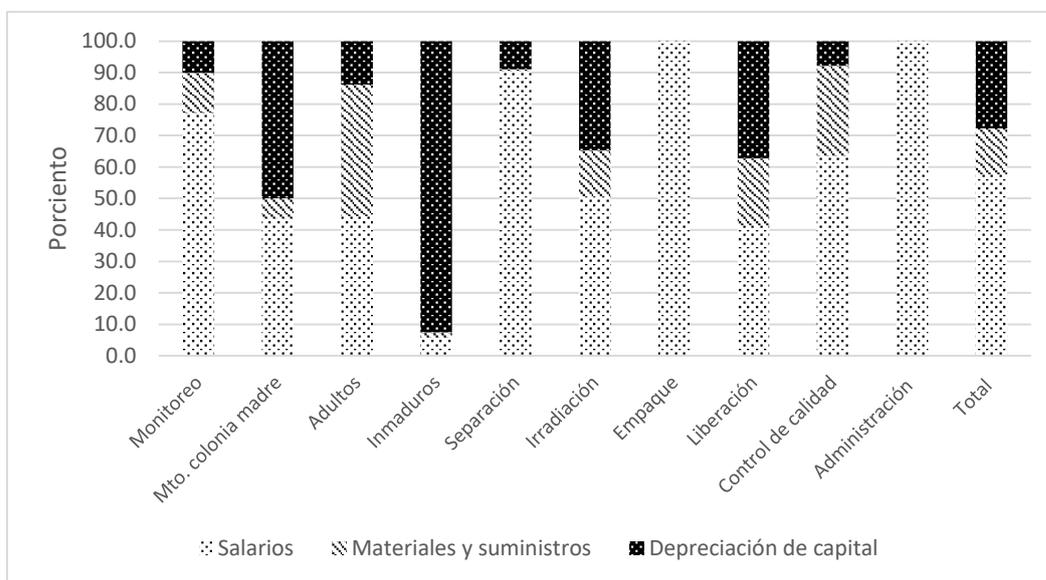


Figura 2. Estructura de los gastos directos por elementos según actividad de producción. IPK, 2021

Este proceso de la TIE puede ser desplazado hacia un tipo de producción capital intensiva en la medida que se utilicen más medios de capital. Por ejemplo, si la separación de pupas se hace con un equipo automatizado, la actividad resultaría en capital intensiva.

Este carácter del proceso de producción aquí descrito, es similar a la de los programas y estrategias de control de *Aedes aegypti*. En Cuba, el programa tiene en general un carácter labor intensivo, con actividades con carácter medianamente capital intensivo como la fumigación intradomiciliaria.²¹

En la tabla 4 se describen los costos totales fijos y variables según unidades de producción seleccionadas. Los costos cada 10 000 mosquitos estériles ascienden a 2 391,93CUP y hectárea tratada 358,79 CUP en ese orden. Los costos fijos para cualquiera de las unidades de producción representan el 76,2% del costo total, debido a que los salarios y la depreciación de medios de capital se consideran gastos fijos.

Tabla 4. Costos (CUP) totales, fijos y variables por unidad de producción. IPK, 2021

Unidad de producción	costos totales	Fijos (%)	Variables (%)
10 000 mosquitos estériles liberados	2 391,93	1 823,06 (76,2)	578,88 (23,8)
Por hectárea tratada	358,79	273,46	85,33

Meghani y col. (2018),⁴⁶ en otra simulación, reportan que la liberación de mosquitos Oxitec GE (*Aedes aegypti* estériles genéticamente modificados) para una población urbana de 50,000 habitantes podría costar aproximadamente 950,0 CUP por habitante el primer año y 192,0 CUP en años subsiguientes. Este autor solo ofrece los datos de costo y el número de habitantes. Con fines comparativos, si suponemos que en El Cano el número de habitantes por vivienda es como promedio 3, y suponiendo que los mosquitos se liberan las 52 semanas del año, el costo por habitante sería 343,20 CUP a una producción de 75 000 mosquitos por ciclo, lo que es tres veces menor. Es importante destacar que se están comparando técnicas de insecto estéril diferentes. Tampoco el costo por habitante es muy útil para contrastar los costos, pero, este autor solo ofrece información sobre los gastos y el número de habitantes donde se liberaron los mosquitos. Sin embargo, con un costo por habitante menor, necesidad de pagar la patente de Oxitec GE, y con una eficacia del 93%,¹⁶ la TIE por radiación podría ser muy atractiva desde el punto de vista económico para el país.

