

**Evaluación de las descargas con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarón blanco entero (*Litopenaeus vannamei*), Santa Elena, Ecuador**

**María José Espinal Díaz**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Honduras**  
Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Evaluación de las descargas con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarón blanco entero (*Litopenaeus vannamei*), Santa Elena, Ecuador**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**María José Espinal Díaz**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2020

## **Evaluación de las descargas con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarón blanco entero (*Litopanaeus vannamei*), Santa Elena, Ecuador**

**María José Espinal Díaz**

**Resumen.** El metabisulfito de sodio (MBS) es utilizado en el tratamiento de camarón entero para prevenir la melanosis, resultando en aguas residuales descargadas sin tratamiento a cuerpos de agua. Para evaluar los impactos y necesidad de tratamiento se estudió el proceso de cosecha de camarón entero en la empresa BARCOB, ubicada en Ecuador. Se estimó la cantidad de MBS descargado a partir de un balance de masa utilizando registros y mediciones en campo. Se encontró que las concentraciones de MBS en las descargas varían como resultado de un proceso no estandarizado en la etapa de tratamiento, estimando un vertido al canal de salida de 15.87 kg MBS/Tm de camarón entero. El análisis de los patrones de transporte y destino indican que el contaminante es altamente reactivo, soluble y no persistente. Se monitoreó el canal aguas arriba, punto de descarga y aguas abajo. La rápida disociación del MBS dificulta el rastreo de su destino en puntos aguas debajo de la descarga. Las alteraciones en la calidad del agua del canal de salida en el punto de descarga evidenciaron una disminución en pH y oxígeno disuelto, efecto atribuido a la descarga del contaminante en combinación con factores como la calidad de agua que es drenada de las piscinas. Se desarrolló una propuesta de mitigación mediante una revisión de literatura, considerando los efectos inmediatos del MBS en el medio acuoso. Se concluye en la necesidad de implementar un tratamiento enfocado en la corrección del pH y la oxigenación natural en el canal de salida.

**Palabra clave:** Calidad de agua, contaminación, melanosis, tratamiento de camarón.

**Abstract.** Sodium metabisulfite (SMB) is used in whole shrimp treatment to prevent melanosis, resulting in wastewater that is discharged into waterways without treatment. To evaluate the impacts and treatment requirements, the whole shrimp harvest process was studied at the BARCOB company, located in Ecuador. The amount of SMB discharged was estimated with a mass balance, using records and field measurements. SMB concentration in discharges were found to vary as a result of a non-standardized process for shrimp treatment, estimating a discharge to the outlet channel of 15.87 kg SMB/Tm of whole shrimp. Analysis of the transport and destination patterns indicate that the contaminant is highly reactive, soluble, and non-persistent. The upstream, discharge point, and downstream of the channel were monitored. The rapid dissociation of SMB makes it difficult to track its destination downstream of discharge points. The alterations in the water quality of the outlet channel at the discharge point showed a decrease in pH and dissolved oxygen, effects attributed to the discharge of the pollutant in combination with quality of the water drained from the shrimp pools. Through a literature review, a proposal was developed to mitigate these impacts, considering the immediate effects of SMB in the outlet channel. The proposal identified the need to implement a treatment focused on pH correction and natural oxygenation.

**Key words:** Melanosis, pollution, shrimp treatment, water quality.

# ÍNDICE GENERAL

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Índice General .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>24</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>25</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>29</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Recolección de datos de los insumos entrantes, productos y corrientes salientes del proceso de cosecha .....	6
2. Rangos para la interpretación de las propiedades fisicoquímicas para de movilidad del contaminante.....	8
3. Método de ensayo para evaluar las alteraciones en el canal de salida.....	9
4. Cuantificación de entradas y salidas del proceso de tratamiento de camarón entero ...	11
5. Cantidad de metabisulfito de sodio en las salidas del sistema .....	15
6. Propiedades fisicoquímicas del metabisulfito de sodio .....	17
7. Diferencia en pH entre el punto aguas arriba y punto de descarga según la cantidad de metabisulfito de sodio en las descargas el día de la cosecha.....	19
8. Alternativas para el tratamiento de metabisulfito de sodio .....	20
9. Sección de tratamiento de agua residual en la bitácora de control de cosecha .....	22

Figuras	Página
1. Ubicación de la granja BARCOB, Santa Elena .....	3
2. Piscinas muestreadas para la cuantificación de descargas de MBS en el canal de salida .....	4
3. Flujo de operaciones unitarias del proceso de cosecha de camarón para entero.....	5
4. Muestreo aguas arriba, punto de descarga con MBS y aguas abajo .....	9
5. Balance de materia del proceso de cosecha .....	12
6. Empleo de metabisulfito de sodio según camarones cosechados.....	13
7. Variabilidad en las concentraciones de metabisulfito de sodio para el tratamiento de camarón entero .....	14
8. Cantidad de agua empleada en la etapa de tratamiento por kilogramo de camarón entero.....	14
9. Cantidad de metabisulfito de sodio descargado y metabisulfito escurrido por camarón entero cosechado.....	16
10. Kilogramos de metabisulfito de sodio descargados por tonelada métrica de camarón entero cosechado.....	16
11. Monitoreo del oxígeno disuelto en el canal de salida.....	18
12. Medición de pH en el canal de salida .....	19
13. Propuesta de plataforma para la captación del agua residual del proceso de cosecha..	21
14. Ubicación del sistema de tratamiento propuesto. ....	22

Anexos	Página
1. Sitio de cosecha. ....	29
2. Escurrimiento del proceso de cosecha .....	29
3. pH y oxígeno disuelto en los puntos de muestreo. ....	30
4. Tiempos para determinar la pluma de contaminante aguas abajo .....	30
5. Área transversal del canal de la piscina 1 .....	30
6. Área transversal en canal de la piscina 24 .....	31
7. Área transversal del canal de la piscina 33 .....	31

# 1. INTRODUCCIÓN

El uso de agua en procesos industriales genera efluentes residuales con un amplio espectro de contaminantes que deben ser tratados previo a su descarga. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2011), los recursos hídricos reciben anualmente entre 300 a 500 millones de toneladas de disolventes, metales pesados y demás residuos generados por el sector industrial. La situación es más alarmante con países en vías de desarrollo, donde el 70% de estos residuos líquidos se vierten en cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento (ONU, 2011). Estas descargas pueden llegar alterar las propiedades fisicoquímicas de los cuerpos receptores, haciéndolos incapaces de neutralizar la carga contaminante y de sustentar la vida acuática (Rodríguez, 2017).

La acuicultura es una actividad productiva que utiliza grandes volúmenes de agua marina tomadas de esteros por medio de sistemas de bombeo, las cuales ingresan a la zona de producción y posterior a su uso, retornan a los esteros y costas (Varela, 2019). El camarón se ha cultivado por muchas décadas a nivel mundial, concentrándose en las regiones de Asia y América (Jory, 2018). En Latinoamérica, el desarrollo más importante fue el crecimiento de la industria camaronera ecuatoriana, que inició en 1968 y ha impulsado el desarrollo del país, creando en el 2019 más de 261,000 empleos directo e indirectos (Zumba, 2020). Para el 2018, el 25.42% de las exportaciones no petroleras del Ecuador corresponden al camarón, posicionándose como el principal producto no petrolero más exportado (Ministerio de Acuicultura y Pesca, 2018). En el 2019, Ecuador fue el segundo productor mundial de camarón y exportó alrededor de 634,000 Tm de camarón generando un ingreso de USD 3,890.5 millones (Cámara Nacional de Acuicultura [CNA], 2020).

La actividad camaronera de Ecuador se basa en el cultivo de camarón blanco del Pacífico (Chávez y Zurita, 2000). *Litopenaeus vannamei*, es nativa de la franja costera del pacífico desde México hasta Tumbes, Perú (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2006). Las camaroneras ecuatorianas suelen ubicarse en extensos terrenos costeros, donde el 60% de los productores hacen uso de sistemas semi-extensivos y el 40% restante produce bajo sistemas semi-intensivos (Chávez y Zurita, 2000). Para la cosecha se drena la piscina y a través de un bolsillo de malla, instalado en la compuerta, se recolecta el producto el cual es sometido inmediatamente a un tratamiento térmico con hielo. Las grandes camaroneras cuentan con cosechadoras donde separan el camarón del agua del estanque por medio de un sistema hidráulico.

La tendencia del mercado internacional es el consumo de camarón entero, liderado principalmente por China, Unión Europea y Estados Unidos (Ministerio de Acuicultura y Pesca, 2018). El camarón entero es la presentación mejor pagada y representa el 89% del producto exportado (Laniado, 2017). Sin embargo, el camarón entero puede llegar a presentar problemas en el control de calidad debido a la melanosis, la cual consiste en una reacción enzimática oxidativa de la tirosina que produce oscurecimiento en los tejidos del camarón cosechado (Álvarez, 2000; Valença y Mendes, 2004). Este es el resultado de un proceso natural que no causa alteraciones en el sabor del camarón, pero es motivo de rechazo del producto (Lucien, 2016). La melanosis es considerada el principal problema en la industria del camarón entero, ya que se manifiesta a pocas horas de la cosecha. Esto conduce a la necesidad de retrasar el proceso de oxidación mediante sustancias inhibitoras que no afecten el sabor ni la textura del camarón.

En este contexto y con la finalidad de detener la degradación enzimática, los sulfitos han sido utilizados desde los años 50 debido su bajo costo y efectividad (Bermúdez y Panta, 2019). En Ecuador, el producto más utilizado es el metabisulfito de sodio (MBS) por su eficiencia y fácil aplicación (Llerena, 2011). Según Jamieson, Guill, Wray y May (1985), su amplio uso en la industria de alimentos esta atribuida por sus propiedades reductoras, antioxidantes e inhibidoras contra la proliferación de microorganismos (Matos et al., 2011). Durante la cosecha, el camarón vivo se sumerge en tinas con una solución de agua, hielo y metabisulfito de sodio durante 10 a 15 minutos. Este tratamiento cumple con la función de sacrificar a los camarones por choque térmico y preservar el producto mediante la inhibición de la proliferación de bacterias y enzimas causantes de la melanosis (Matos et al., 2011). La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) ha establecido los límites para el uso de MBS, sin embargo, este valor rara vez se cumple ya que representa una dosis insuficiente para inhibir la melanosis (Galli, Fujimoto y Abrunhosa, 2012).

En el caso de las descargas a cuerpos de agua de MBS, provenientes del tratamiento de camarón entero (Aragão, Castro y Costa-Lotufo, 2008). Cuando el MBS es vertido sin tratamiento al canal de salida, este reacciona con el oxígeno disuelto del agua produciendo dióxido de azufre gaseoso ( $\text{SO}_2$ ) y sustancias ácidas como  $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , (Aragão et al., 2008; Portillo et al., 2014). Además, se alteran las propiedades fisicoquímicas del medio, manifestando un incremento en la acidez y un descenso en la concentración de oxígeno disuelto (Portillo et al., 2014). La disposición del agua residual con MBS, sin tratamiento previo, puede provocar la muerte organismos acuáticos, causando una alteración trófica y condiciones naturales del ecosistema (Pedale, Fujimoto, Santos y Abrunhosa, 2012).

Las camaroneras descargan diariamente efluentes con MBS a cuerpos de agua, lo cual aumenta la preocupación del impacto causado ya que no se cuenta con un valor límite de referencia para esta sustancia en las normativas de calidad de agua residual para descargas a cuerpos receptores (Aragão et al., 2008). Considerando este escenario, la caracterización de las descargas generadas con metabisulfito de sodio junto a la evaluación de alteraciones en el cuerpo receptor, podría contribuir a esclarecer los efectos de esta actividad productiva y proporcionar insumos para la toma de decisiones orientadas a la mitigación de los impactos ambientales generados. En este contexto, se plantearon los siguientes objetivos para el desarrollo de esta investigación:

- Estimar los kilogramos de metabisulfito descargado en el canal de salida durante los procesos de cosecha de camarón entero recolectado en las piscinas de cultivo.
- Describir los patrones de transporte y destino del metabisulfito de sodio en el canal de salida a partir del análisis de sus características fisicoquímicas y el monitoreo del canal de salida.
- Identificar los tratamientos aplicables para la mitigación de los impactos generados por el metabisulfito de sodio en el canal de salida.

