

**Estudio de Impacto Ambiental Definitivo  
Proyecto Multipropósito Baba**

**Consorcio Hidroenergético del Litoral - CHL**

**CONTENIDO**

<b>VII</b>	<b>IMPACTOS ACUMULATIVOS .....</b>	<b>1</b>
VII.1	BALANCE HÍDRICO .....	1
VII.2	LAS TASAS DE SEDIMENTACIÓN .....	2
VII.3	EUTROFIZACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA EN DAULE-PERIPA .....	2
VII.3.1	Estimación de las Cargas de Fósforo.....	3
VII.3.1.1	Fuentes Puntuales .....	3
VII.3.1.2	Fuentes No Puntuales.....	4
VII.3.2	Estimación de la Posible Condición Trófica.....	5
VII.3.3	Efecto de la Dispersión del Trasvase en Daule-Peripa .....	8
VII.3.3.1	Estratificación Térmica .....	9
VII.3.3.2	Niveles de Oxígeno Disuelto .....	15
VII.3.4	Seguridad en la Presa Daule-Peripa.....	18

## **VII      IMPACTOS ACUMULATIVOS**

La cuenca del Guayas viene siendo objeto de acciones de regulación hidráulica desde la creación misma de la CEDEGÉ, la cual fue creada con ese fin. El primer plan hidráulico fue formulado para la cuenca entera del Guayas en 1983 y ha sido recientemente actualizado por el Programa Integrado de Gestión Socio ambiental de la Cuenca del Guayas -PIGSA (2004).

Esta sección describe los impactos acumulativos que podrían ocurrir como consecuencia del Proyecto de Propósito Múltiple Baba. En términos generales se considera la disponibilidad y usos del agua, el proceso de sedimentación y la calidad del agua, específicamente el efecto que el trasvase pueda tener sobre la condición trófica y la calidad del agua en el embalse Daule-Peripa.

### **VII.1      BALANCE HÍDRICO**

La cantidad de agua para varios usos también se ha considerado en el PIGSA para la cuenca del Guayas y cada una de sus principales subcuencas. En este documento se hace una actualización del Plan de Recursos Hidráulicos y se establece que hasta el año 2020 no habría deficiencias en la subcuenca del Vines aún bajo el escenario de una presa en Baba con unos 400 millones de metros cúbicos menos que la idea original, la cual corresponde al último diseño propuesto por Cedegé y utilizado para la licitación.

La alternativa propuesta por el Consorcio reduce aún más la capacidad almacenada en la presa Baba y transfiere una mayor cantidad de agua a la subcuenca del Daule. La diferencia en la capacidad neta almacenada es del orden de los 350 MMC y el aumento de trasvase es del orden de 700 MMC. Con estos números y asumiendo que los usos proyectados en la actualización del Plan de Recursos Hidráulicos presentado en el PIGSA, se puede concluir que al año 2020 habría un pequeño déficit en la subcuenca del Río Vines de aproximadamente 62.5 MMC por año.

En este informe, se indica que la alternativa de incrementar el flujo de agua al embalse Daule-Peripa, vía trasvase, conlleva la obligación de devolver estos recursos trasvasados al sistema del Vines, a través de la derivación Daule-Macul. Esta es una acción que ya estaba considerada en el PRH y cuyo costo no debe ser imputado al Proyecto Baba.

El balance hídrico gráfico hasta Quevedo se presenta en la sección de Evaluación de Impacto Ambiental del presente estudio.

## **VII.2 LAS TASAS DE SEDIMENTACIÓN**

El principal proceso geomorfológico en la cuenca del Río Guayas es la erosión de las partes altas, el transporte del material erosionado por la red fluvial y su deposición final en la planicie costera. Bajo condiciones normales ese sedimento que se deposita en las partes baja de la cuenca alimenta los procesos de formación de suelos y mantiene la fertilidad de los mismos. Este es un proceso que ha venido acelerándose como resultado de la acción antrópica, principalmente como consecuencia de la deforestación que aumenta la exposición de los suelos a las fuerzas erosivas de la precipitación y el escurrimiento.

De acuerdo al estudio del PIGSA (2004), "La situación es crítica en el año 2000. En la cuenca del río Guayas 95% del área forestada en 1970, ha sido removida. La deforestación en la cordillera de la Costa ha alterado notablemente el régimen fluvial de las sub-cuencas de la Provincia de Manabí (y de la Provincia del Guayas). La tasa de deforestación anual se estima en 250,000 hectáreas".

Por lo tanto, la construcción de embalses como es el caso de Baba, en cierta medida reduce el incremento causado por la actividad humana sobre las tasas de deposición y tiende a restaurar los valores normales de las tasas de este proceso. Una cuantificación precisa de las tasas de erosión y sedimentación en Baba sería necesaria para definir más exactamente el efecto de los sedimentos que serían atrapados por la obra de regulación hidráulica.

## **VII.3 EUTROFIZACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA EN DAULE-PERIPA**

Desde el punto de vista de la calidad del agua y los riesgos de eutrofización, el impacto más importante es el posible efecto que la transferencia de agua pueda tener sobre la condición de eutrofización y la calidad de agua de Daule-Peripa. Como ya se ha indicado anteriormente, el Embalse Baba tendrá unos 11 Km<sup>2</sup> y almacenará aproximadamente 93 millones de m<sup>3</sup> a la cota normal de embalse de 116 msnm, lo cual da lugar a un cuerpo de agua con una profundidad medía (Z) de 8.5 metros. El embalse se crea como resultado de cerrar la cuenca de aproximadamente 1,478 Km<sup>2</sup>, con una descarga promedio de 111 m<sup>3</sup> /segundo (3,513 millones de m<sup>3</sup> de descarga anual promedio), lo cual da lugar a un tiempo promedio de detención del agua (Tw) de 10 días (0.026473 años).

