



OACI

Organización de Aviación Civil Internacional
Oficina para Norteamérica, Centroamérica y Caribe

NOTA DE ESTUDIO

GTE/18 — NE/06

13/09/18

Décimo octava Reunión del Grupo de Trabajo de Escrutinio (GTE/18) del Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)

Ciudad de México, México, 22 – 26 de octubre de 2018

**Cuestión 1 del
Orden del Día:**

Revisión de las conclusiones y recomendaciones de reuniones anteriores de CARSAMMA y el Grupo de Escrutinio

- a) **Resultados 2017 de la evaluación de la Seguridad Operacional (CRM) en el espacio aéreo de Separación Vertical Mínima Reducida (RVSM)**

RIESGO DE COLISIÓN VERTICAL (CRM) DEL AÑO 2017 EN LAS REGIONES CAR/SAM

(Presentada por CARSAMMA)

RESUMEN EJECUTIVO	
Esta nota de estudio presenta un resumen del cálculo del riesgo de colisión vertical en las Regiones CAR/SAM en 2017 utilizando la metodología CRM.	
Acción:	Tomar nota y revisar el contenido de esta Nota de Estudio.
Objetivos Estratégicos:	Seguridad Operacional
Referencias:	- ICAO Doc 9574 - <i>Manual sobre una separación vertical mínima de 300 m (1 000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive</i>, AN/934, Tercera Edición - 2012. - ICAO Doc 9937 - <i>Procedimientos y métodos operacionales para los organismos regionales de vigilancia en relación con el uso de una separación vertical mínima de 300 m (1 000 ft) entre FL 290 y FL 410 inclusive</i>, AN/477, Primera Edición - 2012. - Movimiento de aeronaves en el espacio RVSM en 2017. - Reportes de Grandes Desviaciones de Altitud (LHD) en 2017.

1 Introducción

1.1 El propósito de esta Nota de Estudio es mostrar que los criterios de seguridad operacional definidos en el Doc 9574 y en el Doc 9937 de la OACI continúa cumpliéndose en el espacio aéreo RVSM de las Regiones CAR/SAM.

1.2 Este documento informa sobre el análisis del riesgo de colisión vertical en el espacio aéreo RVSM en 2017 en las Regiones de Información de Vuelo (FIR) del Caribe y Sudamérica. Para este

trabajo, se utilizó la metodología de cálculo del Modelo de riesgo de colisión vertical (CRM), según lo recomendado por la OACI en el espacio aéreo RVSM.

2 Análisis

2.1 En este informe se presentan los resultados de la evaluación de seguridad operacional en el año 2017 en el espacio aéreo RVSM del Caribe y Sudamérica (CAR/SAM). Este paso corresponde a la continuación de la estrategia de implementación de RVSM.

2.2 Según el Doc 9574 y el Doc 9937, esa evaluación debe hacerse para asegurar que las operaciones en el espacio aéreo RVSM no induzcan un aumento en el riesgo de colisión de manera que el riesgo vertical total no exceda los objetivos de seguridad operacional definidos.

2.3 Para la evaluación cuantitativa, se utiliza el Modelo de Riesgo de Colisión Vertical de Reich, según lo recomendado por la OACI. Este es un modelo de intensos fundamentos matemáticos que, después de analizar los movimientos de aeronaves (hojas de cálculo que contienen datos sobre vuelos realizados en el espacio aéreo RVSM), calcula el Nivel deseado de seguridad operacional (TLS) de la Región de Información de Vuelo (FIR) en estudio. Varias herramientas de cálculo y bases de datos se utilizan para los diversos cálculos durante el proceso, así como varias horas de análisis por parte de expertos.

2.4 Esta Nota de estudio contiene un resumen de los resultados de la evaluación continua de la seguridad operacional del mínimo de separación vertical reducida de 300 m (1000 pies) en el espacio aéreo caribeño y sudamericano en 2017.

