



CALIDAD DE AGUA

TABLA DE CONTENIDO

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	11
5.1	MEDIO ABIÓTICO	11
5.1.5	HIDROLOGÍA	11
5.1.5.1	Calidad del agua	11

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1.4.1.1 Estaciones de muestreo de calidad del agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas	12
Tabla 5.1.4.1.2 Actividades identificadas en el área de influencia que pueden generar cambios en la calidad del agua superficial.	13
Tabla 5.1.4.1.3 Mineralización según reporte de conductividad	21
Tabla 5.1.4.1.4 Clasificación de la alcalinidad	28
Tabla 5.1.4.1.5 Clasificación de las aguas según su dureza	33
Tabla 5.1.4.1.6 Resumen de resultados Índices de calidad (ICA) y contaminación (ICOs) del agua	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1.4.1.1 Localización de los puntos de muestreo de calidad de agua	15
Figura 5.1.4.1.2 Comportamiento pH: temporada seca vs. temporada de lluvias	18
Figura 5.1.4.1.3 Comportamiento de la temperatura: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	19
Figura 5.1.4.1.4 Comportamiento oxígeno disuelto: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	20
Figura 5.1.4.1.5 Comportamiento conductividad: temporada seca vs. temporada de lluvias	21
Figura 5.1.4.1.6 Comportamiento potencial REDOX: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	22
Figura 5.1.4.1.7 Comportamiento turbidez: temporada seca vs. temporada de lluvias	23
Figura 5.1.4.1.8 Comportamiento color triestimular: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	23
Figura 5.1.4.1.9 Comportamiento SED: temporada seca vs. temporada de lluvias	24
Figura 5.1.4.1.10 Comportamiento SDT: temporada seca vs. temporada de lluvias	25
Figura 5.1.4.1.11 Comportamiento SST: temporada seca vs. temporada de lluvias	25
Figura 5.1.4.1.12 Comportamiento coliformes totales: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	26
Figura 5.1.4.1.13 Comportamiento coliformes termotolerantes: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	27
Figura 5.1.4.1.14 Comportamiento Coliformes totales: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	28
Figura 5.1.4.1.15 Comportamiento alcalinidad: temporada seca vs. temporada de lluvias	29
Figura 5.1.4.1.16 Comportamiento acidez: temporada seca vs. temporada de lluvias	30
Figura 5.1.4.1.17 Comportamiento cloruros y sulfuros: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	31

Figura 5.1.4.1.18 Comportamiento sulfuro de hidrógeno no ionizado: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	32
Figura 5.1.4.1.19 Comportamiento clorofila: temporada seca vs. temporada de lluvias	33
Figura 5.1.4.1.20 Comportamiento dureza cálcica y total: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	34
Figura 5.1.4.1.21 Comportamiento grasas y aceites e hidrocarburos: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	35
Figura 5.1.4.1.22 Comportamiento Fluoruros: temporada seca vs. temporada de lluvias	36
Figura 5.1.4.1.23 Comportamiento fósforo total: temporada seca vs. temporada de lluvias	37
Figura 5.1.4.1.24 Comportamiento nitritos: temporada seca vs. temporada de lluvias	38
Figura 5.1.4.1.25 Comportamiento nitratos: temporada seca vs. temporada de lluvias	38
Figura 5.1.4.1.26 Comportamiento DBO5: temporada seca vs. temporada de lluvias	40
Figura 5.1.4.1.27 Comportamiento DQO: temporada seca vs. temporada de lluvias	41
Figura 5.1.4.1.28 Comportamiento Sílice: temporada seca vs. temporada de lluvias	42
Figura 5.1.4.1.29 Comportamiento aluminio total: temporada seca vs. temporada de lluvias	43
Figura 5.1.4.1.30 Comportamiento hierro total: temporada seca vs. temporada de lluvias	44
Figura 5.1.4.1.31 Comportamiento manganeso total: temporada seca vs. temporada de lluvias.....	45
Figura 5.1.4.1.32 índice Langelier: temporada seca vs. temporada de lluvias	46
Figura 5.1.4.1.33 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus ...	47
Figura 5.1.4.1.34 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5 ...	48
Figura 5.1.4.1.35 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8 ...	49
Figura 5.1.4.1.36 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito	50