Alrededor del 80% de este volumen (2,773 millones de m<sup>3</sup>) será trasvasado al embalse Daule-Peripa que tiene una superficie aproximada de 300 Km<sup>2</sup> y un volumen a la cota normal de embalse de 85 msnm estimado en 6,000 millones de m<sup>3</sup>. La cuenca aportante al embalse de Daule-Peripa es de aproximadamente 3,824 Km<sup>2</sup>, con una descarga promedio de 165 m<sup>3</sup>/seg (aproximadamente 5,200 millones de m<sup>3</sup> por año). Con esas características la profundidad media (Z) del embalse resulta ser de unos 20 metros y el tiempo promedio de detención del agua en el embalse (Tw) se estima en 1.15 años.

Para determinar el efecto potencial que el trasvase de Baba a Daule-Peripa pueda tener sobre el nivel trófico del embalse existente se calcula en primera instancia la carga anual de nutrientes y estado trófico para cada uno de los embalses. Posteriormente, para Daule-Peripa se considera además de las condiciones existentes el posible efecto del trasvase, sumando a la carga de nutrientes existente la que proviene desde el embalse Baba como resultado de la concentración promedio del agua trasvasada por el volumen de la misma.

### **VII.3.1 Estimación de las Cargas de Fósforo**

El análisis del riesgo de eutrofización se concentra en el fósforo porque es el nutriente que tiene mayor efecto sobre el crecimiento de las algas y la productividad de los ecosistemas acuáticos. La posible carga de fósforo hacia los embalses debe considerar tanto las descargas de fuentes puntuales como no puntuales.

#### **VII.3.1.1 Fuentes Puntuales**

Las fuentes puntuales de nutrientes provienen de las descargas de las aguas residuales municipales y agroindustriales. Cuando se tiene ganado, cerdos, aves de corral y otros animales estabulados, se debe calcular también el aporte de nutrientes de los mismos a los tributarios del embalse. La información disponible del censo agropecuario del país está a nivel de Provincia, lo cual no permite estimar adecuadamente el aporte de nutrientes por dichas fuentes. En la cuenca del Baba, una pequeña parte de la población de Santo Domingo Los Colorados que cuenta con alcantarillado y que descarga directamente al tributario del Baba y probablemente los residuos del lavado de ropa y baño de personas que viven cerca de los ríos, así como el ganado que toma agua directamente de los mismos y las descargas directas de algunas pocas granjas de pollos y cerdos, son los aportes puntuales de nutrientes a la cuenca.

En la cuenca del Baba se estima que la población que cuenta con alcantarillado y que descarga a los ríos tributarios es poca (menos de 20,000 habitantes: 10% de los habitantes de Santo Domingo más 18,787 del área rural)), ya que la mayoría de Santo Domingo Los Colorados (200,421 habitantes en total, de los cuales el 68.3% contaba con alcantarillado en el 2000) la vierten a la cuenca de la Esperanza y la mayoría vierten sus aguas residuales a letrinas o tanques sépticos individuales. Por otra parte, el ganado, los cerdos y las aves de corral estabulados son muy pocos en la cuenca; la mayoría de estos animales no se sacrifican en la cuenca y sus desechos en una buena proporción son incorporados al suelo; por lo tanto se estiman en la cuenca del Baba 2,217 semovientes. En síntesis, las descargas de alrededor de 38,000 personas con un aporte de 1,000 gramos de fósforo por habitante por año (38 toneladas de fósforo al año), y de 2,217 semovientes con un aporte de 7,000 gramos por cabeza por año (15.52 toneladas de fósforo al año), serán la carga por fuente puntual, que en total hace 53.52 toneladas de fósforo al año.

En la cuenca del Daule-Peripa el aporte por fuentes puntuales se estima que es bastante mayor, debido al mayor tipo de actividades económicas que se llevan a cabo. Las descargas de alrededor de 200,000 personas con un aporte de 1,000 gramos de fósforo por habitante por año (200 toneladas de fósforo al año), y de 90,500 semovientes con un aporte de 7,000 gramos por cabeza por año (633.50 toneladas de fósforo al año), serán la carga por fuente puntual, que en total hace 833.50 toneladas de fósforo al año.

#### **VII.3.1.2      *Fuentes No Puntuales***

Las fuentes no puntuales pueden predecirse a partir del uso del suelo y los coeficientes de exportación. Los coeficientes de exportación utilizados fueron definidos para los países tropicales por CEPIS (2001). Al multiplicar el área de cada uno de los usos del suelo por los coeficientes de exportación se tiene la carga total de fósforo al embalse. Si la carga de fósforo se divide entre el área del embalse, se obtiene la contribución por unidad de superficie. En Tabla 7-1 se muestran los cálculos y resultados de la carga de fósforo a los embalses Baba y Daule-Peripa, respectivamente.