## 2. METODOLOGÍA

### Ubicación del estudio

Se estableció como sitio de estudio la granja camaronera del Grupo BARCOB, ubicada en la Península de Santa Elena, Ecuador. En cuanto condiciones ambientales, el sitio registra una temperatura promedio anual de 25.19 °C y precipitación promedio anual inferior a 500 mm, concentradas en una sola estación lluviosa entre los meses de enero a abril (Stackhouse, 2020). Esta empresa se dedica a la crianza de camarón blanco y consta de un área de producción total de 336 hectáreas. Cuenta con 36 piscinas de engorde con compuertas conectadas al canal de salida (Figura 1). Estos canales son de tierra con un ancho de 5 metros y profundidades variables entre 0.3 y 1.2 metros, transportando constantemente agua hacia al Río Javita.

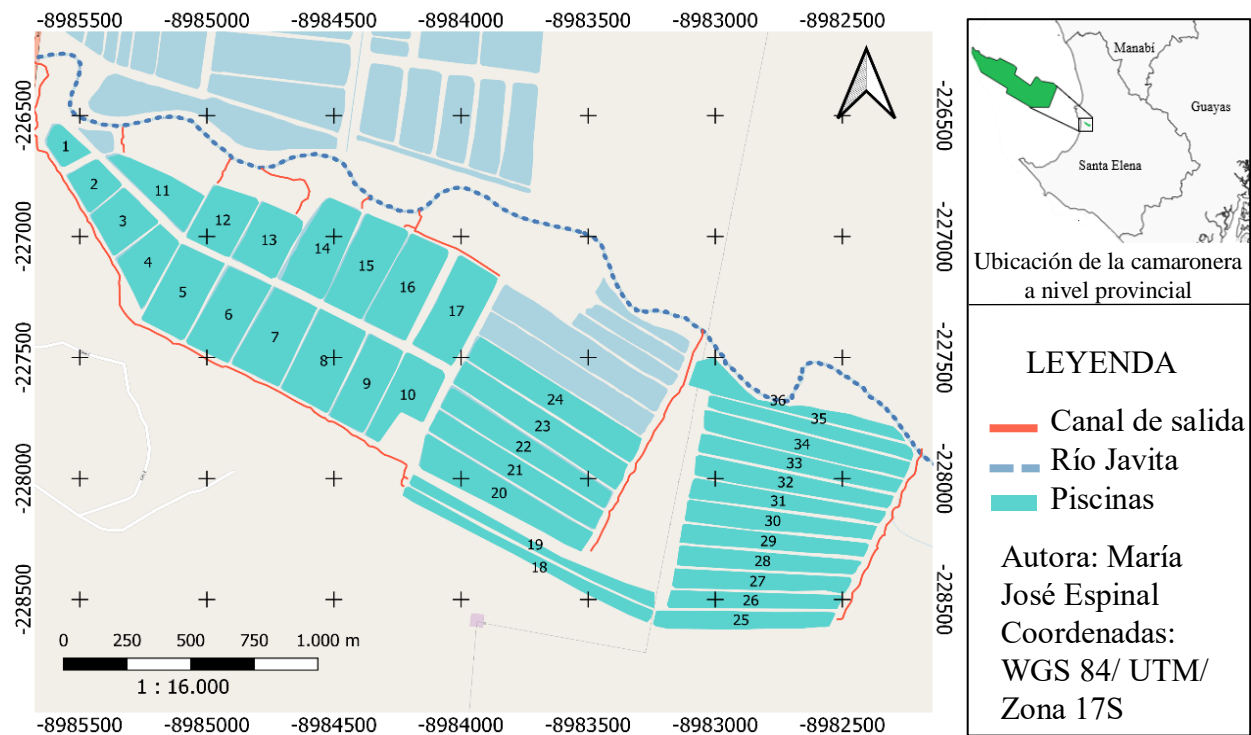


Figura 1. Ubicación de la granja BARCOB, Santa Elena.

### Descripción del proceso de cosecha

En un ciclo de 110 días aproximadamente, se cosechan camarones enteros (entre 15 a 31 gramos) que son comercializados a empacadoras con fines de exportación. Anualmente, la granja camaronera produce 960 Tm de camarón llegando a cosechar cada semana entre una a dos piscinas con rendimientos productivos de 3,500 libras/ha. La cosecha se realiza por la noche y puede durar entre 6 y 8 horas. Este proceso inicia con la colocación de una malla, rodeando la parte interna de la compuerta de salida en forma de media luna previo del inicio del drenaje de la piscina. En esta etapa, los camarones son retenidos y el agua es evacuada hasta llegar al 40% de la capacidad volumétrica de la piscina. Al alcanzar este nivel, la compuerta se cierra y se coloca un bolso en la parte externa.

Seguidamente, se abre la compuerta y se retira la malla para que los camarones agrupados sean recolectados manualmente en gavetas o cestas ( $49 \times 37 \times 27$  cm) para su tratamiento. En el muro junto a la compuerta de salida, se colocan de cuatro a seis tinajas (con capacidad de 1,073 L) según la cantidad de camarón a tratar. En estas, se prepara una solución con MBS, hielo y agua marina a una temperatura de 8 °C. En cada tina se colocan alrededor de 350 libras de camarón durante 15 minutos. Una vez finalizado el tiempo de tratamiento, los camarones son retirados en gavetas, las cuales se mantienen en reposo por 5 minutos. Este proceso genera pérdida de solución en las tinajas por lo que se compensa agregando nuevamente MBS y hielo. Después del escurrimiento, se registra el peso de los camarones tratados los cuales son transportados en bienes a la empacadora.

### Cuantificación de descargas de metabisulfito de sodio en el canal de salida

Se evaluó el proceso de recolección en las piscinas de engorde 1, 9, 13, 23, 24, 28, 30, 31 y 33 las cuales fueron cosechadas durante los meses de julio y agosto (Figura 2). Para cada piscina, se registró en un inventario los insumos entrantes, productos y corrientes de salida del proceso de cosecha. La información recopilada fue tabulada para la elaboración del balance de materia el cual permitió estimar los kilogramos de MBS descargados al canal de salida por las toneladas métrica de camarón entero cosechado (kg de MBS descargado/Tm de camarón).

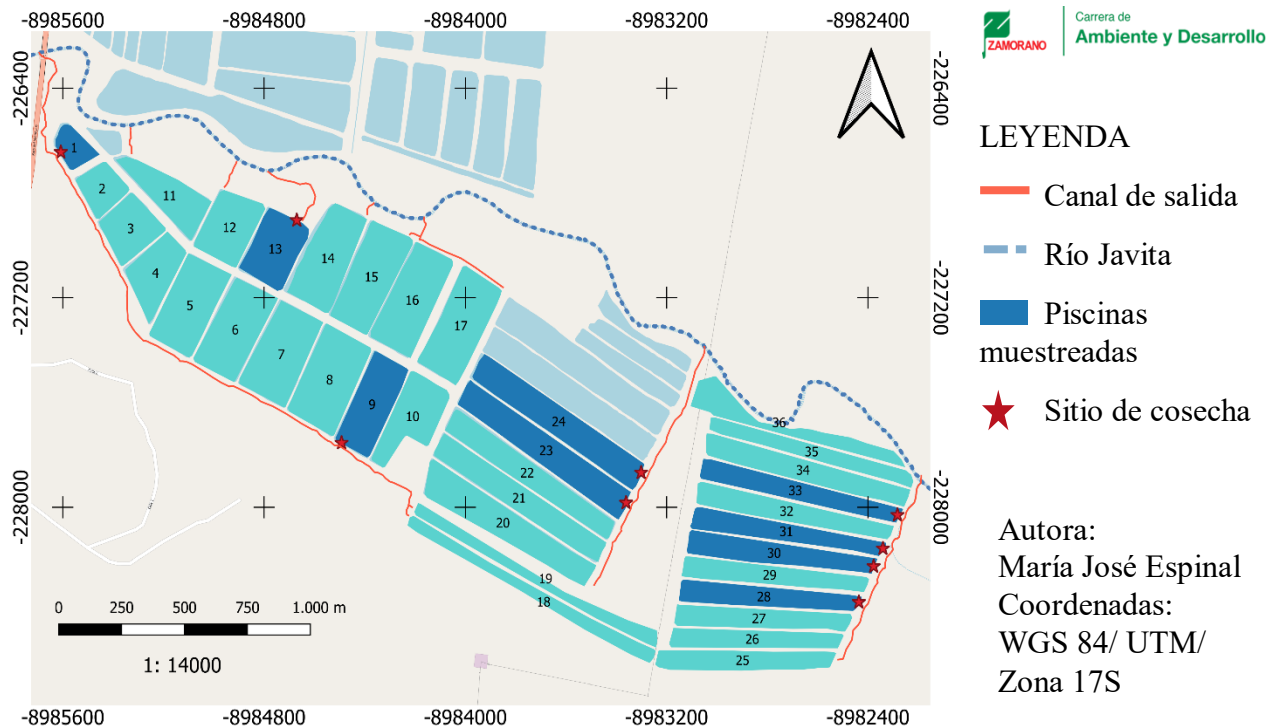


Figura 2. Piscinas muestreadas para la cuantificación de descargas de MBS en el canal de salida.

**Elaboración de balance de materia.** Se consideró como límite de sistema el proceso de cosecha de camarón entero, para lo cual se construyó un diagrama flujo con las operaciones unitarias junto a sus respectivas entradas y salidas (Figura 3). Para cada piscina se elaboró un balance de materia, mediante la recopilación de datos registrados en las bitácoras de control de cosecha de las piscinas.

Esta información fue proporcionada por el jefe de campo y a partir de esta se obtuvieron las cantidades de camarón entero cosechado, MBS y hielo empleado en la etapa de tratamiento del camarón entero. De igual forma, se elaboró un cuadro resumen en donde se registró para cada piscina el agua marina utilizada y agua descarga de la etapa de tratamiento. En el Cuadro 1, se detalla la recolección de datos para cada entrada y salida del proceso.

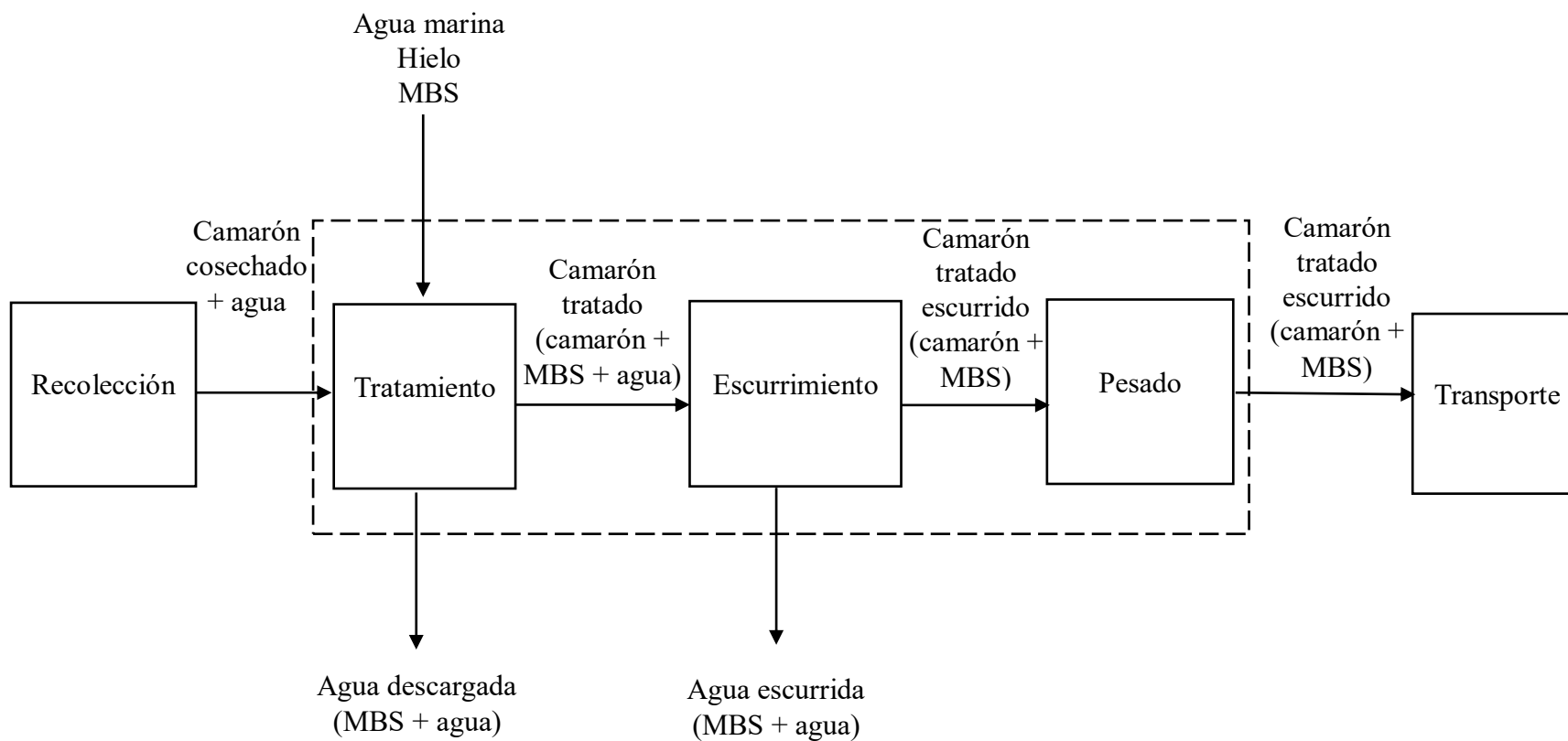


Figura 3. Flujo de operaciones unitarias del proceso de cosecha de camarón para entero

Cuadro 1. Recolección de datos de los insumos entrantes, productos y corrientes salientes del proceso de cosecha.