Figura 5.1.4.1.37 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9...	51
Figura 5.1.4.1.38 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10.	52
Figura 5.1.4.1.39 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11.	53
Figura 5.1.4.1.40 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco	54
Figura 5.1.4.1.41 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Basal	55
Figura 5.1.4.1.42 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio	56
Figura 5.1.4.1.43 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada	57
Figura 5.1.4.1.44 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María	58
Figura 5.1.4.1.45 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas	59
Figura 5.1.4.1.46 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina	60
Figura 5.1.4.1.47 Representación espacial de los resultados obtenidos para el índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas	61
Figura 5.1.4.1.48 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias	63
Figura 5.1.4.1.49 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus	64
Figura 5.1.4.1.50 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5	65
Figura 5.1.4.1.51 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8	66
Figura 5.1.4.1.52 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito	67
Figura 5.1.4.1.53 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9	68
Figura 5.1.4.1.54 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10	69

Figura 5.1.4.1.55 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11	70
Figura 5.1.4.1.56 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco	71
Figura 5.1.4.1.57 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal.....	72
Figura 5.1.4.1.58 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio	73
Figura 5.1.4.1.59 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada	74
Figura 5.1.4.1.60 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María	75
Figura 5.1.4.1.61 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas	76
Figura 5.1.4.1.62 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina.....	77
Figura 5.1.4.1.63 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas. 78	
Figura 5.1.4.1.64 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus.....	79
Figura 5.1.4.1.65 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5	80
Figura 5.1.4.1.66 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8	81
Figura 5.1.4.1.67 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito	82
Figura 5.1.4.1.68 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9	83
Figura 5.1.4.1.69 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10	84
Figura 5.1.4.1.70 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11	85
Figura 5.1.4.1.71 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco	86

Figura 5.1.4.1.72 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal.....	87
Figura 5.1.4.1.73 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio	88
Figura 5.1.4.1.74 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada	89
Figura 5.1.4.1.75 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María	90
Figura 5.1.4.1.76 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas	91
Figura 5.1.4.1.77 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina	92
Figura 5.1.4.1.78 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas93	
Figura 5.1.4.1.79 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus.....	94
Figura 5.1.4.1.80 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5	95
Figura 5.1.4.1.81 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8	96
Figura 5.1.4.1.82 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito	97
Figura 5.1.4.1.83 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9	98
Figura 5.1.4.1.84 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10	99
Figura 5.1.4.1.85 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11	100
Figura 5.1.4.1.86 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco	101
Figura 5.1.4.1.87 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal.....	102
Figura 5.1.4.1.88 índice ICoPh: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio	103

Figura 5.1.4.1.89 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada	104
Figura 5.1.4.1.90 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María	105
Figura 5.1.4.1.91 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas	106
Figura 5.1.4.1.92 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina	107
Figura 5.1.4.1.93 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas	108
Figura 5.1.4.1.94 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus	109
Figura 5.1.4.1.95 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5	110
Figura 5.1.4.1.96 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8	111
Figura 5.1.4.1.97 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito	112
Figura 5.1.4.1.98 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9	113
Figura 5.1.4.1.99 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10	114
Figura 5.1.4.1.100 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11	115
Figura 5.1.4.1.101 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco	116
Figura 5.1.4.1.102 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal	117
Figura 5.1.4.1.103 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio	118
Figura 5.1.4.1.104 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada	119
Figura 5.1.4.1.105 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María	120