**TABLA 7-1**  
**CARGAS NO PUNTUALES DE FÓSFORO ESTIMADAS**  
**PARA LOS EMBALSES BABA Y DAULE-PERIPA**

COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO	COEFICIENTES DE EXP. (GRAMOS/M <sup>2</sup> /AÑO)	EMBALSE BABA		EMBALSE DAULE- PERIPA	
		ÁREA DE CUENCA (KM <sup>2</sup> )/ <sup>1</sup>	CARGA A (TONS/ AÑO)	ÁREA DE CUENCA (KM <sup>2</sup> )/ <sup>1</sup>	CARGA (TONS/A ÑO)
Urbano	0.10	6.06	0.61	13.0	1.30
Agrícola	0.05	220.66	11.03	1,862.0	93.10
Pastos y Matorrales	0.05	44.34	2.22	1,810.0	90.50
Bosque	0.01	1,206.94	12.07	139.0	1.39
Total =		1,478.00	25.93	3,824.0	186.29
Área del Embalse (Km <sup>2</sup> )		11		300	
Carga anual de fósforo (Lp) =		25.93 / 11 = 2.36 grs/m <sup>2</sup> / año		186.29/ 300 = 0.62 grs/m <sup>2</sup> / año	

/1 = Fuente: Mapa de cobertura vegetal y uso actual del suelo escala 1:50,000. CLIRSEN 1999

En la Tabla 7-1 se nota la diferencia importante en el uso del suelo en ambas cuencas, ya que la del Baba cuenta con alrededor del 82% de su superficie con una cobertura arbórea (bosque y arboricultura tropical), mientras que en Daule-Peripa menos del 4% de su área se encuentra bajo cobertura arbórea a pesar de que el 53.8% de la cuenca es clase VI y VII, que debería ser para conservación. Los distintos tipos de cultivo en Baba abarcan alrededor del 15% de su superficie total, y en Daule-Peripa alrededor del 50% (el 40% del área es clase I y II, que es de vocación agrícola); y los pastos cubren el restante 3% del área de la cuenca del Baba y en Daule-Peripa representan alrededor del 47%. En ambas cuencas el área urbana es alrededor del 0.4% del área total.

### VII.3.2 Estimación de la Posible Condición Trófica

Si a las cargas de fósforo de las fuentes no puntuales se suman las fuentes puntuales y se dividen por el área del embalse se obtiene la carga anual de fósforo, siendo 7.22 gramos/m<sup>2</sup>/año para Baba y 3.40 gramos/m<sup>2</sup>/año para Daule-Peripa (Tabla 7-2).

**TABLA 7-2**  
**CARGAS TOTALES DE FÓSFORO ESTIMADAS**  
**PARA LOS EMBALSES BABA Y DAULE-PERIPA**

TIPO DE FUENTE	CARGA AL EMBALSE BABA(TONS/AÑO)	CARGA AL EMBALSE DAULE-PERIPA (TONS/AÑO)
Puntuales	53.52	833.50
No Puntuales	25.93	186.29
Carga Total	79.44	1,019.79
Área del Embalse (Km <sup>2</sup> )	11	300
Carga anual de fósforo (Lp) =	79.44 / 11 = 7.22 grs/m <sup>2</sup> /año	1,019.79/ 300 = 3.40 grs/m <sup>2</sup> /año

Una vez calculada la carga total anual probable de fósforo (Lp) que descargaría en cada uno de los embalses, se puede determinar la concentración de fósforo, a través del modelo desarrollado por CEPIS (2001), a continuación.

$$C_p = L_p * T_w^{0.75} / Z * 3$$

Donde: Cp = Concentración de fósforo en el embalse;

Lp = Carga anual de fósforo por unidad de superficie;

Z = Profundidad media del embalse, calculada de dividir el volumen entre el área; y

Tw = Tiempo de detención del agua, calculada al dividir el volumen entre el caudal medio de entrada al embalse.

La concentración estimada de fósforo en el embalse de Baba es de aproximadamente 19 miligramos/ m<sup>3</sup> y en Daule-Peripa de 63 miligramos / m<sup>3</sup>, como se muestra en la Tabla 7-3. Por su parte, en la Tabla 7-4 se muestra la contribución adicional de fósforo proveniente de cada uno de los varios escenarios de estado trófico discutidos para el embalse Baba (Sección 5.2).

**TABLA 7-3**  
**CONCENTRACIÓN PROBABLE DE FÓSFORO**  
**EN BABA Y DAULE-PERIPA**

EMBALSES	LP (GR/M <sup>2</sup> /AÑO)	Z (M)	LP/Z	TW (AÑOS)	CP (MG/M <sup>3</sup> )
Baba	7.22	8.5	0.85	0.0265	18.70
Daule-Peripa	3.40	20	0.17	1.15	62.92

De la información en la Tabla 7-4, se deduce que el trasvase de agua del embalse Baba al Daule-Peripa podría tener un efecto positivo sobre el nivel

trófico actual de este último. Si se mantienen las condiciones de bajo riesgo de eutrofización en el embalse Baba, en lo que hemos llamado escenario de referencia, el trasvase de agua de Baba a Daule-Peripa haría que la concentración actual de fósforo en Daule-Peripa disminuya en alrededor del 25%, de aproximadamente 63 mg P/ m<sup>3</sup> a 48 mg / m<sup>3</sup>. Aún en el peor de los casos se observa una reducción significativa de aproximadamente el 15% de la concentración de fósforo en las aguas del embalse Daule-Peripa.