2.5 La evaluación de la seguridad RVSM cubre un período de doce meses consecutivos.

2.6 Deberá prestarse especial atención a que:

- o Todas las aeronaves que operan en espacio aéreo de separación vertical mínima reducida están certificadas RVSM;
- o La certificación de la aeronave es actual;
- o Se sigue cumpliendo el Nivel deseado de seguridad operacional (TLS) de 5×10^{-9} accidentes mortales por hora de vuelo (para el rastreo de altura en una muestra representativa de aeronaves);
- o El uso de RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- o Hay evidencia de la estabilidad del Error del Sistema Altimétrico (ASE) de aeronaves;
- o La introducción de RVSM no aumenta el nivel de riesgo debido a errores operacionales y contingencias de vuelo, de acuerdo con un nivel predefinido de confianza estadística;

- o Se adoptan medidas adicionales eficaces de seguridad operacional para reducir el riesgo de colisión y cumplir con las metas de seguridad operacional debido a errores operacionales y procedimientos de contingencia;
- o Los procedimientos de control del tránsito aéreo continúan siendo efectivos.

3 Espacio aéreo CAR/SAM

3.1 El espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM está compuesto por 34 Regiones de Información de Vuelo (FIR) compuestas por los siguientes Estados: Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, Guayana, Guayana Francesa, Haití, Honduras, Jamaica, Martinica, Nevis, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, San Bartolomé San Cristóbal y Nieves y Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Surinam, Trinidad y Tabago, Uruguay y Venezuela.

3.2 Cada parte del espacio aéreo fue tratada como un sistema aislado, con sus propios parámetros estadísticos.

3.3 Recolección de Tráfico de Datos - La muestra utilizada para evaluar la frecuencia de pasaje y parámetros físicos y dinámicos de las aeronaves típicas para evaluar el riesgo de colisión, se recogió en el período comprendido entre el 01 y el 31 de diciembre de 2017 de las 34 FIR de CAR/SAM. En estos datos de movimientos de las muestras recogidas se recibieron 397.265 líneas de registros de vuelos de las FIR mencionadas. Todos los registros fueron depurados, restando 369.724 líneas de registros de vuelos validados en el proceso. Sin embargo, todos los datos enviados fueron explotados en otro producto de CARSAMMA, que es la auditoría del espacio aéreo RVSM.

3.4 En cuanto a la ocurrencia LHD reportadas en las Regiones CAR/SAM, CARSAMMA recibió un total de 1.127 LHD en 2017. Tras el análisis y validación realizado a través de teleconferencias con representantes de las Oficinas Regionales de la OACI en México y Perú, IATA y CARSAMMA, 982 de estos LHD se consideraron válidos, siendo 947 en las Regiones CAR/SAM.

3.5 Por lo tanto, el total de LHD analizados por categoría fueron:

CÓDIGO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Total
LHD	8	7	0	5	900	12	0	2	7	3	0	2	1	947

Tabla 1

3.6 En la siguiente tabla se describe la distribución de duración de los LHD al mes:

MES	LHD	Duración total (min)	Duración promedio (min)
Enero	93	105.5	1.13
Febrero	92	101.3	1.10
Marzo	91	154.9	1.70
Abril	100	119.5	1.19
Mayo	56	53.1	0.94
Junio	64	67.3	1.05
Julio	81	119.3	1.47

MES	LHD	Duración total (min)	Duración promedio (min)
Agosto	76	89.5	1.17
Septiembre	75	90.5	1.20
Octubre	69	77.9	1.12
Noviembre	74	76.2	1.02
Diciembre	76	65.8	0.86
Total	947	1120.8	1.18

Tabla 2

4 Recolección de datos de movimiento de aeronaves

4.1 Los datos de la muestra para estimar la frecuencia de paso y los parámetros físicos, así como la dinámica de una aeronave típica para la evaluación del riesgo de colisión vertical se recolectaron del 1 al 31 de diciembre de 2017.

4.2 Los datos de movimiento de aeronaves recibidos de las 32 FIR CAR/SAM fueron procesados y utilizados para evaluar la seguridad operacional del espacio aéreo RVSM, según lo recomendado por la OACI. El número de horas de vuelo utilizado se muestra en la Tabla 3.

Región	Horas de vuelo	%
CAR	46801.58	21.98%
SAM	166126.5	78.02%
CAR/SAM	212,928.04	100.00%

Tabla 3

4.3 Al recibir los datos de movimiento de las aeronaves, CARSAMMA procedió a filtrar y procesar los datos. En la Tabla 4 se muestran los resultados y lista los aviones que volaron a través de las FIR de CAR/SAM, con sus dimensiones y porcentaje de horas de vuelo, incluyendo un avión típico, utilizado como una dimensión del Modelo de Cálculo de Riesgo Vertical.