<b>Operación unitaria</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Recolección de datos</b>
Recolección	No aplica	Camarón cosechado + agua	No se registra dato hasta pesarlo previo a su transporte (agua inapreciable)
Tratamiento	Camarón cosechado + agua		No se registra dato hasta pesarlo previo a su transporte (agua inapreciable)
	MBS		Sacos (kg) utilizados en el proceso de tratamiento
	Hielo		Sacos (kg) utilizados en el proceso de tratamiento
	Agua marina	Agua descargada (MBS + agua)	Utilización de la Ecuación 1
		Camarón tratado (MBS)	Utilización de la Ecuación 2
		Solución (MBS + agua)	Utilización de la Ecuación 3
Escurrimiento	Camarón tratado (MBS)		Utilización de la Ecuación 2
	Solución (MBS + agua)		Utilización de la Ecuación 3
		Camarón tratado (MBS) escurrido	Utilización de la Ecuación 2
		Agua escurrida (MBS + agua)	Utilización de la Ecuación 3
Pesado	Camarón tratado (MBS) escurrido	Camarón tratado (MBS) escurrido	Utilización de la Ecuación 2
Transporte	Camarón tratado (MBS) escurrido	No aplica	Utilización de la Ecuación 2

**Cuantificación de agua marina y agua descargada.** Para obtener el volumen, se calculó el volumen de cada tina midiendo el diámetro de la superficie y la altura de agua mediante una regleta. Se realizó el mismo procedimiento para estimar el agua residual remanente al final de la cosecha. Una vez obtenido los datos se utilizó la ecuación 1:

$$V = \rho h \pi r^2 / 1,000 \quad [1]$$

Donde:

V = volumen de la tina (kg)

$\rho$  = densidad del agua salada (kg/mL)

h = altura de la columna de agua (cm)  
r = radio de la base superior de la tina (cm)

**Cuantificación de metabisulfito de sodio absorbido por el camarón.** Al sumergir el camarón en la solución, este llega a absorber MBS en sus tejidos como dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Según Boyd y Gautier (2002), durante la cosecha los crustáceos absorben 50 ppm SO<sub>2</sub>. Para convertir este valor en términos de MBS (Na<sub>2</sub>SO<sub>5</sub>), se utilizó la estequiometría a partir de la reacción química de este compuesto en presencia de agua (Sevastos y Koliadima, 2014). Para ello se hizo uso de la ecuación 2:

$$\text{kg}_{\text{camarón}} \times \frac{\text{mg SO}_2}{\text{kg}_{\text{camarón}}} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{\text{g}} \times \frac{\text{gmol Na}_2\text{SO}_5}{2 \text{ gmol SO}_2} \times \frac{\text{g Na}_2\text{SO}_5}{\text{gmol Na}_2\text{SO}_5} \times \frac{\text{kg}}{\text{g}} \quad [2]$$

**Cuantificación de agua escurrida.** Se consideró la solución (MBS + agua) entrante a la operación de escurrimiento igual al agua escurrida. La obtención de este valor se realizó mediante la diferencia del agua entrante (agua marina + hielo) y agua residual (MBS + agua) del proceso de cosecha mediante la ecuación 3:

$$(A + B) - C \quad [3]$$

Donde:

A = agua marina (kg)

B = hielo (kg)

C = agua residual (kg)

### **Patrones de transporte y destino del metabisulfito de sodio en el canal de salida**

El transporte, destino e impacto de un contaminante desde su fuente de emisión hasta a un sitio de disposición depende de sus propiedades fisicoquímicas y el medio en que ha sido descargado (MacLeod y Mackay, 2004). El análisis de las propiedades del MBS facilita la comprensión de sus patrones de transporte e interacción con el entorno descrito para el presente estudio. Para esto se realizó una recopilación de las principales propiedades fisicoquímicas asociadas a su solubilidad y volatilidad entre otros. De igual manera, se llevó a cabo un muestreo en campo donde se analizó el efecto entre la descarga de MBS proveniente del proceso de cosecha en el canal de salida.

**Movilidad del contaminante en el canal de salida.** Se analizaron los patrones de transporte y destino del MBS desde las piscinas de producción de camarón hasta el río Javita el cual desemboca en un ecosistema de bosque de manglar. Para esto se realizó una revisión de literatura obtenida de artículos científicos y fichas técnicas de las propiedades del MBS como la solubilidad, presión de vapor, coeficiente de partición octanol/agua (K<sub>ow</sub>) y bioacumulación. Los datos obtenidos fueron comparados con los rangos establecidos en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Rangos para la interpretación de las propiedades fisicoquímicas para de movilidad del contaminante.

Propiedades fisicoquímicas	Rango	Indicador	Referencia
Solubilidad	< 10 mg/L	Poco soluble	(Cao et al., 2018)
	10 – 200 mg/L	Moderadamente soluble	
	≥ 200 mg/L	Soluble	
Presión de vapor	> $7.5 \times 10^{-6}$ mm Hg	Baja volatilidad	(Mao, Cryer, Altieri y Havens, 2018)
	< $7.5 \times 10^{-11}$ mm Hg	Alta volatilidad	
Coeficiente de partición (K <sub>ow</sub> )	K <sub>ow</sub> < 10	Hidrofílico	(Sarraute, Husson y Gomes, 2019)
	K <sub>ow</sub> > 1000	Hidrofóbico	
Bioacumulación	BCF > 1	Potencialmente bioacumulativo	(Badii, Garza, Garza y Landeros, 2005)
	BCF > 100	Altamente bioacumulativo	
Medición de disociación (pKa)	pKa < 4	Fácilmente disociado	(Ossowski et al., 2008)
	pKa > 5	Poco disociado	

**Impacto de las descargas de metabisulfito de sodio en el canal de salida.** Diversos estudios realizados (Andrade, Lacerda y Ventura, 2015; Aragão et al., 2008; Boyd y Gautier, 2002; Galli et al., 2012; Matos et al., 2011; Portillo et al., 2014) han demostrado alteraciones en pH y oxígeno disuelto (OD) al descargar soluciones con MBS en los cuerpos receptores. En este contexto, la evaluación de las alteraciones en el canal de salida es de importancia para comprender los efectos de las descargas del proceso de cosecha. Con los resultados obtenidos se esclarece los efectos con el cuerpo receptor y la necesidad de tratar el compuesto.

Por tanto, se realizó un muestreo sistemático para el monitoreo de las descargas en el canal de salida de tres piscinas cosechadas. La selección dependió de la programación de los ciclos de cosecha definidos por la empresa entre las primeras tres semanas del mes de agosto. Por cada sitio seleccionado se realizó la toma de tres muestras simples puntuales recolectadas las 0, 24 y 48 horas de haber concluido la descarga de la solución de MBS al canal de salida.

Al igual que la investigación realizada por Portillo et al. (2014), el método de obtención consistió en recolectar muestras de agua en tres puntos del canal de salida. La muestra aguas arriba (50 m) como punto de referencia respecto las condiciones del medio y determinante para la evaluación de alteraciones en puntos posteriores. El punto de descarga (0 m) donde se vierte la solución remanente de la etapa de tratamiento. Por último, la muestra aguas abajo (50 m) con el fin de identificar la persistencia y movilidad del contaminante en el canal. La toma de muestras se realizó en la mitad del canal y en los primeros 0.3 m con respecto a la superficie. Para cada piscina cosechada, se georreferenciaron los puntos de muestreo en un mapa utilizando el programa QGIS 3.12.2 (Figura 4). En campo, se utilizó un GPS (Garmin 64s) para determinar los puntos previamente definidos obteniendo un total de nueve muestras por piscina. Una vez identificado los sitios, se recolectaron muestras de 1 L de agua en el canal de salida. Minutos antes de la descarga, se tomó la muestra aguas arriba. Terminada la disposición del agua residual, se recolectaron las

muestras en el punto de descarga. Para el muestreo aguas abajo, se obtuvo cinco velocidades del canal aplicando el método del flotador. Tomando como referencia el estudio de Placencio (2018), se realizó la selección de un transecto de cuatro metros y mediante un artículo flotador se registró el tiempo que toma en completar el recorrido. El promedio de cinco mediciones se utilizó para el cálculo de la velocidad. Este valor se utiliza en el análisis del transporte de la pluma de contaminante y el tiempo que tarda en llegar al punto aguas abajo. Paralelamente, se obtuvo el área transversal del canal para el cálculo del caudal. Para ello se realizó una medición del ancho del canal y se registró la profundidad cada 0.4 metros.

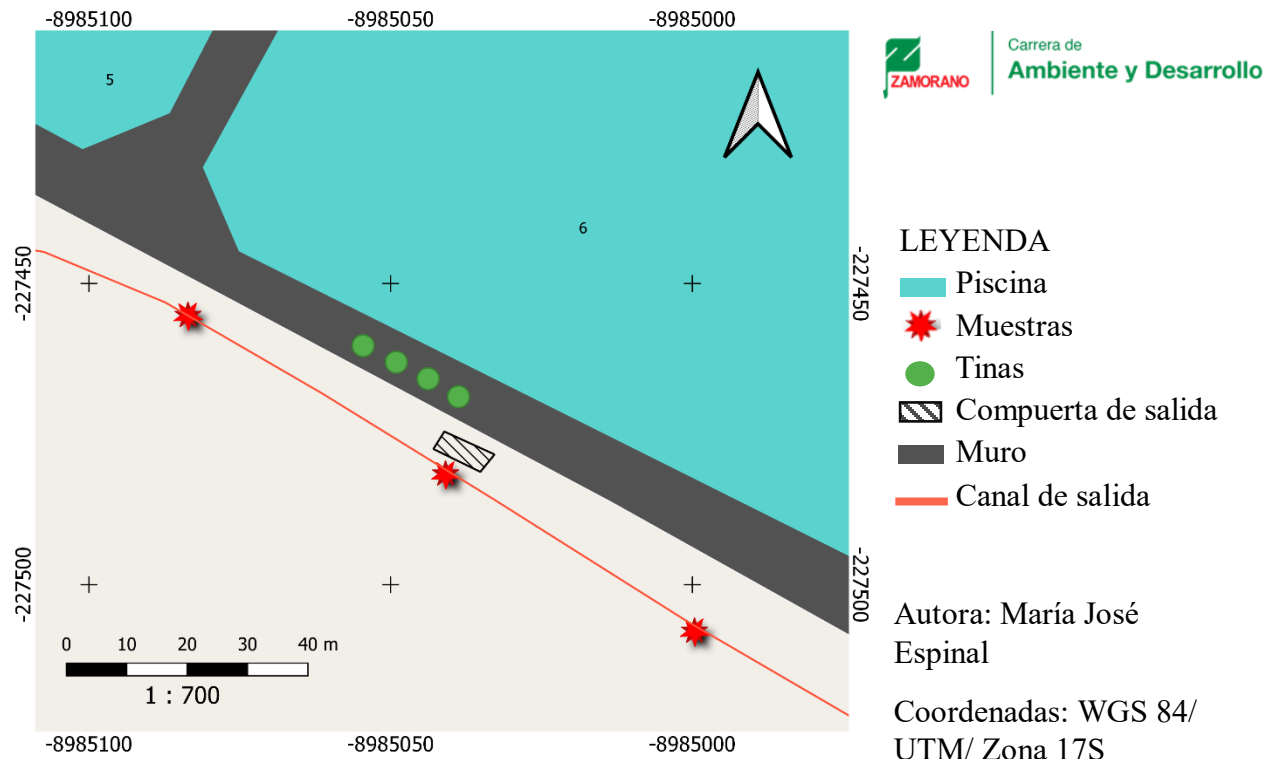


Figura 4. Muestreo aguas arriba, punto de descarga con MBS y aguas abajo.