**TABLA 7-4**  
**CONCENTRACIÓN PROBABLE DE FÓSFORO EN DAULE-PERIPA**  
**COMO RESULTADO DEL TRASVASE DE AGUA DEL**  
**EMBALSE BABA BAJO VARIOS ESCENARIOS DE**  
**ESTADO TRÓFICO DE ESTE ÚLTIMO**

EMBALSES	CP- BABA (MG/M <sup>3</sup> )	CARGA POR TRASVASE (TONS P/AÑO)	CARGA TOTAL DAULE-PERIPA (TONS P/AÑO)	LP/Z (MG/M <sup>3</sup> / AÑO)	CP FINAL- DAULE- PERIPA (MG/M <sup>3</sup> )
BABA- REFERENCIA	18.70	51.86	1071.65	0.1786	47.98
BABA- SEDIMENTADO	19.29	53.49	1073.28	0.1789	48.05
BABA-AUTO FERTILIZADO	23.69	65.69	1085.48	0.1809	48.60
BABA-USO INTENSIVO	58.19	161.36	1181.15	0.1969	52.88
BABA PEOR CASO	65.15	180.66	1200.45	0.2001	53.75

La causa principal del efecto positivo que tendrá sobre la calidad del agua del embalse Daule-Peripa será el trasvase de un volumen importante de agua, alrededor de la mitad del que recibe actualmente, con menor concentración de fósforo; el ingreso de mayor volumen de agua hará que el tiempo de detención del agua en el embalse Daule-Peripa disminuya de 1.15 años a 0.75 años, lo cual hará que la renovación sea mayor.

Como se mencionará anteriormente (Sección 5.2) el sistema de distribución probabilística de los niveles de eutrofización para lagos tropicales propuso los límites de 30 y 70 µg/l, como frontera entre los estados mesotrófico y eutrófico. Este rango es mayor que el de los lagos templados (10 y 20 µg/l), debido a que los sistemas tropicales pueden tolerar mayores cargas de fósforo. La concentración de fósforo estimada en el embalse Baba (19 µg/l) indica que este será probablemente oligotrófico, mientras que el Daule-Peripa, actualmente sin trasvase, está en el límite de eutrófico (63 µg/l) y con



el trasvase estará probablemente en condiciones mesotróficas ( $48 \mu\text{g/l}$ ) y en el peor de los casos considerados continuará en la banda mesotrófica ( $54 \mu\text{g/l}$ ).

En la Figura 7-1, se muestra la ubicación de los embalses Baba, Daule-Peripa y Daule-Peripa con el trasvase de agua del Baba, en el sistema de distribución probabilística de niveles de fósforo para los sistemas tropicales. Para ilustrar el efecto de la eutrofización en Baba sobre Daule-Peripa se han incluido en dicha gráfica los dos escenarios extremos, el de referencia y el que hemos considerado peor escenario. En la gráfica se aprecia que Baba probablemente sea un embalse oligotrófico, Daule-Peripa, sin trasvase, está en el límite hacia lo eutrófico y Daule-Peripa con trasvase sería mesotrófico.

Es importante hacer notar que la condición actual de eutrofización en el embalse Daule-Peripa se analiza con la información existente sobre calidad del agua, la cual es muy limitada, al igual que para los ríos tributarios al embalse Baba. Por lo tanto, los resultados del modelo de eutrofización deberán ser revisados cuando se cuente con datos de nutrientes de ambos embalses. Una campaña de muestreo sistemática de nutrientes, clorofila y perfiles de temperatura y oxígeno disuelto en el embalse Daule-Peripa, y de calidad de agua de sus ríos tributarios, así como de los de la cuenca del Baba, permitiría afinar los valores que se estiman a continuación.

### **VII.3.3 Efecto de la Dispersión del Trasvase en Daule-Peripa**

La descarga de agua como resultado del trasvase a Daule-Peripa aumenta el volumen de agua que fluye por el mismo reduciendo el tiempo promedio de renovación del agua y aportando nutrientes y oxígeno disueltos en el agua que se transfiere. En esta sección se describe el desarrollo y aplicación de un modelo de cálculo para determinar cuantitativamente el impacto potencial que las descargas de estas aguas puedan tener sobre la estratificación del embalse Daule-Peripa y la posible distribución de oxígeno en el mismo. Específicamente, el modelo ha sido desarrollado para responder a los siguientes objetivos:

- Impacto de la descarga del agua del río Baba sobre la estratificación del embalse calculado mes a mes, para determinar la variación estacional del impacto, dado que hay meses en los que no se proyectan descargas del río Baba (ver Tabla 7-5).

- Desarrollar una herramienta que permita analizar planes alternativos de descarga y hacer análisis de sensibilidad sobre el protocolo de descargas planeadas sobre el embalse.

### VII.3.3.1 Estratificación Térmica

La estratificación térmica es un proceso que se observa en los cuerpos de agua por la formación de capas de agua de diferentes densidades, que son inducidas por diferencias en temperaturas. Esta separación en capas que no se mezclan completamente tiene consecuencias importantes en el metabolismo, en este caso del embalse, y en la calidad del agua del mismo. El proceso se explica porque el agua cambia su densidad al cambiar la temperatura y en el trópico, las aguas superiores se calientan como resultado de la absorción de la luz solar, y por consiguiente, se vuelven más livianas y prácticamente flotan sobre las aguas más frías y densas de la parte inferior. A pesar de la poca diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo durante todo el año en los embalses tropicales, los gradientes de densidad del agua son suficientes para que la termoclina sea estable.