Tipo de ACFT	Longitud	Envergadura	Altitud	Horas de vuelo	% Tipo	#Vuelos
B738	0.0213121	0.0185259	0.0067495	52,867.38	24.83%	87,078
A320	0.02028618	0.0184125	0.0063499	41,361.83	19.43%	68,269
E190	0.01956803	0.0155076	0.0057073	20,337.14	9.55%	33,207
A319	0.01827214	0.0184125	0.0063499	14,650.60	6.88%	24,313
A321	0.02028618	0.0184125	0.0063499	11,695.70	5.49%	20,716
B737	0.01814255	0.0185205	0.0067495	11,581.38	5.44%	17,252
B763	0.02570194	0.0296436	0.0085853	8,073.99	3.79%	18,080
A332	0.03439525	0.0324136	0.0090389	7,514.07	3.53%	14,968
B772	0.03439525	0.0328834	0.0099892	4,047.93	1.90%	9,755
B77W	0.03990281	0.0328834	0.0099892	3,706.18	1.74%	8,345
B788	0.03061555	0.0324514	0.0091253	2,696.91	1.27%	5,481
B752	0.02555076	0.0205454	0.0073434	2,568.93	1.21%	5,249
B789	0.03390929	0.0324514	0.0091253	1,836.61	0.86%	4,370
B733	0.01803456	0.0156048	0.0059935	1,818.32	0.85%	3,215
B739	0.02273218	0.0185205	0.0068035	1,448.00	0.68%	1,862
A346	0.04015659	0.0343413	0.0096112	1,364.26	0.64%	2,462
A343	0.03439525	0.0325594	0.0090389	1,278.04	0.60%	2,681
B744	0.03817495	0.0347732	0.0104752	1,258.54	0.59%	2,468
A333	0.03439525	0.0324136	0.0090389	1,195.29	0.56%	2,852
A318	0.016982	0.018413	0.006782	985.81	0.46%	1,640
B734	0.01965443	0.0156048	0.0059935	945.19	0.44%	2,039
B77L	0.03659827	0.0333045	0.0099892	922.56	0.43%	1,739

Tipo de ACFT	Longitud	Envergadura	Altitud	Horas de vuelo	% Tipo	#Vuelos
B748	0.0411987	0.0353402	0.0105292	921.92	0.43%	1,600
CRJ2	0.01447084	0.0114525	0.0034017	726.87	0.34%	1,196
H25B	0.00842333	0.0084773	0.0029158	663.1	0.31%	974
E50P	0.00108	0.001296	0.003996	650.01	0.31%	1,012
MD83	0.024352	0.01771	0.004886	631.88	0.30%	953
C56X	0.00853132	0.0091793	0.0028078	594.02	0.28%	898
CL60	0.0112635	0.0104482	0.0033909	584.2	0.27%	868
E175	0.017105	0.014038	0.005253	553.65	0.26%	695
LJ60	0.00965983	0.0072084	0.0023974	529.51	0.25%	827
B764	0.033153	0.028024	0.007559	505.26	0.24%	1,745
LJ35	0.00794276	0.0064633	0.0020032	498.8	0.23%	837
B762	0.026188	0.025702	0.007559	485.56	0.23%	935
B722	0.021922	0.017765	0.005562	434.81	0.20%	838
E135	0.01421706	0.0108207	0.0036501	423.47	0.20%	734
C550	0.00718143	0.0077754	0.0023758	416.4	0.20%	600
C525	0.070086	0.077213	0.002262	400.37	0.19%	605
GLF4	0.01452484	0.0128456	0.0041253	369.82	0.17%	566
MD11	0.03304536	0.0279158	0.0095032	368.02	0.17%	703
MD88	0.024301	0.017718	0.004854	339.07	0.16%	450
BE40	0.079643	0.071544	0.002289	325.62	0.15%	500
LJ45	0.00955724	0.0078834	0.0023218	319.71	0.15%	475
E55P	0.00108	0.001296	0.003996	283.43	0.13%	440
A158	0.015728	0.01561	0.004422	275.73	0.13%	459
C680	0.00605832	0.0080724	0.0024622	268.72	0.13%	402
F2TH	0.01091253	0.0104374	0.0040767	254.3	0.12%	378
E195	0.019568	0.015507	0.005707	223.76	0.11%	381
B732	0.016199	0.015659	0.006479	216.76	0.10%	374
GLEK	0.01636069	0.0154698	0.0040875	196.42	0.09%	375
DC10	0.02980562	0.0272138	0.0096652	185.84	0.09%	385
A359	0.03606911	0.0349622	0.0092063	104.03	0.05%	455
Others				6,022.34	2.83%	10,023
Typical	0.04176926	0.0380748	0.0127084			
Total				212,928.04	100%	369,724.00