Por otro lado, los costos por vivienda tratada con la TIE, pudieran ser similares o mayores que otras estrategias y herramientas de control aplicadas en Cuba, pero también tener mayor eficacia (93% como se señaló arriba). La fumigación intradomiciliaria puede alcanzar un costo por vivienda de 6,83 CUP por aplicación (Baly et al. Santiago de Cuba 2015-2017, datos no publicados). Pero, no se conoce bien su eficacia. La fumigación perifocal con un insecticida residual tiene un costo semanal ajustado (si se aplica cada 12 semanas) de 2,20 CUP y de 6,62 CUP si se aplica cada cuatro semanas³³. De esta última se conoce que puede tener cierto grado de eficacia en las primeras cuatro semanas después de su aplicación.⁴⁷ En cualquier caso, habría que estudiar si la TIE puede sustituir estas u otras herramientas de control o es necesario combinarla con las

existentes. Si fuera necesario combinarla, los costos aquí informados facilitarían la decisión de presupuestación de la TIE.

4.4 Análisis de sensibilidad (variación de los costos según capacidad de producción y otras variables), punto de equilibrio económico y costo efecto puntual de la TIE.

En la figura 3 se muestran las variaciones de los costos fijo, total y promedio por ciclo de producción de mosquitos estériles, según capacidad potencial de producción, suponiendo que los costos variables sigan una tendencia lineal. Los costos promedio por 10 000 mosquitos producidos y liberados alcanzan a una capacidad de 450 000 por ciclo la cifra de 616,44 CUP, lo que es una reducción de 2,46 veces con respecto a los costos calculados a una producción de 75 000 que como se reportaron arriba fueron 2 391,93 CUP. A una capacidad del 85%, que es una capacidad “promedio a nivel internacional”, los costos promedios se contabilizan en aproximadamente 672,00 CUP por 10 000 mosquitos.