**TABLA 7-5**  
**CAUDALES DE ENTRADA AL EMBALSE DAULE-PERIPA**

Mes	Cuenca Daule-Peripa		Transferencia de Baba		Caudal Total	
	(m³/s)	(m³/día)	(m³/s)	(m³/día)	(m³/s)	(m³/día)
Enero	141.00	12182400	232.70	20105280	373.70	32287680
Febrero	345.50	29851200	233.00	20131200	578.50	49982400
Marzo	548.10	47355840	227.50	19656000	775.60	67011840
Abril	422.80	36529920	224.70	19414080	647.50	55944000
Mayo	242.00	20908800	168.20	14532480	410.20	35441280
Junio	114.30	9875520	116.60	10074240	230.90	19949760
Julio	59.10	5106240	31.23	2698272	90.33	7804512
Agosto	27.00	2332800	15.47	1336608	42.47	3669408
Septiembre	21.40	1848960	6.40	552960	27.80	2401920
Octubre	18.00	1555200	1.80	155520	19.80	1710720
Noviembre	13.80	1192320	0.00	0	13.80	1192320
Diciembre	28.10	2427840	0.00	0	28.10	2427840
Promedio Anual	165.09	14263776	104.80	9054720	269.89	23318496

En el informe de PIGSA (2004) se describe el comportamiento típico de la temperatura del embalse Daule-Peripa del período septiembre y diciembre de 1995 (época seca), el cual muestra el perfil con 27 °C en la superficie y 25 °C en el fondo (50 metros), mostrando la termoclina entre los 8 y 10 metros. En enero y febrero de 1996, la temperatura de la superficie fue en aumento,

alcanzado 29.5 °C, y la temperatura del fondo permaneció en 25 °C, y la termoclina estuvo entre los 5 y 10 metros.

Un aspecto importante de la estratificación es su estabilidad; es decir, el período de tiempo que el cuerpo de agua pasa sin tener mezcla completa en toda la columna. Lamentablemente no se cuenta con los perfiles de temperatura mensuales de marzo a agosto, a manera de determinar el comportamiento de la estabilidad durante un año completo.

El modelo de cálculo que se ha desarrollado se basa en el fenómeno físico que ocurre cuando un fluido es descargado a un medio que posee una velocidad de flujo y una temperatura diferentes. En este caso, la descarga proveniente del río Baba posee una velocidad más alta y una temperatura más baja que el agua en el sitio de descarga sobre el embalse Daule-Peripa.

El modelo de cálculo utiliza tres metodologías para calcular la estabilidad de la estratificación en el embalse. Las dos primera metodologías se centran en el cálculo de efectos estacionarios sobre la estratificación, mientras que la tercera es útil para estimar efectos de eventos extremos sobre la estratificación del embalse.

#### (1) Tiempo de Residencia:

El caudal de agua que fluye hacia el embalse Daule-Peripa tiene un “tiempo de residencia” que puede calcularse a partir de la información sobre el volumen del embalse y la magnitud del caudal de agua. Este tiempo de residencia permite cuantificar la cantidad de tiempo durante el cual el agua permanece dentro del embalse.

De esta manera, se puede definir el tiempo de residencia del agua del embalse en el epilimnio de la manera siguiente:

$$t_R = \frac{fV}{Q}$$

Donde  $t_R$  es el tiempo de residencia [T],  $f$  es la fracción del volumen del embalse que se encuentra en el epilimnio;  $V$  es el volumen total del embalse, y  $Q$  es la magnitud del caudal que es descargado hacia el embalse (total desde la cuenca del embalse y el caudal trasvasado del río Baba).

De acuerdo a la referencia de Mueller et al. [1981], el índice de estabilidad de la estratificación se puede calcular como el inverso del tiempo de residencia,

expresado en años. Si este índice es menor o igual a 10, esto es indicativo de una estratificación estable, lo cual es equivalente a un tiempo de residencia de alrededor de 36 días.

### (2) Número de Froude Densimétrico:

Este índice permite calcular la relación cuantitativa entre la energía cinética (efecto de la velocidad del flujo) y la energía potencial (gravedad). Dicho número puede calcularse de la manera siguiente:

$$F = \frac{Q}{L_E H \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_0} H}}$$

Donde  $F$  es el número de Froude densimétrico,  $Q$  es el caudal total de entrada al embalse ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $L_E$  es una longitud característica del embalse (m) transversal a la entrada del caudal,  $H$  es la profundidad media del embalse (m),  $g$  es la aceleración de gravedad y  $\rho_0$  es la densidad de agua en el embalse a la temperatura de referencia (e.g., 25 °C).

Debido a la estratificación térmica en el embalse, existe una diferencia de densidad del agua entre el epilimnio y el hipolimnio. Por ello, la diferencia de densidad viene dada por  $\Delta \rho = \alpha \Delta T$ , donde  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre el epilimnio y el hipolimnio, y  $\alpha$  es el coeficiente de compresibilidad del agua debido a cambios de temperatura. En este caso, el valor de  $\alpha$  se tomó como de 0.25 Kg./m<sup>3</sup>C (valor a la temperatura de referencia de 25 °C). El diferencial de temperatura entre el epilimnio y el hipolimnio se supuso como de  $\Delta T = 4$  °C.