**Parámetros fisicoquímicos del agua.** Se realizaron muestras *in situ* (Cuadro 3). La medición del pH y OD se realizó con el multiparámetro HI98130 y el medidor de oxígeno disuelto HI9146, respectivamente. Estos parámetros son los principales indicadores de alteración en la calidad del cuerpo de agua estudiado.

Cuadro 3. Método de ensayo para evaluar las alteraciones en el canal de salida.

Ensayo	Método	Referencia
Medición de pH	Medición directa con multiparámetros	Galli et al., 2012
Medición de oxígeno disuelto	Medición directa con electrodo	Portillo et al., 2014

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis estadístico descriptivo mediante la utilización de herramientas de “Microsoft Excel” versión 2007. Los datos obtenidos de las entradas y salidas del balance de materia fueron analizados mediante un cuadro por medio de la utilización de promedios, desviación estándar, coeficientes de variación y gráficas de barras. Para las mediciones de pH y OD en los puntos de muestreo del canal de salida se realizó un análisis estadístico descriptivo de frecuencia utilizando gráficas de barras y el empleo de promedios, desviación estándar y coeficientes de variación.

### **Requerimientos para tratar el contaminante**

Para obtener la revisión de literatura que responda al objetivo 3, se realizó una búsqueda de artículos relacionados con el tratamiento de metabisulfito de sodio en efluentes residuales. Se utilizaron plataformas de búsqueda como ELSEVIER, Springer, OARE y Google Scholar. Se usaron las siguientes palabras claves: “*sodium metabisulfite, shrimp discharges, environmental impact, abiotic and biotic effect*” y, en algunos casos, junto a términos booleanos como “in, and”.

Los criterios de selección fueron artículos relacionados a tratamiento empleado en granjas camaroneras y/o empacadoras, investigaciones en acuicultura o biocontaminación, y publicaciones con menos de 20 años. Con la información obtenida, se realizó una matriz de alternativas para comprender los tratamientos empleados en la industria camaronera. Para cada tratamiento se tabuló los métodos, procedimiento y los resultados obtenido junto a sus respectivas referencias. Dadas las alternativas, se propuso una medida para mitigar el impacto ambiental derivado del proceso de cosecha.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Cuantificación de descargas de metabisulfito de sodio

Durante el periodo de muestreo se cosecharon 61.84 Tm de camarón los cuales fueron tratados en una solución empleando 31,990.29 L de agua entrante (agua marina + hielo) y 2,059.5 kg de MBS (Cuadro 4). Del agua entrante, el 51% se pierde por escurrimiento y el resto se descarga directamente, al canal de salida, volumen que representa el vertido de 1,007.06 kg de MBS. Se hace notar que el agua del canal se conecta posteriormente con el río Javita, sin embargo, el contaminante de interés sufre diferentes transformaciones durante su transporte.

Cuadro 4. Cuantificación de entradas y salidas del proceso de tratamiento de camarón entero.

Piscina	Agua marina (L)	Hielo (L)	MBS (kg)	Camarón (kg)	Descarga con MBS (L)	Camarón con MBS (kg)	Escurrimiento con MBS (L)
1	1,105.75	1,020	87.50	2,568.18	1,651.25	2,568.18	474.50
9	1,592.28	2,790	375.00	12,159.09	2,521.10	12,159.09	1,861.17
13	958.31	2,100	255.00	7,340.91	1,474.33	7,340.91	1,583.98
23	1,253.18	3,000	275.00	8,454.55	1,503.82	8,454.55	2,749.36
24	1,032.03	2,400	287.00	8,250.00	1,474.33	8,250.00	1,957.70
28	1,223.69	2,355	200.00	6,250.00	1,724.97	6,250.00	1,853.73
30	1,267.92	2,550	180.00	5,454.55	1,651.25	5,454.55	2,166.67
31	1,400.61	2,655	225.00	6,227.27	2,049.32	6,227.27	2,006.29
33	1,636.51	1,650	174.00	5,136.36	1,769.20	5,136.36	1,517.31
<b>TOTAL</b>	<b>11,470.29</b>	<b>20,520</b>	<b>2,059.50</b>	<b>61,849.91</b>	<b>15,819.56</b>	<b>61,849.91</b>	<b>16,170.73</b>

**Balance de materia para cuantificación.** En la Figura 5, se muestra el balance de materia del proceso de cosecha de las piscinas muestreadas. En la recolección, se llega a obtener un promedio de  $6.87 \pm 2.67$  Tm de camarón para cada piscina. La variación en la cantidad de camarones cosechados depende del área de la piscina y el sistema de producción (extensivo y semi-intensivo). A partir de los resultados obtenidos se estimó una productividad de 3,200 libras/ha. La cantidad de MBS empleado en la etapa de tratamiento varía según la cantidad de camarón cosechado (Figura 6). En esta etapa se agrega 31.25 kg de MBS por cada 350 libras de camarón y al existir pérdidas de solución por rebalse del contenido de las tinajas, esta se compensa agregando de manera adicional 6.25 y 12 kg de MBS. De igual manera se agrega hielo para mantener la temperatura a 8 °C. En cuanto al empleo de agua marina, se vierte un promedio de  $1,272.48 \pm 234.06$  L y la variación de esta depende de la cantidad de tinajas a utilizar que a la vez se asignan en función al volumen de camarones a tratar.

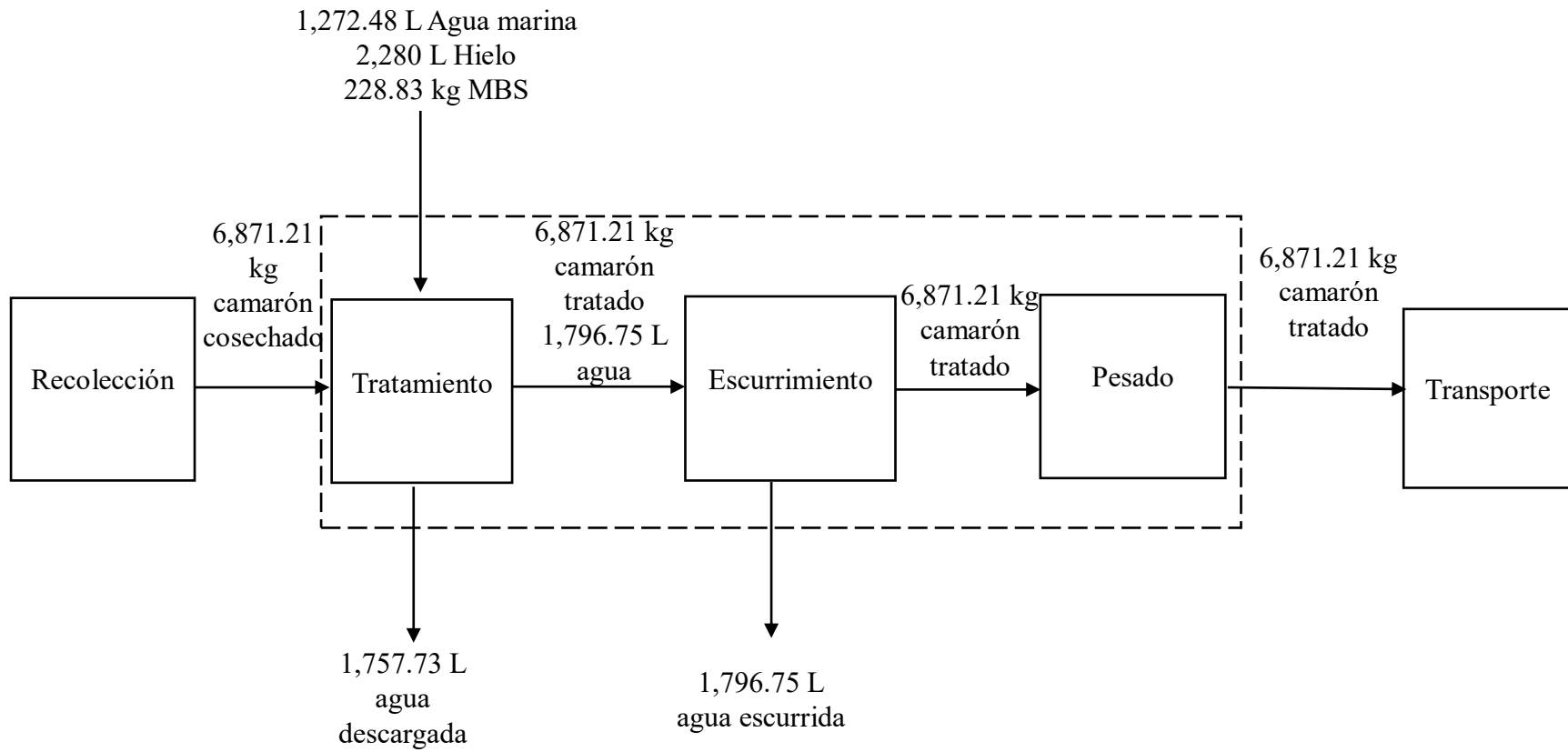


Figura 5. Balance de materia del proceso de cosecha.

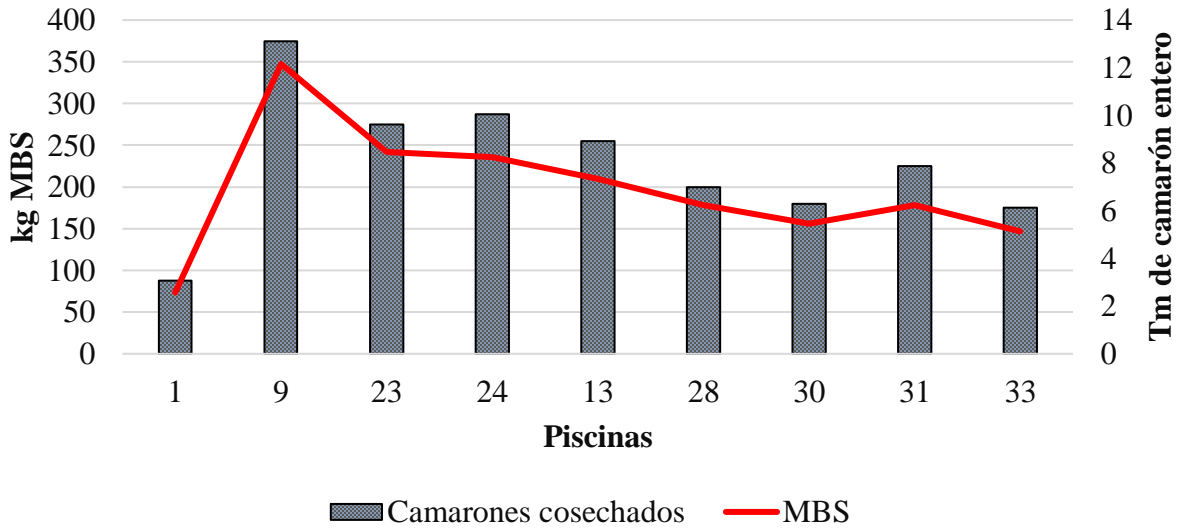


Figura 6. Empleo de metabisulfito de sodio según camarones cosechados.