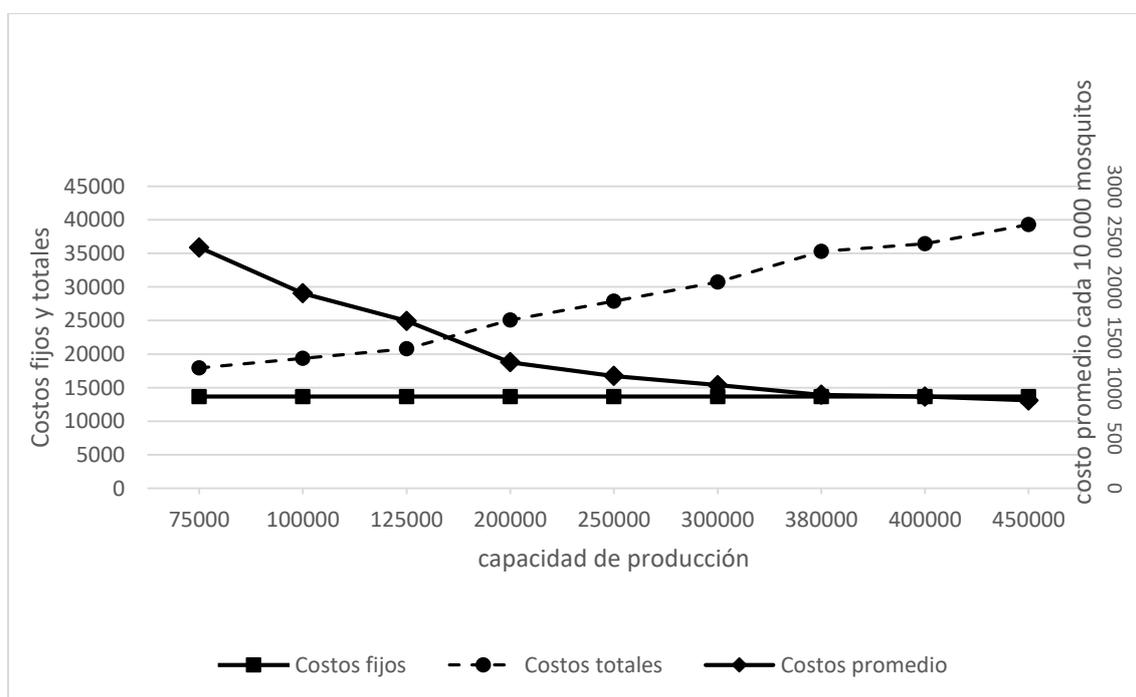


Figura 3. Costo fijo, total y promedio (CUP) por ciclo de producción, según capacidad potencial de producción.

En nuestro estudio los costos fueron calculados a una capacidad del 16,6%. En general, con el subsiguiente aumento de la producción, los costos medios van a disminuir hasta la capacidad de equilibrio. Esto es así debido a que los costos fijos como se señaló arriba son el 76,2% del costo total, produciendo que la variación de costos promedios sea muy sensible al aumento de la producción. Cómo va a ser la tendencia de esa disminución y su cuantía, depende del tipo de función de producción (arriba suponiendo que es lineal), que en este estudio no pudimos identificar, debido que para ello se necesitarían los datos de varios laboratorios como el del IPK o la repetición del estudio a distintos niveles de capacidad de producción en este mismo laboratorio.

En la tabla 5 se reporta el análisis de sensibilidad o de variación de los costos por 10 000 mosquitos estériles producidos y liberados, según la variación de “inputs” seleccionados.

La variable con más impacto en la variación de los costos (aumento) fue la tasa de cambio al precio del mercado de CADECA, con una variación porcentual del 100%, seguido por el aumento de la densidad de mosquitos por hectárea con un 16% y por último la disminución del gasto en monitoreo reduce los costos en un -12%

Tabla 5. Análisis de sensibilidad estático, según la variación de “inputs” de producción seleccionados.

Variable	Variación de la variable	Costo por unidad de producción (CUP)	Variación porcentual
Gastos en monitoreo	Reducción en un 30%	2 133,88 cada 10 000 mosquitos liberados	-12%
Densidad de mosquitos liberados por hectárea	De 1550 a 2500	415,67 por hectárea tratada	16%
Tasa de cambio	De 25 a 125	4 782,98 cada 10 000 mosquitos liberados	100%

El aumento de la tasa de cambio genera un aumento brusco en los costos debido a la inversión inicial en medios de capital y materiales que requirieron de

importación. Como se señaló arriba, los gastos financieros solo en depreciación de medios de capital constituyeron aproximadamente el 30% del total. La variable densidad de mosquitos indica que es necesario aplicar la TIE en el momento oportuno en el terreno para evitar un aumento de los costos finales de liberación. El aumento aquí calculado del 16% se refiere solo a un ciclo de producción, pero mayor densidad de *Aedes aegypti* salvajes en el terreno puede requerir no solo mayor densidad de mosquitos estériles sino también, mayor tiempo de aplicación de la técnica en el terreno, con el consiguiente aumento de los costos anuales. Habría que investigar si la aplicación de un insecticida antes de la aplicación de la TIE para reducir las densidades iniciales de mosquitos, produce una eficiencia mayor o igual a la que ocurriría de no utilizarlo. La reducción de los gastos de monitoreo en un 30%, producen una disminución importante de los costos totales. Según los expertos, cuando la TIE se aplique de manera rutinaria, la actividad de monitoreo puede reducirse a criterio de los que realizan la actividad de vigilancia.