Tomando como base una longitud estimada de inundación sobre el río Peripa de 95 km, la longitud de entrada  $L_E$  puede calcularse como el área superficial del embalse dividido entre esta longitud.

Un valor  $F$  menor a 0.1 es indicativo de una estratificación estable.

### (3) Tiempo de Transporte:

Este método permite calcular el impacto de un evento de descarga de magnitud considerable durante un período de tiempo corto. Por ello, es apropiado para analizar el impacto de eventos de lluvia (y escurrimiento) transitorios. En tales eventos, la descarga hacia el embalse genera dos pulsos, un pulso de momentum y un pulso térmico, que se transportan dentro del

embalse debido a procesos de transporte por dispersión y por difusión. La dispersión ocurre debido a la diferencia de velocidad del flujo proveniente del río con respecto a la velocidad en el embalse, lo cual causa movimiento diferencial de ambos pulsos dentro del embalse. La difusión es un proceso de transporte a nivel molecular dentro del agua que ocurre en la presencia de gradientes (variaciones espaciales) de momentum y de temperatura en el agua.

Ambos procesos (dispersión y difusión) ocurren en las tres direcciones (dos direcciones en el plano y la dirección vertical). El enfoque de la metodología de cálculo presentada en este informe es en la dirección vertical, dado el objetivo de analizar el efecto potencial de la descarga sobre la estratificación en el embalse. Por otra parte, se puede determinar el tiempo de transporte vertical de los pulsos de momentum y térmico dentro del embalse. Estos cuantifican el tiempo durante el cual los pulsos son transportados por los procesos de dispersión y difusión en la dirección vertical del embalse.

El tiempo de transporte del pulso de momentum puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$t_M = \frac{L^2}{D_M}$$

Donde  $t_M$  es el tiempo característico del transporte de momentum,  $L$  es la longitud de mezcla, que en este caso es la distancia típica recorrida por el pulso de momentum; y  $D_M$  es el coeficiente de transporte por dispersión y difusión del pulso. En este caso, se supone que la longitud de mezcla es igual a la mitad de la profundidad media del embalse, es decir, se supone que el pulso necesita recorrer la mitad de la profundidad del embalse para afectar su estratificación.

De manera similar, el tiempo de transporte del pulso térmico puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$t_T = \frac{L^2}{D_T}$$

Donde  $t_T$  es el tiempo característico del transporte del pulso térmico,  $L$  es la longitud de mezcla, que en este caso es la distancia típica recorrida por el pulso térmico; y  $D_T$  es el coeficiente de transporte por dispersión y difusión del pulso.

El coeficiente de transporte por dispersión puede ser calculado a partir de la correlación presentada en la referencia Thomann y Muller [1987]:

$$D_H = 0.00017 \left[ \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \right]^{-0.82}$$

Donde  $D_H$  es el coeficiente de dispersión hidrodinámica (también conocido como dispersión turbulenta),  $g$  es la aceleración de la gravedad, y  $\rho$  es la densidad del agua.

El gradiente vertical de la densidad es causado por la estratificación térmica en el embalse. Por lo tanto, se tiene que:

$$\frac{\partial \rho}{\partial z} = \alpha \frac{\Delta T}{\Delta z}$$

Para calcular los coeficientes de transporte de los pulsos de momentum y térmico, se considera las contribuciones de los procesos de dispersión y difusión. De esta manera:

$$D_M = D_H + \nu_M$$

$$D_T = D_H + \nu_T$$

Donde  $\nu_M$  y  $\nu_T$  son los coeficientes de difusión de momentum (viscosidad cinemática) y de difusión térmica del agua. En este caso, los valores de estos coeficientes que se utilizaron son aquellos a 25°C,  $\nu_M = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ; y  $\nu_T = 1.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

El modelo de cálculo desarrollado permite realizar una comparación entre los tiempos de transporte de los pulsos de momentum y térmico, y el tiempo durante el cual ocurre el evento de descarga (usualmente en el orden de horas, o quizás pocos días en el caso de eventos extremos), para determinar si dadas las características del embalse y las descargas propuestas, los pulsos tienen tiempo suficiente para afectar la estratificación del embalse.

En caso que el tiempo del evento sea menor que los tiempos característicos de transporte de los pulsos, esto indicará que el caudal entrando al embalse de Daule-Peripa no dispone de tiempo suficiente para afectar la estratificación del embalse; o lo que es equivalente, que los pulsos no tienen tiempo suficiente para desplazarse verticalmente y afectar la estratificación. En caso

contrario, que el tiempo del evento sea mayor que los tiempos característicos de transporte de los pulsos, esto indicará que el caudal entrando al embalse de Daule-Peripa dispone de tiempo suficiente para afectar la estratificación del embalse; o lo que es equivalente, que los pulsos tienen tiempo suficiente para desplazarse verticalmente y afectar la estratificación.

La Tabla 7-6 (al final de la sección) presenta los resultados de los cálculos realizados para el tiempo de residencia del flujo de agua en el embalse Daule-Peripa, el número de Froude, y los tiempos característicos de transporte de los pulsos de momentum y térmico. Estos cálculos han sido realizados de manera mensual, para tomar en consideración la variación estacional de los caudales presentados en la Tabla 7-5; también se presentan los cálculos para el promedio anual.