La concentración de MBS utilizada en el proceso de tratamiento es de un promedio de  $63.35 \pm 16.89$  g/L de solución (Figura 7). Dicha concentración se encuentra dentro del rango, 50 a 100 g/L, utilizado por camaronerías brasileñas pero que excede el límite de 12.5 g/L recomendado por la FDA (Galli et al., 2012; Valença y Mendes, 2004). La variación en las concentraciones denota la falta de un proceso estandarizado para la preparación de la solución en las tinajas. Se podría estar adicionando más MBS de lo requerido para tratar la melanosis. Por otra parte, el empleo no regulado de hielo hace que la concentración de MBS en la solución sea variable. En este contexto, en la piscina 1 se utilizó 0.82 L de solución/kg de camarón lo cual se interpreta como una baja concentración de 41.16 g/L (inferior al promedio utilizado en las otras piscinas), que se obtuvo como resultado de la adición de un exceso de agua empleado en la solución para el tratamiento (Figura 8).

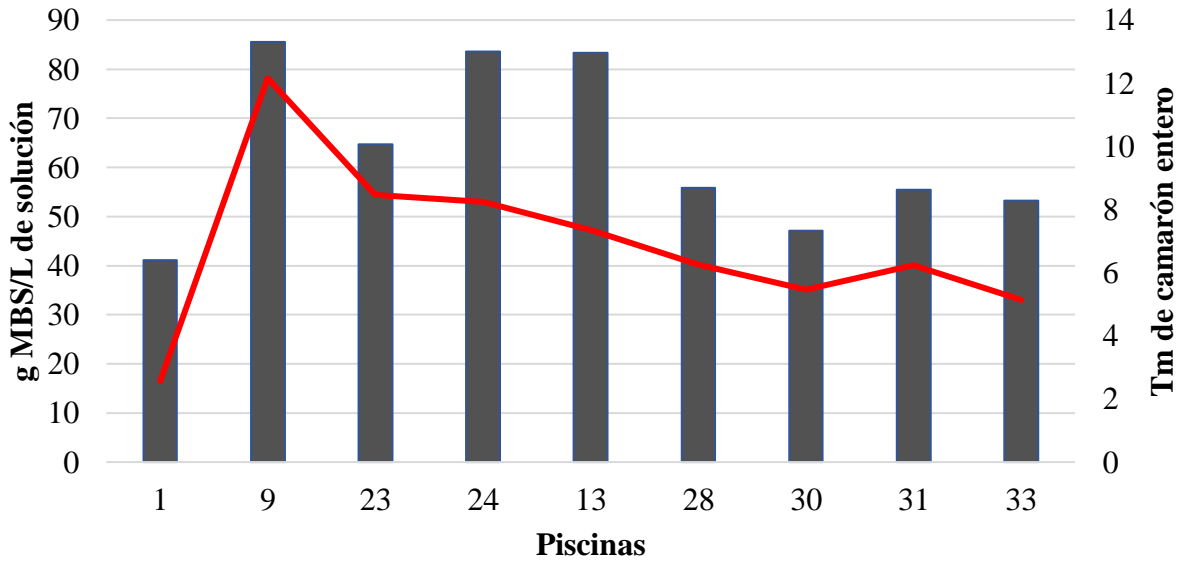


Figura 7. Variabilidad en las concentraciones de metabisulfito de sodio para el tratamiento de camarón entero.

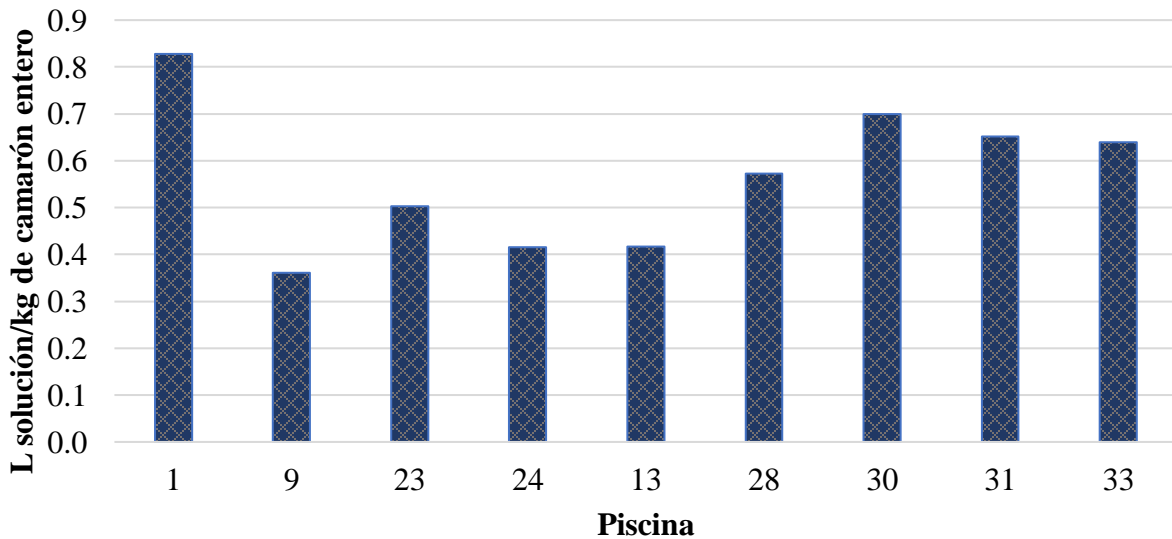


Figura 8. Cantidad de agua empleada en la etapa de tratamiento por kilogramo de camarón entero

Tomando como referencia el valor de absorción de  $\text{SO}_2$  descrito por Boyd y Gautier (2002), una tonelada de camarones absorbe 74.19 g de MBS el cual representa en promedio el 0.2% del MBS empleado (Cuadro 5). Esto indica que el que el producto restante se encuentra en el agua residual (agua escurrida y agua descargada). De este modo, la etapa de escurrimiento ocasiona que el 51.1% del MBS, proveniente del tratamiento, entre en contacto con el suelo del muro. La cantidad de solución escurrida es de un promedio de  $1,796.75 \pm 611.68$  L del cual una parte puede dirigirse a la piscina y/o al canal de salida, según la pendiente del muro.

Cuadro 5. Cantidad de metabisulfito de sodio en las salidas del sistema

<b>MBS empleado (kg)</b>	<b>Absorción de kg MBS/kilogramo de camarón</b>	<b>MBS descargado (kg)</b>	<b>MBS escurrido (kg)</b>
228.83 ± 81.91	0.51 ± 0.20	111.09 ± 43.04	116.94 ± 48.96

Debido a la baja absorción del compuesto en los tejidos del camarón, la diferencia entre la concentración en las tinas y la descargada es mínima. La concentración de MBS en el agua residual es de un promedio de  $63.21 \pm 16.9$  g de MBS por L. Dicho valor se encuentra por encima de la legislación ambiental del Consejo Nacional del Ambiente brasileña (CONAMA) en su artículo 21 numeral 20, en el cual se determina un máximo permisible de 0.001 g/L de sulfitos en efluentes vertidos en cuerpos de agua (Andrade et al., 2015).

En este contexto, la cantidad de MBS empleado en el tratamiento depende de la cantidad de camarones a cosechar el cual supone una mayor cantidad de MBS en el agua residual. Por tanto, la cantidad de solución descargada varía según la cantidad de MBS utilizado en el tratamiento y del escurrimiento generado (Figura 9). Este último supone un factor importante ya que al ser un proceso manual no estandarizado se observaron sobrecargas de solución en la etapa de tratamiento provocando derrames en el muro donde ocurre el proceso. Este efecto explica una mayor pérdida de solución por escurrimiento en las piscinas 13, 23, 24, 28, 30 y 31. Por otro lado, se observa que la piscina 9 descarga mayor cantidad de MBS (215.21 kg) el cual está ligado a la cantidad de camarón cosechado tratado y con poca pérdida de solución por escurrimiento. En esta piscina se trataron 12.16 Tm de camarón el cual supone un mayor empleo de MBS (375 kg) en una solución de 4,382.28 L del cual el 42% fue escurrido. Por otro lado, en la piscina 1 se descargaron 67.82 kg de MBS el cual está relacionado con la menor cantidad de camarón cosechado (2.57 Tm) y la cantidad más baja de MBS utilizada en el tratamiento (87.5 kg). Al igual que la piscina 9 y 33, hubo una mayor cantidad de solución descarga que escurrida.

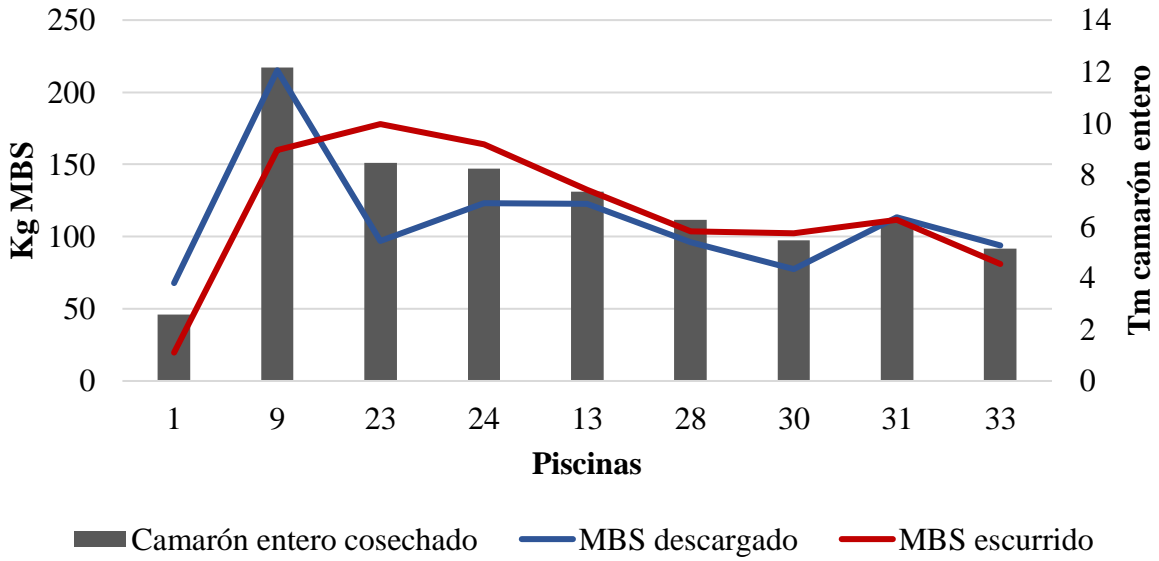


Figura 9. Cantidad de metabisulfito de sodio descargado y metabisulfito escurrido por camarón entero cosechado.

Dada la relación entre la cantidad camarón cosechado y la cantidad de MBS presente en el agua residual se obtuvo una descarga por piscina de  $111.90 \pm 43.04$  kg de MBS en una solución de  $1,757.73 \pm 338.52$  L. Por tanto, se estimó que cada piscina descarga al canal de salida un promedio  $15.87 \pm 2.35$  kg de MBS por Tm de camarón entero cosechado (Figura 10). Considerando una producción anual de 960 Tm de camarón entero cosechado se estima que la granja camaronera descargue 15,233.60 kg de MBS al canal de salida, cuyo valor está sujeto a una variabilidad por un proceso de tratamiento no estandarizado. Para esta proyección se excluyeron los datos obtenidos para la piscina 1 por tratarse de un sistema productivo que difiere de las demás piscinas.