A una producción de 75 000 mosquitos por ciclo, el punto de equilibrio económico (precio de venta de esos mosquitos al cual los beneficios son cero), sin margen de ganancia, es de 0,21 centavos de CUP por cada mosquito. El precio de venta de los huevos en el punto de equilibrio se estimó en 135,75 CUP por cada 10 000 huevos, suponiendo que esos huevos sean fértiles en un 80%. de del 16,6% o 75 000 mosquitos, el precio de venta (punto de equilibrio) por mosquito puede disminuir a 0,07 CUP, suponiendo una tendencia lineal de los costos variables con el aumento de la producción. A la capacidad del 85%, el precio de venta (punto de equilibrio) por mosquito puede disminuir a 0,07 CUP, suponiendo una tendencia lineal de los costos variables con el aumento de la producción.

Para la producción de 75 000 mosquitos por ciclo, con una reducción del 93% en índices entomológicos,¹⁶ el costo por unidad porcentual reducida durante las 17 semanas del ensayo fue de 2 571,96 CUP, en las 50 hectáreas de El Cano donde se desarrolló el estudio de factibilidad de aplicación de la TIE.

La OMS califica las intervenciones de muy eficientes si la relación costo efectividad es menor que el PIB per cápita de un país.³⁷ Aunque, la relación costo efecto aquí calculada no es una relación de costo efectividad (eficiencia asignativa) (porque la medida de efecto utilizada fue una subrogada y no de

impacto, como podría ser la reducción de casos de dengue), la cifra arriba calculada es tres veces menor que el PIB per cápita nominal de Cuba (9,499 CUP) estimado para el 2021⁴⁸. Aun si es un costo adicional para el programa, podría imprimirle eficiencia al mismo.

5. CONCLUSIONES

- El estudio y la descripción del proceso de producción de los mosquitos *Aedes aegypti* estériles utilizando la técnica TIE en el laboratorio TIE-IPK, es un elemento importante para identificar el flujo de producción y realizar el costeo según actividad.
- La producción y liberación del mosquito macho estéril, pudiera tener costos mayores o similares a otras herramientas de control por casa cubierta. Si se aplica en combinación con esas otras herramientas es necesario tener en cuenta su presupuestación adicional.
- La variación de la capacidad de producción de mosquitos estériles, la densidad necesaria de mosquitos estériles a alcanzar por hectárea, la reducción del gasto en el monitoreo, tienen un impacto importante en los costos finales por unidad de producción, lo que indica la necesidad de producir a una capacidad cercana al 85% y aplicar la TIE en el momento oportuno.
- La estimación realizada del costo efecto es menor que el PIB per cápita de Cuba, lo que indica que su implementación le puede imprimir eficiencia al Programa de Control de *Aedes aegypti*.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe producir a una capacidad cercana al 85%.
- ✓ Presentar los resultados del presente estudio a los decisores del Programa Nacional de Control de *Aedes aegypti*, para la valoración de la TIE como alternativa adicional a presupuestar para el control del vector y las enfermedades que transmite.
- ✓ Realizar la evaluación del costo efectividad cuando se inicie el escalado de la TIE.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Liu-Helmersson J, Quam M, Wilder-Smith A, Stenlund H, Ebi E, Massad E, et al. Climate Change and Aedes Vectors: 21st Century Projections for Dengue Transmission in Europe. *Ebiomedicine*[Internet]. 2016 [citado diciembre 2022]; 7: 267-77. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27322480/>
2. Wilder-Smith A, Gubler DJ, Weaver SC, Monath TP, Heymann DL, Scott TW. Epidemic arboviral diseases: priorities for research and public health. *Lancet Infect Dis*[Internet]. 2017 [citado 19 enero 2023]; 17(3): e101-e106. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28011234/>
3. Cantelar N, Fernández A, Albert L, Pérez E. Circulación de dengue en Cuba, 1978-1979. *Rev Cubana Med Trop*. 1981; 33(1):72-8.
4. Kouri, G. P., Guzmán, M. G., Bravo, J. R. & Triana, C. Dengue haemorrhagic fever/dengue shock syndrome: lessons from the Cuban epidemic, 1981. *Bull World Health Organ*[Internet].1989 [citado 19 enero 2023], 67 (4), 375 - 380. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/264674>
5. Valdés LG, Guzmán MG, Kourí G, Delgado J, Carbonell I, Cabrera MV, et al. Epidemiología del Dengue y Dengue hemorrágico en Santiago de Cuba 1997. *Rev Panam Salud Pública* [Internet]. 1999 [citado 20 enero 2023]; 6(1): 16-25. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/8922>
6. Guzmán, M., et al., Final characterization of and lessons learned from the dengue 3 epidemic in Cuba, 2001-2002. *Rev Panam Salud Publica*, 2006. 19(4): p. 282-289
7. Organización Panamericana de la Salud [Internet]. Number of Reported Cases of Chikungunya Fever in the Americas, by Country or Territory 2013-2014, *Epidemiological Week / EW 52* (Updated 29 December 2014). Washington, D.C: OPS; 2015 [actualizado 2022; citado 20 enero 2023]. Disponible en: <https://reliefweb.int/report/world/number-reported-cases-chikungunya-fever-americas-country-or-territory-2013-2014>
8. Organización Panamericana de la Salud [Internet]. Zika. Washington, D.C: OPS; 2015 [actualizado 2022; citado 20 enero 2023].Disponible en: <https://www3.paho.org/data/index.php/es/temas/indicadores-zika.html>