Los resultados obtenidos pueden resumirse de la manera siguiente:

- En cuanto al tiempo de residencia, los valores se mantienen por debajo de 10, tanto en el promedio como en los resultados mensuales.
- El número de Froude densimétrico del embalse se mantiene dentro del límite estable ( $F < 0.1$ ), tanto a nivel promedio como mensual.
- El tiempo de transporte de los pulsos de momentum y térmico se mantienen muy por encima del tiempo que pudieran durar eventos extremos de descarga, por lo que se estima que los pulsos no tienen suficiente tiempo de desplazarse verticalmente dentro de la columna de agua y así poder afectar la estratificación.

De manera que los tres métodos de cálculo arrojan el resultado que la estratificación del embalse Daule-Peripa se mantiene estable bajo los regímenes de flujo proyectados, incluyendo los trasvases desde el río Baba.

Es de destacar sin embargo, que la estabilidad de la estratificación tiende a disminuir en los meses de caudales de entrada altos, es decir, en el período Enero-Junio. Durante estos meses, los valores del tiempo de residencia y del número de Froude tienden a acercarse relativamente a los límites de estabilidad de la estratificación. Para ambos criterios, un incremento en el caudal de entrada al embalse disminuye la estabilidad de la estratificación. Por ello, es recomendable mantener la descarga total hacia el embalse dentro de dichos límites.

Vale la pena realizar el cálculo de qué caudal de entrada al embalse Daule-Peripa causaría el rompimiento de su estratificación. Este rompimiento



ocurriría al exceder los límites de estabilidad establecido por el número de Froude densimétrico. Ello da como resultado que para una descarga de aproximadamente 2500 m<sup>3</sup>/s, se excede el valor de  $F = 0.1$ . Sin embargo, es importante acotar que para que este caudal rompa la estratificación, la descarga debe ser sostenida por un tiempo largo (en el orden de meses, de acuerdo al método del tiempo de transporte) para poder ejercer este efecto.

### **VII.3.3.2      *Niveles de Oxígeno Disuelto***

El oxígeno es un elemento vital para la mayor parte de las especies biológicas. Por esa razón, la concentración de oxígeno en la columna de agua es el parámetro más importante de determinar, debido a que indica la salud del sistema. Cuando el embalse está estratificado, la columna de agua marca diferencias significativas en el contenido de oxígeno entre la capa superficial (epilimnio) y la capa más profunda (hipolimnio).

La capa superficial recibe la luz solar y por lo tanto la fotosíntesis produce oxígeno cada día, el cual se consume por el proceso de respiración. En la capa más profunda la luz no logra penetrar con suficiente intensidad para que reproduzca la fotosíntesis, por lo que el proceso dominante es la respiración. La profundidad donde la producción bruta es mayor que la respiración se estima que es donde penetra el 1% de la intensidad de luz, y se conoce como el nivel de compensación, y se calcula de la manera siguiente:

$$P_z = -\ln(0.01) / k$$

Donde:  $P_z$  = Profundidad del punto de compensación de la luz en metros;  
 $K$  = Coeficiente de extinción de la luz en la columna de agua =  $0.3 + 0.02$  (miligramos de clorofila a/m<sup>3</sup>).

La tasa de agotamiento de oxígeno disuelto en el hipolimnio, una vez que este ha sido aislado de la superficie por la estratificación, puede ser estimada a partir de la concentración de clorofila "A".

$$AO = 8.43 (Cl A)^{0.435} / Z^{0.876}$$

Donde:  $AO$  = Tasa de agotamiento del oxígeno disuelto en miligramos / litro / mes;  
 $Cl a$  = Clorofila a =  $332 * C_p^{1.21}$ ; valores de  $C_p$  en Cuadro 3;  
 $Z$  = Profundidad media en metros.



Para el embalse Daule-Peripa, el valor de la clorofila "A" se estima en 11.70 mg/m<sup>3</sup> y el nivel de compensación de compensación de luz en 8.62 metros. Con esos valores la tasa de agotamiento de oxígeno en el hipolimnion se estima en 7.15 mg/litro/mes. Al disminuir la condición trófica como resultado del trasvase la tasa de agotamiento se estima que será del orden de 1.54 mg/litro/mes o 18.53 mg/litro/año.

En el muestreo de agua realizado en mayo del 2006, se reportó una concentración de oxígeno disuelto en el río Chaune, que recibirá el agua del trasvase de Baba, de 8.6 miligramos/litro y aguas debajo de la confluencia de los ríos Baba y Toachi, donde se construirá el embalse Baba, de 6.3 miligramos/litro. Por lo tanto, para que las condiciones lleguen a condiciones anóxicas son mayores en Baba, sin embargo, dada el tiempo de detención de 10 días, se estima que la tasa de agotamiento de oxígeno disuelto no será crítico en el embalse.

En el informe de PIGSA (2004) se describe el comportamiento típico del oxígeno disuelto del embalse Daule-Peripa del período septiembre y diciembre de 1995 (época seca), el cual muestra el perfil de un embalse estratificado, entre 4.4 y 4.6 miligramos/litro en la superficie y 0.5 miligramos/litro en el fondo (50 metros); los valores descendieron a 1 miligramos/litro en los primeros 5 metros, mostrando la termoclina entre los 5 y 10 metros, y a partir de esta profundidad los valores se mantuvieron en 0.5 miligramos/litro hasta el fondo. En enero y febrero de 1996, el oxígeno disuelto en la superficie fue en aumento, alcanzado 5.7 miligramos/litro, pero en los primeros 5 metros descendió a 0.5 miligramos/litro, valor que permaneció hasta el fondo. La termoclina es difícil de determinar entre los 0 y 5 metros.