Tabla 4 – Aeronaves que volaron RVSM en las FIR CAR/SAM

5 Evaluación de la seguridad operacional del riesgo de colisión

5.1 En esta sección se analizan los resultados de la evaluación de la seguridad del espacio aéreo RVSM en la FIR CAR/SAM.

5.2 El Modelo de riesgo de colisión (CRM) internacionalmente aceptado se ha utilizado para la evaluación de seguridad operacional del espacio aéreo RVSM en el Caribe y Sudamérica.

5.3 Estimaciones del parámetro CRM:

$$N_{ax} = 2P_y(0)P_z(0) \left(\frac{|\dot{x}(m)|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}_0|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}_0|}{2\lambda_z} \right) \frac{2\lambda_x}{|\dot{x}(m)|} \frac{1}{T} \sum_s E(s)Q(s)$$

Figura 1 – Formula general del Modelo del Riesgo de Colisión REICH

5.3.1 El material y la cantidad de la fuente utilizada para estimar los valores de cada parámetro del CRM aceptado internacionalmente utilizado para evaluar la seguridad del espacio aéreo RVSM se resumen en la Tabla 5 (*disponible únicamente en inglés*).

Parameter	Description	Values
λ_x	Average length of the aircraft sample	0.0399185 Nm
λ_y	Average wingspan of the aircraft sample	0.036042 Nm
λ_z	Average height of the aircraft sample	0.007486 Nm
$\overline{V}$	Average speed of the aircraft sample (module)	431.697 kts
$\overline{\Delta V}$	Relative speed of the same direction of the sample of the aircraft (module)	35.9 kts
$\overline{\dot{y}}$	Average speed relative to the transverse approximation of the sample of the aircraft (module)	13 kts
$\overline{\dot{z}}$	Average relative vertical velocity during loss of vertical separation of the aircraft sample (module)	1.5 kts
$P_z(0)$	Probability that two aircraft with the same nominal level overlap laterally in the sample of the aircraft	0.392664

Tabla 5 - Estimaciones de los parámetros de CRM

5.4 Demostración de la viabilidad técnica de la RVSM en las Regiones CAR/SAM

5.4.1 Esto implica evaluar los resultados de los valores de los parámetros del Modelo de Riesgo de Colisión REICH:

- Frecuencia de Paso N_x ;
- Probabilidad de Superposición Vertical $P_z(1000)$; y
- Probabilidad de Superposición Lateral $P_y(0)$.

Para demostrar esto, se establecieron los siguientes objetivos:

- Generar confianza en el cumplimiento del TLS técnico; y
- Certificar la estabilidad del ASE.

5.5 Especificaciones de rendimiento del sistema

5.5.1 Frecuencia de paso, N_x - Este es el parámetro del espacio aéreo en el que la aeronave está expuesta al riesgo de colisión vertical. La frecuencia de paso equivalente se estimó teniendo en cuenta los aviones que vuelan en la misma dirección y en direcciones opuestas, como se muestra en la Tabla 6.