9. Christofferson RC, Mores CN. A role for vector control in dengue vaccine programs. *Vaccine* [Internet], 2015 [citado 13 noviembre 2022]; 33(50): 7069-74. Disponible en: <http://europepmc.org/article/MED/26478199>
10. Fitzpatrick C, Haines A, Bangert M, Farlow A, Hemingway J, Velayudhan R. An economic evaluation of vector control in the age of a dengue vaccine. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet]. 2017 [citado 15 febrero 2022]; 11(8):e0005785. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5573582/>
11. Achee NL, Grieco JP, Vatandoost H, Seixas G, Pinto J, Ching-Ng L, et al. Alternative strategies for mosquito-borne arbovirus control. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet]. 2019 [citado 15 marzo 2022]; 13(1):e0006822. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6317787/>
12. Armada Gessa J.A. & Figueredo González R, Application of environmental management principles in the program for eradication of *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linneus, 1762) in the Republic of Cuba. *Bull Pan Am Health Organ.* [Internet]. 1986 [citado 7 de julio 2021]; 20(2):186-193. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/27766>
13. Ministerio de Salud Pública, Reorganización de la campaña Anti *Aedes aegypti*. Programa de sostenibilidad para el control del Dengue. La Habana: MISAP; 2006.
14. Zara AL, Santos SM, Fernandes-Oliveira ES, Carvalho RG, Coelho GE. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão [*Aedes aegypti* control strategies: a review]. *Epidemiol Serv Saude* [Internet]. 2016 [citado 2 febrero 2023]; 25(2):391-404. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27869956/>
15. Toledo ME, Vanlerberghe V, Rosales JC, Mirabal M, Cabrera P, Fonseca V, et al., The additional benefit of residual spraying and insecticide-treated curtains for dengue control over current best practice in Cuba: Evaluation of disease incidence in a cluster randomized trial in a low burden setting with intensive routine control. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet]. 2017 [citado 2 de marzo 2023]; 11(11). Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-additional-benefit-of-residual->

[spraying-and-for-Toledo-Vanlerberghe/6a5e34abcf07f08ad4a9a4de6224031cec1a7e65](#)