La disminución de la concentración de oxígeno en el fondo del epilimnion (4 a 5 metros), pudo deberse a que a pesar del aporte de volúmenes importantes de agua y con concentraciones de oxígeno importantes, esta fue absorbida rápidamente por las capas anóxicas del hipolimnion. Sin embargo, al no contar con perfiles de oxígeno disuelto para los restantes meses de la estación de lluvias (marzo a agosto), no se puede sacar conclusiones definitivas.

El aporte de oxígeno disuelto anual de Baba a Daule-Peripa se estima en alrededor de  $16,000 \times 10^9$  miligramos (85 m<sup>3</sup>/seg. x 6 mg/l). Esta cantidad de oxígeno podría mejorar las condiciones de calidad del agua en Daule-Peripa,

especialmente si el mismo entra al hipolimnio por efecto de la temperatura del agua.

Para explorar esta posibilidad con el modelo se asumió que la temperatura del agua que entra al embalse (alrededor de los 24 °C) es menor que la correspondiente a la superficie del embalse (alrededor de los 28 °C). Por lo tanto, es de esperar que el pulso de agua entrando al embalse tienda a sumergirse. En este caso, es posible que dicho pulso, con un contenido de oxígeno disuelto alto, transfiera ese oxígeno a la parte más profunda del embalse en el hipolimnio.

La Tabla 7-7 muestra el cálculo realizado para determinar si este trasvase puede tener un efecto positivo sobre el hipolimnio del embalse desde el punto de vista de su oxigenación. Para realizar este cálculo, se realizaron las siguientes suposiciones:

- La pendiente en la dirección de flujo hacia el embalse es de aproximadamente uno por mil (0.001), tomando en consideración que la cota topográfica del fondo del cauce disminuye aproximadamente unos 70 metros (88 m en la entrada de la descarga hasta 15 m en la cota de descarga del embalse) sobre una distancia de recorrido del flujo de aproximadamente de 70 km.
- Dada esta pendiente, se estima entonces que el pulso de agua debe desplazarse aproximadamente 10 km para recorrer verticalmente el espesor del epilimnio, que se supone es de aproximadamente 10 m.
- Utilizando una sección transversal semi-circular para el canal de entrada hacia el embalse, se supone un radio de dicha sección en la entrada de la descarga de 10 m, y un radio de 60 m a la salida, con una longitud total de recorrido de 10 km. Esto permite calcular el volumen de agua a ser desplazado por el caudal de entrada al embalse.
- El cociente entre este volumen de agua y el caudal de entrada es igual al tiempo de residencia del pulso de agua en la zona de entrada al embalse. Este tiempo puede compararse al tiempo necesario para que el agua de trasvase se equilibre térmicamente con el agua del epilimnio y no se hunda por diferencia de densidad.

**TABLA 7-7**  
**ANÁLISIS DE MEZCLA EN EL EPILIMNIO**

Datos	Unidades	Valor
Caudal de descarga	m <sup>3</sup> /s	270
Pendiente del fondo		0.001
Radio mínimo de la zona de descarga	m	10
Radio máximo de la zona de descarga	m	60
Coeficiente de dispersión térmica	m <sup>2</sup> /s	5.00E-06
Profundidad del Epilimnio	m	10
<b>Cálculos</b>		
Longitud de la zona de descarga	m	10000
Longitud del cono menor	m	1666.667
Volumen de la zona de descarga	m <sup>3</sup>	18762289
Tiempo de residencia	día	0.804282
Tiempo de mezcla por dispersión	día	2.31E+02

Utilizando como caudal de entrada el promedio anual (aproximadamente 270 m<sup>3</sup>/s), el resultado de este cálculo indica que el tiempo de residencia del pulso de entrada en la zona de descarga hacia el embalse es mucho menor (en el orden de 1 día) al tiempo que se requeriría para que este pulso se equilibrara térmicamente con el agua en el epilimnio (mayor a 200 días). Esto indica que el pulso de agua de entrada se mantendrá a menor temperatura que el agua en el epilimnio, y tenderá a hundirse rápidamente hacia el hipolimnio. Esto tiene el beneficio potencial de transferir oxígeno disuelto al hipolimnio cuando dicho pulso, con un contenido de oxígeno disuelto alto, transfiere este oxígeno a la parte más profunda del embalse en el hipolimnio. Por lo tanto, es posible que el oxígeno que se transfiere con el agua entre a jugar un papel muy importante y reducir significativamente los niveles de anoxia en el hipolimnio de Daule-Peripa.

Para establecer de manera más precisa el beneficio de esta oxigenación sería necesario realizar simulaciones más detalladas que consideren la topografía del embalse Daule-Peripa, especialmente del canal del Río Chaune y Peripa hasta llegar a la piscina principal del embalse.

### **VII.3.4 Seguridad en la Presa Daule-Peripa**

El trasvase de agua desde Baba hacia Daule-Peripa afectará el caudal de la avenida máxima probable en Daule-Peripa y por razones de seguridad se debe de revisar la capacidad de Daule-Peripa para evacuar la nueva AMP. Ese estimado está fuera del alcance de este informe.