FIR	Frecuencia de paso		
	Misma dirección	Dirección opuesta	Equivalente
Curazao – TNCF	0.015254	0.22884	0.134642
Central America - MHTG	0.005787	0.067173	0.044717
Havana – MUFH	0.005432	0.06123	0.047028
Port-au-Prince – MTEG*	0.005744	0.025692	0.020451
Kingston – MKJK*	0.022827	0.477108	0.287068
Santo Domingo – MDCS	0.020552	0.032223	0.048416
Piarco – TTZP	0.01008	0.122119	0.07551
Cordoba – SACF	0.025227	0.05345	0.061368
Ezeiza – SAEF	0.005068	0.061046	0.038583
Mendoza – SAMF	0.012173	0.572642	0.304685
Resistência – SARR	0.011958	0.050564	0.044368
Comodoro Rivadavia – SAVF	0.002438	0.041924	0.024612
La Paz – SLLF	0.00655	0.092983	0.055786
Atlântico – SBAO	0.009329	0.030012	0.029051
Amazônica - SBAZ	0.008159	0.04045	0.03614
Brasília – SBBS	0.013981	0.284972	0.162941
Curitiba – SBCW	0.027545	0.245177	0.159862
Recife – SBRE	0.0074	0.207116	0.115582
Punta Arenas - SCCZ	0.010294	0.241542	0.136484
Santiago – SCEZ	0.02624	0.047962	0.058578
Antofagasta – SCFZ	0.014418	0.370611	0.207618
Isla de Pascua – SCIZ	0.000624	0.053717	0.028525
Puerto Montt - SCTZ	0.00959	0.033418	0.0309
Barranquilla - SKEC	0.006438	0.15458	0.089045
Bogotá – SKED	0.006277	0.154374	0.08872
Guayaquil – SEFG	0.008382	0.0861	0.056026
Georgetown – SYGC	0.006049	0.067904	0.044469
Cayenne – SOOO	0.01973	0.071286	0.067886
Panamá Oceanic – MPZL	0.009866	0.020956	0.025147
Asunción – SGFA	0.002546	0.056498	0.032029
Lima – SPIM	0.002735	0.026203	0.018862
Paramaribo – SMPM	0.006377	0.014843	0.016768
Montevideo - SUEO	0.009309	0.348351	0.187387
Maiquetia – SVZM	0.007465	0.149757	0.085469
CAR/SAM			0.084257

Tabla 6 – Frecuencia de Paso

5.5.2 Los valores se relacionan con el sistema del espacio aéreo CAR/SAM. Se debería observar que se ha calculado que la frecuencia de paso equivalente mostrada en la Tabla 6 (0.084257) se calculó sobre la base de las horas de vuelo de las 34 FIR CAR/SAM.