16. Gato R, Menéndez Z, Prieto E, Argilés R, Rodríguez M, Baldoquín W, et al. Sterile Insect Technique: Successful Suppression of an *Aedes aegypti* Field Population in Cuba. *Insects* [Internet]. 2021 [citado 5 de septiembre 2022]; 12(5): 469. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8158475/>
17. Hendrichs J, Vreysen MJ, Enkerlin WR, Cayol JP. Strategic options in using sterile insects for area-wide integrated pest management. En: Dyck VA, Hendrichs J, Robinson AS, editores. *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. 2 ed. CRC Press: Vienna, Austria; 2021. p. 842–66.
18. Lees RS, Carvalho DO, Bouyer J. Potential impact of integrating the sterile insect technique into the fight against disease-transmitting mosquitoes. En: Dyck VA, Hendrichs J, Robinson AS, editores. *Sterile Insect Technique. Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. CRC Press: Vienna, Austria; 2021. p. 1082–118
19. Dame DA, Curtis CF, Benedict MQ, Robinson AS, Knols BG. Historical applications of induced sterilisation in field populations of mosquitoes. *Malar. J.* [Internet]. 2009 [citado 6 de febrero 2023]; 8 (supl. 2). Disponible en: <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2875-8-S2-S2>
20. Bouyer J, Yamada H, Pereira R, Bourtzis K, Vreysen MJB. Phased Conditional Approach for Mosquito Management Using Sterile Insect Technique. *Trends Parasitol* [Internet]. 2020 [citado 6 de febrero 2023]; 36(4): 325–36. Disponible en: [https://www.cell.com/trends/parasitology/fulltext/S1471-4922\(20\)30014-3](https://www.cell.com/trends/parasitology/fulltext/S1471-4922(20)30014-3)
21. Baly A, Toledo ME, Lambert I, Benítez E, Rodríguez K, Rodríguez E, Vanlerberghe V, Stuyft PV. Cost of intensive routine control and incremental cost of insecticide-treated curtain deployment in a setting with low *Aedes aegypti* infestation. *Rev Soc Bras Med Trop* [Internet]. 2016 [citado 27 de

- febero 2023]; 49(4):418-24. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27598627/>
22. Patton MQ. Qualitative research and evaluation methods. 3.^a ed. Thousand Oaks, California: Sage; 2002.
23. Sosa S. Curso de economía en Salud. Conferencia INHEM Costeo de programas de Salud. Cuba; 1999.
24. Gold MR. Cost effectiveness in health and medicine. New York: Oxford University Press; 1996.
25. Johns B, Baltussen R, Hutubessy R. Programme costs in the economic evaluation of health interventions. Cost Effectiveness and Resource Allocation 2003; 1,p 45-67.
26. Arredondo-García J, Méndez-Herrera A, Medina-Cortina H. Arbovirus en Latinoamérica. Acta pediátrica de México [Internet].2016 [citado 16 de diciembre 2022]; 37(2):111-31. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-23912016000200111&nrm=iso
27. Kurane I. Dengue hemorrhagic fever with special emphasis on immunopathogenesis. Comp Immunol Microbiol Infect Dis [Internet]. 2007 [citado 16 de diciembre 2022]; 30:(5-6):329-40. Disponible en: <https://www.clinicalkey.es/#!/content/playContent/1-s2.O0147957107000537?returnurl=https:%2F%2Flinkinghub.elsevier>
28. Organización Mundial de la Salud [Internet]. Dengue y dengue grave. Ginebra: OMS; 2020 [citado 17 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dengue-andsevere-dengue>
29. Shepard DS, Suaya JA, Halstead SB, Nathan MB, Gubler DJ, Mahoney RT, et al. Cost effectiveness of pediatric dengue vaccine. Vaccine [Internet]. 2004 [citado 18 de diciembre 2022]; 22(9-10): 1275-80. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15003657/>
30. Stanaway JD, Shepard DS, Undurraga EA, Halasa YA, Coffeng LE, Brady OJ, et al. The global burden of dengue: an analysis from the Global Burden of Disease Study 2013. The Lancet Infectious Diseases [Internet].2016