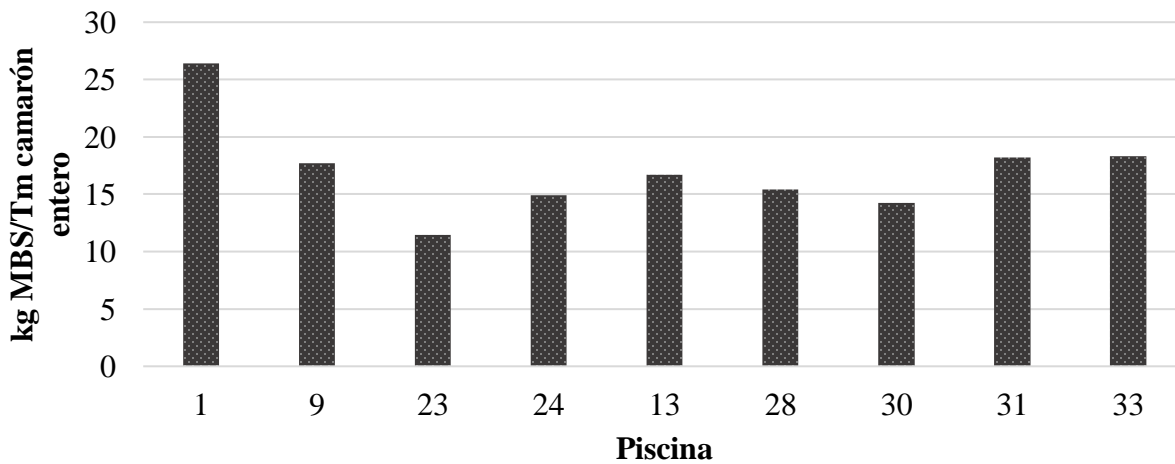


Figura 10. Kilogramos de metabisulfito de sodio descargados por tonelada métrica de camarón entero cosechado.

### Patrones de transporte y destino

Las descargas de MBS se transportan en el agua del canal de salida. El MBS es un compuesto moderadamente soluble por lo cual se transporta de manera disuelta en el agua al presentar una gran afinidad por el medio acuoso (Cuadro 6). Al ser un contaminante hidrofílico existe poca probabilidad de encontrar su presencia en el suelo o en tejidos grasos. Lo que conlleva a un bajo riesgo por bioacumulación en organismos acuáticos pero su disposición en aguas naturales puede llegar a tener un alto consumo químico de oxígeno (Schultz, 2010).

Cuadro 6. Propiedades fisicoquímicas del metabisulfito de sodio.

Propiedad fisicoquímica	Valor	Referencia
Solubilidad	54 mg/L	PubChem, 2020
Coefficiente de partición (LogK <sub>ow</sub> )	-3.7	PubChem, 2020
Bioacumulación	Bajo	Schultz, 2010
Medición de disociación (pKa)	1.8	Yu, Luo, Zeng y Wu, 2012

En cuanto a la volatilidad, la reacción química del MBS en agua genera la formación de SO<sub>2</sub>, el cual se puede transferir, a través de la interacción agua aire, al medio ambiente atmosférico (Sevastos y Koliadima, 2014). Esto puede suceder desde el momento de preparar la solución en la etapa de tratamiento de camarón entero. Al descargar la solución, el dióxido de azufre es oxidado rápidamente dada la salinidad del canal (Schultz, 2010). El MBS al tener un pKa bajo, se disocia rápidamente en bisulfito en solución acuosa al tener un pH cerca de la neutralidad y demás en compuestos ácidos modernamente solubles como NaHSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> que llegan alterar las condiciones del medio (Aragão et al., 2008; Portillo et al., 2014; Yu et al., 2012).

Estas características representan un desafío al momento de plantear un programa de monitoreo, ya que la molécula del MBS no es persistente y para la evaluación de su impacto se deben analizar los contaminantes secundarios, obtenidos como resultado del proceso de transformación del MBS. En este contexto, los compuestos ácidos (NaHSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) generados disminuyen el pH y la demanda de oxígeno por lo que se perfilan como las principales alteraciones que pueden ser detectadas como resultado de las descargas de MBS en el medio acuoso (Aragão et al., 2008; Portillo et al., 2014)

**Efectos de la descarga de MBS en el canal de salida.** Las descargas al canal de salida fueron monitoreadas con una evidente disminución en pH y oxígeno disuelto en el sitio de descarga. Estos valores se obtienen como resultado de las disociaciones del MBS formando iones de hidrógeno los cuales provocan una disminución en el pH al neutralizar los bicarbonatos presentes en el cuerpo de agua (Valença y Mendes, 2004). Por otro lado, el MBS al ser un agente reductor, al descargar la solución esta reacciona con el OD formando bisulfito de sodio (NaHSO<sub>4</sub>) llegando a consumir 0.15 mg/L de OD por cada miligramo de bisulfito de sodio (Boyd y Gautier, 2002; Galli et al., 2012). Estos parámetros alcanzan las condiciones originales sin mostrar persistencia a las 24 y 48 horas como producto de la dinámica del canal de salida al no ser un cuerpo estático (Boyd y Gautier, 2002).

El OD muestra un claro patrón de disminución en el canal de salida en el punto donde ocurre la descarga al momento de la cosecha y tratamiento del camarón. Como se observa en la Figura 11, la reducción en el punto de descarga al canal de salida se hace evidente y puede llegar a afectar el punto aguas abajo en menor escala. Conforme pasan las horas este parámetro retoma su normalidad sin mostrar persistencia luego de 24 horas. La piscina 1 muestra el más notable descenso de OD en el punto de descarga con respecto aguas arriba a las 0 horas. Este efecto puede deberse al arrastre de materia orgánica proveniente del suelo de la piscina, ya que en muchos casos las piscinas siguen drenándose al descargar la solución de las tinas. Por tanto, existen otros factores relacionados a la calidad de agua que es drenada de las piscinas que contribuyen de forma acumulada a la alteración de la calidad del agua en el canal. En la piscina 24 y 33 se aprecia la misma dinámica con una estabilización a las 24 horas y 48 horas, respectivamente. Sin embargo, en la piscina 33 se observa que el punto de descarga fue el sitio que más tardó en normalizarse lo cual se puede deber a distintos factores que presentó el agua del canal en el día de muestreo.

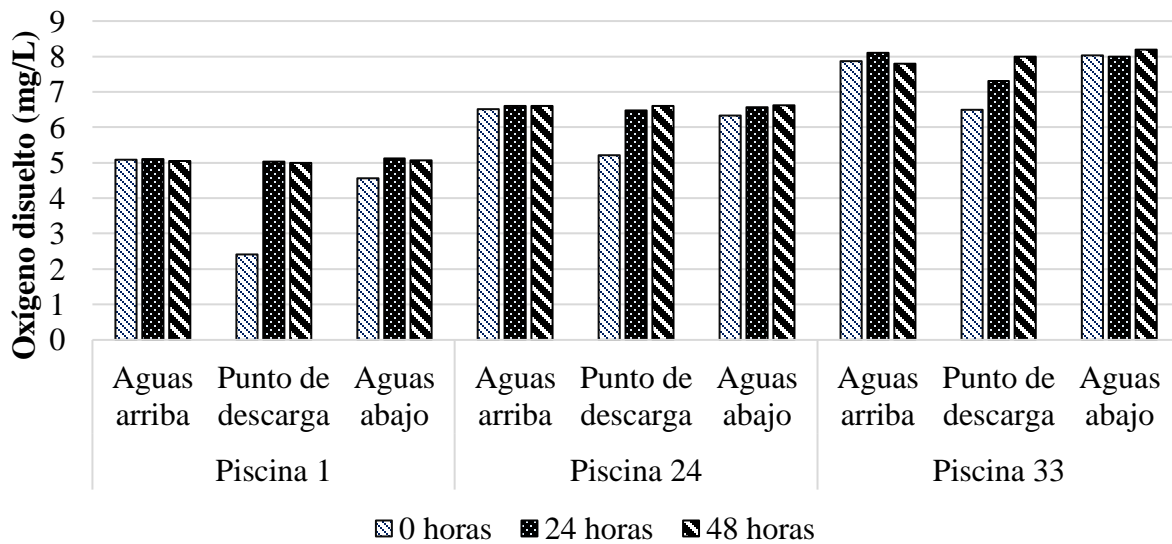


Figura 11. Monitoreo del oxígeno disuelto en el canal de salida.

Al igual que el OD, se muestra un patrón de disminución en el pH en el punto donde ocurre la descarga al momento de la cosecha y el cual es normalizado a las 24 o 48 horas (Figura 12). Los descensos más notorios en el punto de descarga se muestran en la piscina 24 y 33 los cuales pueden estar relacionados con la cantidad de MBS en la descarga (Cuadro 7). El mayor diferencial entre la muestra aguas arriba y el punto de muestreo a las 0 horas corresponde a la piscina 24 con la mayor cantidad de MBS en la descarga. Al igual que Galli et al. (2012), se observa una mayor disminución en pH al incrementar la cantidad de MBS presente en el agua descargada.

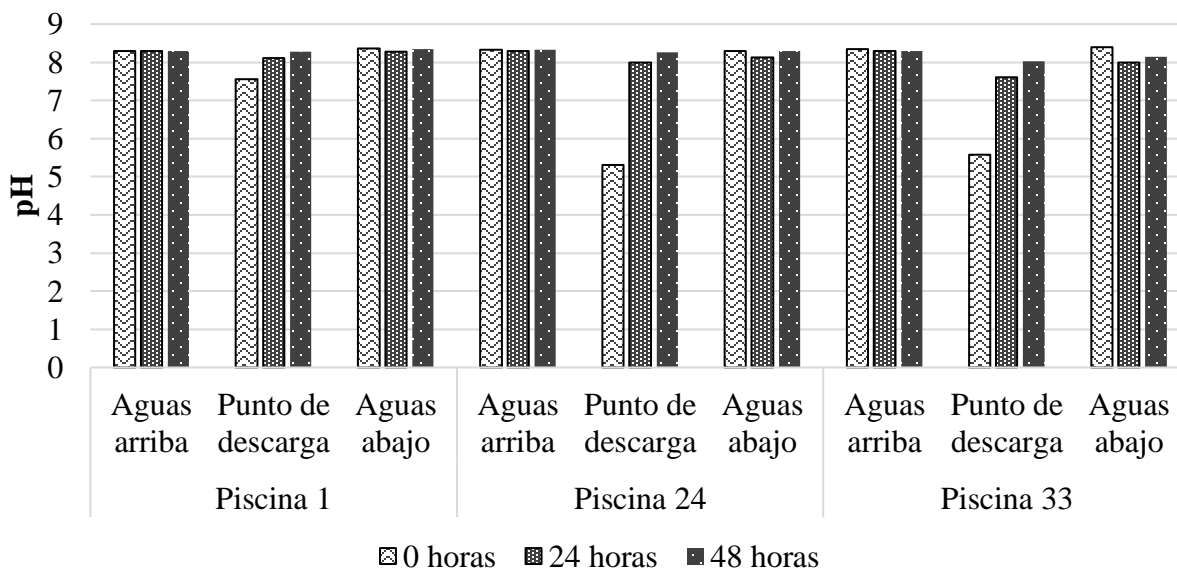


Figura 12. Medición de pH en el canal de salida.

Cuadro 7. Diferencia en pH entre el punto aguas arriba y punto de descarga según la cantidad de metabisulfito de sodio en las descargas el día de la cosecha.

Piscina	Cantidad de MBS en el agua descargada (kg)	pH aguas arriba	pH punto de descarga	Diferencia en pH
1	67.82	8.30	7.55	0.75
24	123.02	8.32	5.30	3.02
33	94.00	8.35	5.57	2.78

En este contexto, las descargas son puntuales y temporales. Una piscina descarga en promedio 1.73 m<sup>3</sup> de solución en diez minutos estimando un caudal de 0.002 m<sup>3</sup>/s. La solución descargada representa el 0.5% del caudal del canal de salida (0.40 ± 0.17 m<sup>3</sup>/s), lo cual es mínimo para la cantidad de flujo de agua que se transporta al Río Javita. Esto provoca una rápida dilución y reoxigenación del compuesto lo cual no permite detectar su efecto luego de 24 o 48 horas de ocurrir el vertido del mismo. En este sentido, dada la rápida disociación del MBS y la dinámica del canal será poco probable detectar este compuesto en el cuerpo receptor (Boyd y Gautier, 2002).

### Tratamiento del contaminante

Los principales tratamientos para el MBS están relacionados a los efectos de descenso en oxígeno disuelto y pH en un medio acuoso. Las disminuciones de estos parámetros pueden causar una letalidad tanto en animales como plantas que viven en el canal de salida. Por lo que se debe optar por medidas, previas a su descarga, que minimicen el impacto ambiental generado por este contaminante. En el Cuadro 8 se muestra una serie de procedimientos en los cuales es seguro verter este compuesto a un medio receptor.