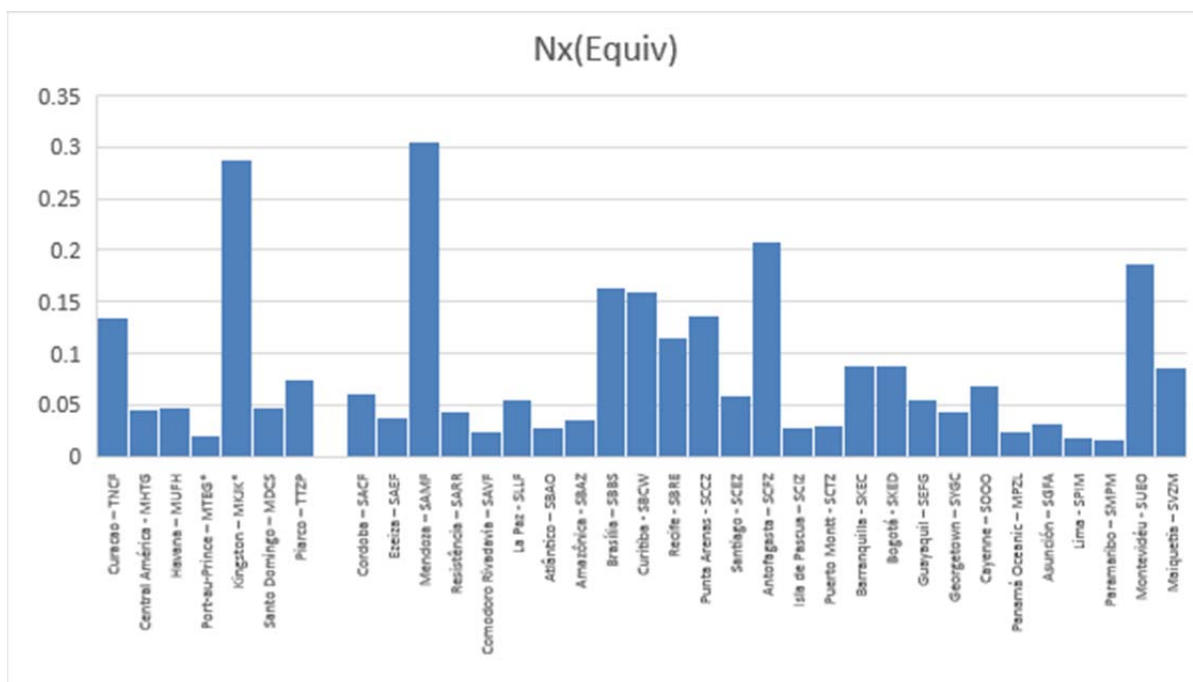


Figura 1 – Frecuencia de Paso Equivalente

El valor estimado de **Pz (1000)** utilizado en nuestras calculaciones fue de **2.46 x 10-8**.

5.6 Estimación del riesgo de colisión

5.6.1 La Tabla 7 contiene los conjuntos de los parámetros físicos y dinámicos que se estiman en el perfil de riesgo, así como el seguimiento de los parámetros principales para las FIR CAR/SAM. Todos los parámetros se determinaron basados en el espacio aéreo de cada región que se considera un sistema aislado.

FIR	Ez(same)	Ez(opp)	Ez(cross)	ΔV(same)	ΔV(opp)	V
CAR	0.09347	0.03623	0.03763	34.7953	725.915	415.881
SAM	0.06161	0.03313	0.02726	36.2907	693.178	447.513
CAR/SAM	0.07754	0.03468	0.03245	35.5430	709.547	431.697

Tabla 7 – Parámetros físicos y dinámicos

6 Conclusiones de la evaluación de la Seguridad (CRM)

6.1 Riesgo de Colisión - Los valores estimados del Error Operacional se presentan en la Tabla 8 que resultan del procesamiento de todos los LHD recibidos y validados en 2017, más los archivos que contienen movimientos de aeronaves en el espacio aéreo RVSM, procesados en el software CRM específico.

CAR/SAM Collision Risk Model - 2017

Location	Collision Risk (E-08)	TLS (E-08)
SACE	1.37	0.50
SAEF	0.00	0.50
SAMF	0.45	0.50
SARR	0.35	0.50
SAUF	0.00	0.50
SLLF	0.15	0.50
SBAO	0.10	0.50
SBAZ	0.05	0.50
SBBS	0.05	0.50
SBCW	0.08	0.50
SBRE	0.02	0.50
SCOZ	0.00	0.50
SCTZ	0.00	0.50
SCFZ	2.21	0.50
SCIZ	0.00	0.50
SCTZ	0.00	0.50
SKEC	0.00	0.50
SRED	0.20	0.50
SEFG	6.83	0.50
SYGC	0.25	0.50
SOOO	0.10	0.50
MPZL	0.00	0.50
SGFA	0.35	0.50
SPIA	0.02	0.50
SMPM	0.02	0.50
SURO	0.35	0.50
SZM	0.15	0.50
TNCF	1.75	0.50
MHTG	0.02	0.50
MUFH	0.00	0.50
MTEG	0.10	0.50
MKK	1.92	0.50
MDOS	0.35	0.50
TTZP	0.30	0.50

6.3 El error técnico de las FIR CAR/SAM satisface el objetivo que establece que no debe exceder $2,5 \times 10^{-9}$ accidentes mortales por hora de vuelo debido a la pérdida de la separación vertical estándar de 1000 pies y todas las demás causas.

- | RVSM airspace CAR/SAM
Flight Hours estimated = 212,928.04 | | | |
|--|----------------|------------|-------------|
| Source of Risk | Estimated Risk | TLS | Observation |
| Technical Error | 0.0299 x 10-9 | 2.5 x 10-9 | Below |
| Operational Error | 2.157 x 10-9 | - | - |
| Risk | 2.187 x 10-9 | 5.0 x 10-9 | Below |

Tabla 8

7 Acciones Sugeridas

7.1 Se invita a la Reunión a:

- a) tomar nota y revisar el contenido de este documento de trabajo; y
- b) compartir experiencias y expresar opiniones sobre las acciones de CARSAMMA en esta materia.

— FIN —