- [citado 18 de diciembre 2022];16(6):712-23. Disponible en:
[https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00026-8)
31. Organización Panamericana de la Salud [Internet]. Washington, DC: OPS; 2020 [citado 12 Jul 2020]. Actualización epidemiológica. Dengue y otras arbovirosis-10 de junio de 2020; [aprox.2 pantallas]. Disponible en:
<https://www.paho.org/es/documentos/actualizacion-epidemiologicadengue-otras-arbovirosis-10-junio-2020>
 32. Baly A. Dengue control: the cost of routine programmes, the incremental cost of insecticide treated curtain implementation and the cost effectiveness of involving the community [Tesis doctoral]. Gent; Universidad Médica de Gent; 2013.
 33. Baly A, Gonzalez K, Cabrera P, Popa JC, Toledo ME, Hernandez C, et al. Incremental cost of implementing residual insecticide treatment with deltamethrine on top of intensive routine *Aedes aegypti* control. Trop Med Int Health [Internet]. 2016;21(5):597-602. Disponible en:
<https://doi.org/10.1111/tmi.12693>
 34. Economipedia.com [Internet]. Proceso productivo. España: Economipedia [actualizado 2022.; citado 2 de marzo 2023]. Disponible en:
<https://economipedia.com/definiciones/proceso-productivo.html>
 35. Harrington HJ. Mejoramiento de los procesos de la empresa. Colombia: Presencia Ltda; 1993
 36. Olivan, José Antonio & Fernández-Ruiz, María-Jesús. Mapa de procesos de un sistema de gestión de accesibilidad en un servicio web de la administración [online] 2012 [citado 12 de marzo de 2019]. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/286347232>
 37. Drummond MF, O'Brien BJ, Stoddart GL, Torrance GW. Methods for Economic Evaluation of Health Care Programmes. 3.^a ed. New York: Oxford University Press; 2005.
 38. Flessa S. Costing of Health Care Services in Developing Countries. A prerequisite for Affordability Sustainability and Efficiency. Heidelberg: Peter Lang; 2009.

39. Mogyorosy Z, Smith P. The main methodological issues in costing health care services, A literature review, CHE Research Paper 7, University of York, England, 2005.
40. Varian HR. Intermediate Microeconomics: a modern approach. 4.^a ed. New York-London: W.W. Norton y Company; 2004.
41. Health Systems Governance and Financing. 2021 [actualizado 2022; citado 26 de febrero 2022]. Disponible en: [https://www.who.int/teams/health-systems-governance-and-financing/economic-analysis/costing-and-technical-efficiency/quantities-and-unit-prices-\(cost-inputs\)](https://www.who.int/teams/health-systems-governance-and-financing/economic-analysis/costing-and-technical-efficiency/quantities-and-unit-prices-(cost-inputs))
42. Gray AM. Applied Methods of Cost - Effectiveness Analysis in Health Care. 1.^a ed. New York: Oxford University Press; 2011.
43. Armien B, Suaya JA, Quiroz E, Sah BK, Bayard V, Marchena L, Campos C, Shepard DS. Clinical characteristics and national economic cost of the 2005 dengue epidemic in Panama. *Am J Trop Med Hyg.* 2008 Sep;79(3):364-71.
44. Zheng M-L, Zhang D-J, Damiens DD, Lees RS, Gilles JRL. Standard operating procedures for standardized mass rearing of the dengue and chikungunya vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) - II - Egg storage and hatching. *Parasites & Vectors* [Internet].2015;8(1):348. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13071-015-0951-x>
45. Alphey N, Alphey L, Bonsall MB. A Model Framework to Estimate Impact and Cost of Genetics-Based Sterile Insect Methods for Dengue Vector Control. *PLOS ONE* [Internet].2011;6(10):e25384. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025384>
46. Meghani Z, Boëte C. Genetically engineered mosquitoes, Zika and other arboviruses, community engagement, costs, and patents: Ethical issues. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet].2018;12(7):e0006501. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006501>
47. Toledo ME, Vanlerberghe V, Rosales JP, Mirabal M, Cabrera P, Fonseca V, et al. The additional benefit of residual spraying and insecticide-treated curtains for dengue control over current best practice in Cuba: Evaluation of disease incidence in a cluster randomized trial in a low burden setting with intensive routine control. *PLoS Negl Trop Dis*