Cuadro 8. Alternativas para el tratamiento de metabisulfito de sodio

Método	Procedimiento	Resultados	Referencias
Hidróxido de calcio (Ca(OH) <sub>2</sub> ) + oxigenación mecánica.	Adicionar 0.36 kg Ca(OH) <sub>2</sub> por cada kg de MBS junto a oxigenación mecánica.	Oxidación de bisulfito a bisulfato. Aumento en OD (> 4 mg/L). Reducción de la toxicidad.	(Aragão et al., 2008)
Hidróxido de sodio (NaOH) + oxigenación mecánica.	En un tanque, aplicar 0.38 kg de NaOH por cada kg de MBS bajo aireación mecánica.	Solución neutralizada y oxidada a bisulfato. Estabilización de la solución con una concentración de OD entre 4 a 5 mg/L.	(Boyd y Gautier, 2002)
Hidróxido de calcio (Ca(OH) <sub>2</sub> ) + oxigenación natural.	Depositar la solución en un tanque o pequeña laguna en condiciones de oxigenación natural bajo un largo período de tiempo. Al oxidarse, añadir Ca(OH) <sub>2</sub> .	Neutralización y oxidación de la solución.	(Boyd y Gautier, 2002)

**Neutralización y oxidación.** Muchas camaroneras y empacadoras utilizaban el hipoclorito de calcio u otros compuestos clorados para la desactivación del MBS, pero estos supone un peligro para los trabajadores y por tal razón, se ha utilizado el hidróxido de calcio o sodio para neutralizar las soluciones acidas con MBS (Boyd y Gautier, 2002). Estudios realizados por Aragón et al. (2008), muestran que la aplicación de estos compuestos no son lo suficiente para disminuir la letalidad del MBS, por lo que se recomienda la adición de aireación para oxidar el bisulfito a bisulfato. Esta aeración puede ser mecánica (aireadores) o natural y en este contexto, el canal de salida llega a favorecer el proceso de reoxigenación ya que previamente se mostró que hay una leve persistencia aguas abajo sin disminución de OD en los siguientes días.

**Propuesta de tratamiento.** La propuesta de tratamiento está orientada a una medida de mitigación con el fin de prevenir impactos. En este sentido, se sugiere la captura total del agua residual y su neutralización. Para evitar que el agua de la etapa de escurrimiento tenga contacto con el suelo del muro se recomienda la construcción de una plataforma de concreto en cada piscina. Dicha estructura debe ser en forma de cubeto para contener el agua residual generada en la etapa de tratamiento y pesado (Figura 13). El agua residual será recogida en forma de embudo el cual direccionará el agua a una tubería de conducción aprovechando la pendiente del sitio.

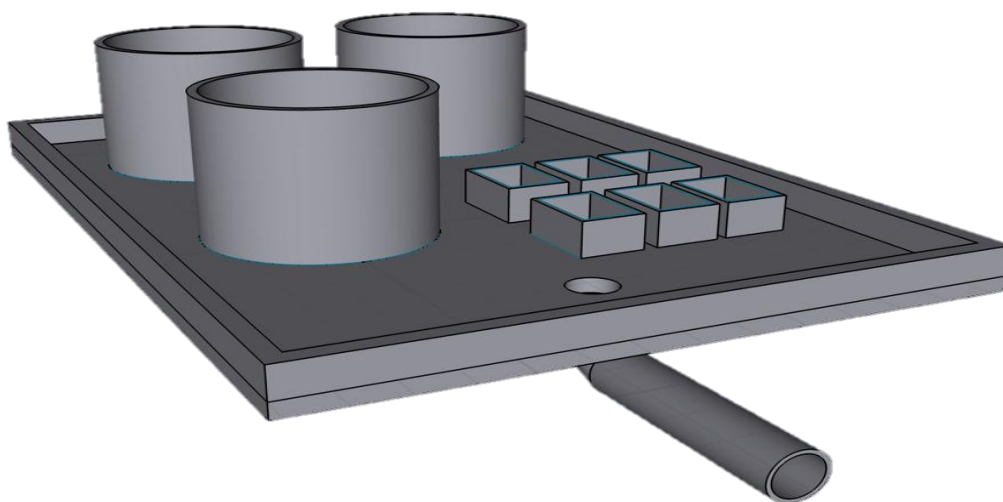


Figura 13. Propuesta de plataforma para la captación del agua residual del proceso de cosecha.

La tubería transportará el agua residual a una laguna de tratamiento establecida en una zona estratégica (Figura 14). Dicho sitio fue seleccionado al ser un punto intermedio en la granja y la disponibilidad de terreno. Una vez recolectada el agua en el sitio se procede adicionar el neutralizante según la cantidad de MBS en la solución. Durante 12 horas se estará monitoreando el pH y OD. Al obtener un pH > 8 y OD entre 4 a 5 mg/L la solución puede ser liberada al canal de salida de manera segura (Boyd y Gautier, 2002).

Para estimar la cantidad de compuesto neutralizante a utilizar se recomienda registrar los insumos empleados en el proceso de cosecha para cada piscina. Por tanto, se sugiere la incorporación de la sección de tratamiento del agua residual en la bitácora de control de cosecha en el cual se registre la cantidad de camarón cosechado, agua marina, hielo, MBS y agua residual generado (Cuadro 9). Para la toma de estos datos, la gerencia debe delegar un encargado. Esta función la puede ejercer el jefe de campo quien lleva el registro de la bitácora de control de cosecha. La persona responsable del registro debe ser capacitado en la forma en que tomará los registros. Los insumos que no se consideran en la bitácora son el agua marina y agua residual. Para la medición de estos se debe emplear la ecuación 1. Por otro lado, la cantidad de neutralizante a utilizar está en función a la cantidad de MBS presente en el agua residual, por tanto, se debe hacer uso de la ecuación 4 la cual determinará los kg de MBS a ser tratados. Una vez obtenido este valor se debe agregar 0.36 kg de hidróxido de calcio o 0.38 kg de hidróxido de sodio por cada kg de MBS (Aragão et al., 2008; Boyd y Gautier, 2002)

$$a - (b \times c) \quad [4]$$

Donde:

a = MBS (kg)

b = camarón entero cosechado (Tm)

c = 0.07 (kg MBS/Tm camarón)

Cuadro 9. Sección de tratamiento de agua residual en la bitácora de control de cosecha.

Insumos	Cantidad
Hielo (kg)	
Agua marina (L)	
Metabisulfito de sodio (kg)	
Camarón cosechado (Tm)	
Agua residual (L)	
Hidróxido de calcio/sodio (kg)	

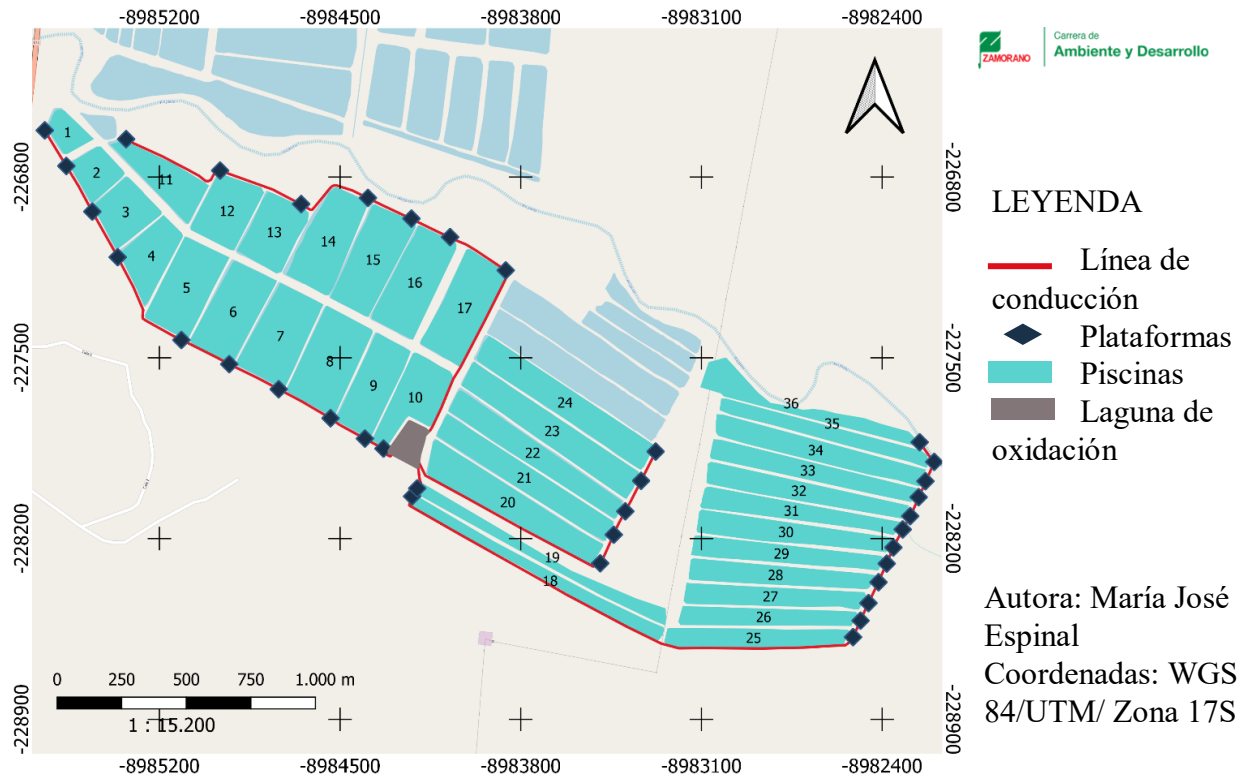


Figura 14. Ubicación del sistema de tratamiento propuesto.

## 4. CONCLUSIONES

- La variabilidad en las concentraciones de las descargas es resultado de un proceso no estandarizado lo cual conduce al empleo de un excedente de metabisulfito de sodio en la solución estimando una descarga de 15.87 kg por Tm de camarón cosechado al canal de salida.
- Las alteraciones en el canal el día de la cosecha dan indicios de un efecto negativo en el punto de descarga con una disminución en el pH y oxígeno disuelto, sin embargo, no se observó un efecto persistente debido a la rápida transformación del compuesto y la dinámica del canal de salida.
- Conforme al impacto identificado en el canal y los efectos del contaminante, el tratamiento recomendado deberá enfocarse en los procesos de neutralización y oxigenación para la corrección del pH y prevención de alteraciones del oxígeno disuelto en el cuerpo receptor.

## 5. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de dosificación mínima en el producto para mantener la calidad deseada con menor adición de metabisulfito de sodio en el proceso de la cosecha.
- Establecer protocolos apropiados para estandarizar las dosificaciones de metabisulfito de sodio en la etapa de tratamiento para camarón entero con la finalidad de emplear la cantidad adecuada para tratar la melanosis y minimizar su utilización.
- Realizar estudios sobre persistencia de este compuesto que tomen en cuenta la calidad de agua descargada de la piscina cosechada y realizar mayores repeticiones cuando el canal denote menor flujo de agua.
- Estimar la cantidad y residualidad de sulfitos presentes en el canal de salida desde el día de las descargas.
- Estudiar el efecto de la hidráulica del canal en el transporte y/o dilución de soluciones con metabisulfito de sodio.
- Registrar los insumos utilizados en el proceso de tratamiento para determinar la cantidad de neutralizante a utilizar ya que cada piscina varía la cantidad de metabisulfito empleado en la etapa de tratamiento.
- Desarrollar una evaluación económica en cuanto a tratamientos establecidos para neutralizar y oxigenar la solución residual con metabisulfito de sodio.