[Internet].2017;11(11):e0006031. Disponible en:

<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006031>

48. es.wikipedia.org[Internet]. Economía de Cuba. San Francisco: The Wikimedia Foundation [actualizado 2022; citado 20 de febrero 2023] Disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa_de_Cuba

ANEXOS

Anexo 1. Matriz PAAI

Programa	Actividad	Acción	Insumos
Producción de mosquitos estériles			

Anexo 2. Descripción económica de las actividades del proceso de producción de mosquitos estériles.

1. Nombre y Apellidos del que llena este modelo:

2. Fecha: __/__/____

3. Nombre de la actividad: _____

(Debe coincidir con el nombre en el esquema de flujo de actividad)

4. Año en que están basados los datos aquí recogidos: _____

5. Número promedio mensual de producto obtenido (huevos, pupas, pupas irradiadas, adultos machos, adultos hembras) o de servicios prestados (Coloque la unidad de medida o apellido del número, ej. pupas, etc.): _____

6. (a) costos del personal de laboratorio

Tipo de personal de laboratorio que trabaja en el servicio (indíquela(o)s uno a uno)	Número que trabaja en la actividad (a) (Si los va a indicar uno a uno ponga 1)	Costo mensual promedio (b) Indique el total de ingresos mensuales promedio	Proporción del tiempo (como promedio) que utiliza en esta actividad (c)	Costo total mensual (a) x (b) x (c)	Quién le paga?

Costo total del personal de laboratorio (todos los tipos) =

7. (c) Personal de Apoyo

Tipo de personal de apoyo que trabaja en el servicio (indíquela(o)s por categorías: oficinistas, auxiliares de limpieza,	Número que trabaja en el servicio (a) (Si los va a indicar uno a uno ponga 1)	Costo mensual promedio (b) Indique el total de ingresos mensuales promedio	Proporción del tiempo (como promedio) que utiliza en este servicio (c)	Costo total mensual (a) x (b) x (c)	Quién le paga?

secretarios o uno a uno)					

Costo total del personal de apoyo (todos los tipos) =

(d) Costos del Edificio

Costo de construir un nuevo servicio (a)	Costo anualizado (a) ÷ 25.73	Quién paga?

8. (e) Costos de Capital.

Nombre del medio (muebles, equipos laboratorio, auxiliares)	Número	Valor de compra nuevo	Vida útil en años	Valor anualizado	Quién paga?

11 (f) Costos de otros fondos fijos.

Nombre del medio	Número	Precio por unidad	Quién paga?
Lámparas			
Lámparas			
Electricidad en Kws utilizados por mes			
Agua por mes M ³			
Gas M ³			

Anexo 3 Observación del proceso de producción de mosquitos estériles

1. Nombre de la actividad: _____

2. Fecha: _____

3. Personal

Quién la realiza	Salario:	Tiempo utilizado

4. Que materiales utilizo? (nómbrelos e indique la cantidad utilizada)

Nombre del material	Cantidad utilizada (indique la unidad de medida en unidades internacionales)	Precio por unidad de medida

5. Que equipos utilizo? (nómbrelos e indique la cantidad utilizada)

Nombre del equipo	Cantidad de tiempo que se utilizó el equipo	Precio del equipo	Vida util

6. Producto obtenido

Nombre del producto	Cantidad

Nombre y Firma del que llena este modelo: _____