## 6. LITERATURA CITADA

- Álvarez, M. R. (2000). *Evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis* (Tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2887/1/T1162.pdf>
- Andrade, L., Lacerda, M. y Ventura, A. (2015). Uso do dióxido de enxofre na despesca. *Principia*, 28(1), 66–77. Recuperado de <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/423/332>
- Aragão, J., Castro, C. y Costa-Lotufo, L. (2008). Toxicidade do metabissulfito de sódio em *Mysidopsis juniae*. *Arquivos De Ciências Do Mar*, 41, 24–29. <https://doi.org/10.32360/acmar.v41i1.6073>
- Badii, M. H., Garza, R., Garza, V. y Landeros, J. (2005). Los Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados. *CULCyT*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7273786.pdf>
- Bermúdez, A. y Panta, R. (2019). Efectos del 4-hexilresorcinol y metabisulfito de sodio sobre la melanosis en camarones frescos (*Penaeus vannamei*). *Revista Bio Ciencias*, 6(0), 13. Recuperado de <http://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/465/pdf>
- Boyd, C. E., y Gautier, D. (2002). Sodium bisulfite treatments improve shrimp appearance but require proper disposal. New Hampshire EU.: Global Aquaculture Advocate. Recuperado de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/sodium-bisulfite-treatments-improve-shrimp-appearance-but-require-proper-disposal/>
- Cámara Nacional de Acuicultura (2020). Camarón - Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales. Guayaquil: Cámara Nacional de Acuicultura. Recuperado de <http://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Cao, P., Yang, D., Zhu, J., Liu, Z., Jiang, D. y Xu, H. (2018). Estimated assessment of cumulative dietary exposure to organophosphorus residues from tea infusion in China. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 23(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0696-1>
- Chávez, H. L. y Zurita, G. (2000). *Análisis Estadístico De La Producción Camaronera Del Ecuador* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/12393293.pdf>
- Galli, O. B. S., Fujimoto, R. Y. y Abrunhosa, F. A. (2012). Acute toxicity of sodium metabisulphite in larvae and post-larvae of the land crab, *Cardisoma guanhumi*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(2), 274–280. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0687-7>
- Jamieson, D. M., Guill, M. F., Wray, B.B. y May, J. R., (1985). Metabisulfite sensitivity: case report and literature review. *Ann. Allergy* 54(2), 115–121. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2578754/>

- Jory, D. E. (2018). La producción actual, desafíos y el futuro del cultivo del camarón. New Hampshire EU.: Global Aquaculture Advocate. Recuperado de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/la-produccion-actual-desafios-y-el-futuro-del-cultivo-del-camaron/>
- Laniado, R. (2017). Análisis de Precios de Camarón Blanco en el Mercado. Guayaquil: SONGA. Recuperado de <http://aquaexpoguayaquil.cna-ecuador.com/wp-content/uploads/2017/10/Rodrigo-Laniado-AQUAEXPO-2017.pdf>
- Llerena, C. (2011). *Evaluación del proceso de Absorción del sulfito de sodio en el músculo del camarón (L. vannamei) para el control de la melanosis* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30220>
- Lucien, H. (2016). Decisiones críticas para la cosecha y empaque de camarón, Parte 2. New Hampshire EU.: Global Aquaculture Advocate. Recuperado de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/decisiones-criticas-para-la-cosecha-y-empaque-de-camaron-parte-2/>
- MacLeod, M. y Mackay, D. (2004). Modeling transport and deposition of contaminants to ecosystems of concern: A case study for the Laurentian Great Lakes. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 128(1-2), 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.08.029>
- Mao, M., Cryer, S. A., Altieri, A. y Havens, P. (2018). Predicting Pesticide Volatility Through Coupled Above- and Belowground Multiphysics Modeling. *Environmental Modeling & Assessment*, 23(5), 569–582. <https://doi.org/10.1007/s10666-018-9594-6>
- Matos, I., Cavalcante, A., Dantas, A., Pereira, D., Rocha, F., Oliveira, F. de y Da Silva, J. (2011). Environmental mutagenicity and toxicity caused by sodium metabisulfite in sea shrimp harvesting in Piauí, Brazil. *Chemosphere*, 82(7), 1056–1061. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.042>
- Ministerio de Acuicultura y Pesca (2018). Reportes Estadísticos de Exportación de Camarón. Guayaquil: Ministerio de Acuicultura y Pesca. Recuperado de [http://acuaculturaypesca.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/REPORTE-ESTADISTICO-OCTUBRE-2018.pdf#:~:text=Exportaci%C3%B3n%20de%20Camar%%20C3%B3n%20de%20Octubre%20de%202018%20\(KG\)&text=de%20camar%C3%B3n%20ecuatoriano.-,Los%20pa%C3%ADses%20asi%C3%A1ticos%20fueron%20el%20principal%20destino%20del%20producto%20ecuatoriano,la%20Uni%C3%B3n%20Europea%20con%2026.79%25.](http://acuaculturaypesca.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/REPORTE-ESTADISTICO-OCTUBRE-2018.pdf#:~:text=Exportaci%C3%B3n%20de%20Camar%%20C3%B3n%20de%20Octubre%20de%202018%20(KG)&text=de%20camar%C3%B3n%20ecuatoriano.-,Los%20pa%C3%ADses%20asi%C3%A1ticos%20fueron%20el%20principal%20destino%20del%20producto%20ecuatoriano,la%20Uni%C3%B3n%20Europea%20con%2026.79%25.)
- Organización de las Naciones Unidas (2011). Agua e industria en la economía verde. Cataluña, ES: Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio. Recuperado de [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/green\\_economy\\_2011/pdf/info\\_brief\\_water\\_and\\_industry\\_spa.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/green_economy_2011/pdf/info_brief_water_and_industry_spa.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006). FAO Fisheries & Aquaculture - Programa de información de especies acuáticas - *Penaeus vannamei*

- (Boone, 1931). Roma, IT: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Recuperado de [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/ Penaeus\\_vannamei/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Penaeus_vannamei/es)
- Ossowski, T., Goulart, M. O. F., Abreu, F. C. de, Sant´Ana, A. E. G., Miranda, P. R. B., Costa, C. de O., ... Zarczanska, D. (2008). Determination of the pKa values of some biologically active and inactive hydroxyquinones. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 19(1), 175–183. <https://doi.org/10.1590/s0103-50532008000100025>
- Pedale, A. B., Fujimoto, R. Y., Santos, R. F. B. y Abrunhosa, F. A. (2012). Acute toxicity of sodium metabisulphite on mangrove crab *Ucides cordatus* (Decapoda, Ucididae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(4), 1009–1014. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000058>
- Placencio García, J. A. (2018). *Determinación de la velocidad del flujo en el río Yanuncay, por el método de flotadores* (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7820>
- Portillo, E., La Ruiz de Rosa, M., Louzara, G., Ruiz, J. M., Marín-Guirao, L., Quesada, J. y Mendoza, H. (2014). Assessment of the abiotic and biotic effects of sodium metabisulphite pulses discharged from desalination plant chemical treatments on seagrass (*Cymodocea nodosa*) habitats in the Canary Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 80(1-2), 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.048>
- PubChem (2020). Sodium metabisulfite. Maryland, EU.: National Library of Medicine. Recuperado de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/656671#section=CAS>
- Rodríguez, H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. Madrid, España: IAgua. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Sarraute, S., Husson, P. y Gomes, M. C. (2019). Effect of the diffusivity on the transport and fate of pesticides in water. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(4), 1857–1872. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1815-7>
- Schultz, M. (2010). Sodium metabisulfite. Glen Huntly, Australia: Chemwatch. Recuperado de <http://datasheets.scbt.com/sc-203389.pdf>
- Sevastos, D. y Koliadima, A. (2014). Influence of Temperature and pH on the Transfer of SO<sub>2</sub> from Water to Air by Inverse Gas Chromatography. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(7), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1901-5>
- Stackhouse, P. (2020). NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources. Virginia, EU: NASA Langley Research Center. Recuperado de <https://power.larc.nasa.gov/>
- Valença, A. y Mendes, G. (2004). O metabissulfito de sódio e o seu uso na carcinicultura. *Revista Panorama Da Aqüicultura*, 14(85), 57–59. Recuperado de <https://panoramadaaquicultura.com.br/o-metabissulfito-de-sodio-e-o-seu-uso-na-carcinicultura/>
- Varela, A. (2019). La camaronicultura como fuente sustentable de alimentos de origen animal. Logros, retos y oportunidades. *Ecología y Desarrollo Sostenible*, 1(1), 1–123. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/336459417\\_La\\_camaronicultura\\_como\\_fuente\\_sustentable\\_de\\_alimentos\\_de\\_origen\\_animal\\_Logros\\_retos\\_y\\_oportunidades](https://www.researchgate.net/publication/336459417_La_camaronicultura_como_fuente_sustentable_de_alimentos_de_origen_animal_Logros_retos_y_oportunidades)

- Yu, C., Luo, M., Zeng, F. y Wu, S. (2012) A fast-responding fluorescent turn-on sensor for sensitive and selective detection of sulfite anions. *Analytical Methods*, 4(9), 2638. doi:10.1039/c2ay25496d
- Zumba, L. (2020). Camaroneras: de perder el miedo a actuar y servir de ejemplo. Expreso. Recuperado de [https://www.expreso.ec/actualidad/economia/camaroneras-perder -miedo-actuar-servir-ejemplo-10532.html](https://www.expreso.ec/actualidad/economia/camaroneras-perder-miedo-actuar-servir-ejemplo-10532.html)

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Sitio de cosecha.



Anexo 2. Ecurrimiento del proceso de cosecha.



**Anexo 3.** pH y oxígeno disuelto en los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Día 1		Día 2		Día 3	
	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)
P01_AR	8.30	5.08	8.29	5.10	8.30	5.05
P01_PD	7.55	2.42	8.11	5.03	8.27	5.00
P01_AB	8.36	4.57	8.27	5.12	8.34	5.07
P33_AR	8.35	7.86	8.30	8.10	8.30	7.80
P33_PD	5.57	6.50	7.60	7.30	8.02	8.00
P33_AB	8.40	8.30	8.00	8.00	8.15	8.20
P24_AR	8.32	6.52	6.60	6.60	8.32	6.60
P24_PD	6.70	5.21	6.40	6.47	8.26	6.60
P24_AB	8.30	6.33	6.56	6.56	8.30	6.62

AR: aguas arriba, PD: punto de descarga, AB: aguas abajo.

**Anexo 4.** Tiempos para determinar la pluma de contaminante aguas abajo.

Muestra	Tiempo piscina 1 (s)	Tiempo piscina 24 (s)	Tiempo piscina 33 (s)
1	10.92	10.34	13.56
2	11.49	10.64	13.36
3	12.82	10.74	13.06
4	13.05	11.22	14.50
5	13.01	12.12	12.52
Promedio	12.25	11.01	13.40

**Anexo 5.** Área transversal del canal de la piscina 1

Puntos	Metros	Profundidad (m)	Área parcial (m <sup>2</sup> )
1	0	0	0
2	0.4	0.12	0.024
3	0.4	0.19	0.062
4	0.4	0.23	0.084
5	0.4	0.28	0.102
6	0.4	0.39	0.134
7	0.4	0.43	0.163
8	0.4	0.48	0.182
9	0.4	0.48	0.192
10	0.4	0.46	0.188
11	0.4	0.44	0.180
12	0.4	0.35	0.158
13	0.4	0.25	0.120
14	0.4	0	0.050
<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>			<b>1.640</b>

**Anexo 6.** Área transversal en canal de la piscina 24

<b>Puntos</b>	<b>Metros</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Área parcial (m<sup>2</sup>)</b>
1	0	0	0
2	0.4	0.22	0.044
3	0.4	0.29	0.102
4	0.4	0.35	0.128
5	0.4	0.38	0.146
6	0.4	0.44	0.164
7	0.4	0.51	0.190
8	0.4	0.57	0.216
9	0.4	0.60	0.234
10	0.4	0.55	0.230
11	0.4	0.47	0.204
12	0.4	0.42	0.178
13	0.4	0.35	0.154
14	0.4	0.27	0.124
15	0.4	0.20	0.094
16	0.4	0	0.040
<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>			<b>2.248</b>

**Anexo 7.** Área transversal del canal de la piscina 33.

<b>Puntos</b>	<b>Metros</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Área parcial (m<sup>2</sup>)</b>
1	0	0	0
2	0.4	0.10	0.020
3	0.4	0.17	0.054
4	0.4	0.25	0.084
5	0.4	0.28	0.106
6	0.4	0.34	0.124
7	0.4	0.37	0.142
8	0.4	0.36	0.146
9	0.4	0.35	0.142
10	0.4	0.22	0.114
11	0.4	0.13	0.070
12	0.4	0.10	0.046
13	0.4	0.10	0.040
14	0.4	0	0.020
<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>			<b>1.108</b>