Figura 5.1.4.1.106 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas	121
Figura 5.1.4.1.107 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina	122
Figura 5.1.4.1.108 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas	123
Figura 5.1.4.1.109 Localización de los puntos de muestreo de sedimentos	127
Figura 5.1.4.1.110 Comportamiento fenoles totales: temporada seca vs. temporada de lluvias	128
Figura 5.1.4.1.111 Comportamiento dióxido de silicio: temporada seca vs. temporada de lluvias	129
Figura 5.1.4.1.112 Comportamiento cloruros: temporada seca vs. temporada de lluvias	130
Figura 5.1.4.1.113 Comportamiento sulfatos: temporada seca vs. temporada de lluvias	131
Figura 5.1.4.1.114 Comportamiento cobre total: temporada seca vs. temporada de lluvias	132
Figura 5.1.4.1.115 Comportamiento mercurio total: temporada seca vs. temporada de lluvias	132
Figura 5.1.4.1.116 Comportamiento cromo total: temporada seca vs. temporada de lluvias	133
Figura 5.1.4.1.117 Comportamiento plomo total: temporada seca vs. temporada de lluvias	134
Figura 5.1.4.1.118 Comportamiento magnesio: temporada seca vs. temporada de lluvias	134
Figura 5.1.4.1.119 Comportamiento aluminio total: temporada seca vs. temporada de lluvias	135
Figura 5.1.4.1.120 Comportamiento vanadio: temporada seca vs. temporada de lluvias	136
Figura 5.1.4.1.121 Comportamiento sodio total: temporada seca vs. temporada de lluvias	136
Figura 5.1.4.1.122 Comportamiento calcio: temporada seca vs. temporada de lluvias	137
Figura 5.1.4.1.123 Comportamiento hierro total: temporada seca vs. temporada de lluvias	138

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE.

ATENCION A REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN ADICIONAL ACTA 30 DE 30 DE JUNIO DE 2026

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.5 HIDROLOGÍA

5.1.5.1 Calidad del agua

5.1.5.1.1 Localización y descripción de los puntos de agua superficial

El monitoreo fue realizado con el objetivo de caracterizar la calidad del agua superficial y sedimentos en los cuerpos hídricos asociados al área de influencia del medio abiótico, mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos, con el fin de establecer la línea base ambiental y servir como insumo para la evaluación de los posibles impactos derivados de las actividades modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote. En cuanto a las variables hidrobiológicas, su evaluación y resultados se presentan en el Capítulo 5.2.2.1 Ecosistemas acuáticos.

En la matriz de agua se contemplaron 43 puntos de monitoreo ubicados en los cuerpos de agua descritos en Tabla 5.1.5.1.1, de los cuales 40 fueron efectivos y 3 no pudieron muestrearse debido a que las fuentes se encontraban secas.

El monitoreo en época seca se realizó el 30 de diciembre de 2024 y los días 03, 04, 05, 10, 11, 12, 13, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25 de enero de 2025. En época lluviosa, las actividades se llevaron a cabo los días 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28 de abril, así como el 02, 03, 04, 06, 07, 08, 09 y 10 de mayo de 2025, mediante la toma de muestras puntuales en los puntos definidos dentro del área de influencia. Cabe mencionar que, de los puntos relacionados en la Tabla 5.1.5.1.1, se seleccionaron 15 para la matriz de sedimentos. Véase mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-CALID

Tabla 5.1.5.1.1 Estaciones de muestreo de calidad del agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas

ID Punto	Cuerpo de agua	Monitoreo		Coordenadas	
		Agua superficial	Sedimentos	X	Y
N04	Río Nus	X		4.787.105,53	2.279.395,79
N05	Río Nus	X	X	4.788.424,95	2.278.827,92
N06	Río Nus	X	X	4.788.613,44	2.278.568,02
N07	Río Nus	X	X	4.789.072,27	2.278.623,74
N08	Río Nus	X		4.789.859,29	2.278.580,73
N09	Río Nus	X	X	4.790.607,28	2.278.322,66
N10	Río Nus	X	X	4.791.501,99	2.277.949,66
N11	Río Nus	X	X	4.794.975,02	2.278.043,61
N12	Río Nus	X		4.792.470,21	2.277.888,07
N13	Río Nus	X		4.794.324,72	2.277.079,24
N15	Río Nus	X		4.794.682,90	2.276.995,58
N16	Río Nus	X	X	4.797.545,96	2.276.491,28
N17	Río Nus	X		4.791.607,55	2.277.760,50
AN01	Cauce 5	X		4.786.454,80	2.279.676,09
AN02	Cauce 8	X		4.791.505,09	2.276.057,91
AN03	Quebrada Torito	X		4.792.618,46	2.277.783,47
AN04	Cauce 9	X		4.792.775,55	2.277.658,04
AN05	Cauce 9	X		4.790.124,50	2.277.306,82
AN06*	Cauce 10	X		4.792.032,85	2.277.861,12
AN07	Cauce 10	X		4.790.665,88	2.278.147,63
AN08	Cauce 11	X		4.791.319,44	2.276.340,23
EB02	Quebrada El Banco	X		4.791.759,13	2.277.608,60
EB03	Quebrada El Banco	X	X	4.786.741,96	2.279.492,29
B02	Quebrada El Balsal	X		4.790.713,92	2.277.629,56
B03	Quebrada El Balsal	X	X	4.790.945,57	2.278.073,85
SA02	Quebrada San Antonio	X		4.789.323,63	2.277.679,69
SA03	Quebrada San Antonio	X	X	4.786.727,56	2.278.789,99
C02	Quebrada La Colorada	X	X	4.788.948,06	2.277.765,74
C03	Quebrada La Colorada	X		4.787.548,10	2.278.220,90
LM01	Quebrada La María	X		4.792.659,85	2.275.957,66
LM02	Quebrada La María	X		4.794.398,07	2.276.892,48
LM03	Quebrada La María	X	X	4.787.582,91	2.276.826,50
G03	Quebrada Guacas	X	X	4.738.093,18	2.278.589,44
G05	Quebrada Guacas	X		4.790.052,07	2.278.520,67
P03	Quebrada La Palestina	X		4.791.139,49	2.276.803,28
P04	Quebrada La Palestina	X		4.792.268,94	2.276.649,49
P05	Quebrada La Palestina	X		4.793.299,30	2.276.667,09
P06	Quebrada La Palestina	X	X	4.789.150,71	2.278.273,99
P07	Quebrada La Palestina	X	X	4.788.743,47	2.277.049,91
P08	Quebrada Sin nombre	X		4.793.682,70	2.276.056,86
P09*	Quebrada Sin nombre	X		4.791.120,77	2.277.301,27
P10	Quebrada La Palestina	X		4.792.178,35	2.277.143,21
AM01*	Quebrada Sin nombre	X		4.788.740,86	2.278.367,40

*Los puntos se encontraban secos, por lo que no fue posible realizar la toma de muestras.

Fuente: Integral S.A., 2025

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO
DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE

I-I-10719-HIDROLOGÍA-00-V2

5.1.5.1.2 Actividades que generan cambios en la calidad del agua

En el área de influencia se identifican diversas actividades productivas, extractivas y domésticas que, por sus características operativas, generan presiones sobre la calidad de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas. Estas presiones se manifiestan a través de procesos de erosión, arrastre de sedimentos, incorporación de contaminantes químicos (metales pesados, nutrientes, hidrocarburos), aportes orgánicos y alteraciones físico-químicas que modifican las condiciones naturales del agua.

Entre las actividades identificadas se destaca el beneficio del oro realizado en plantas no licenciadas, actividad que requiere la captación de agua superficial mediante derivaciones o bocatomas, lo cual reduce el caudal disponible en las fuentes hídricas. Adicionalmente, durante el proceso de beneficio, la reducción del tamaño de las partículas del material mineral genera lodos y finos minerales que son descargados directamente a los cuerpos de agua sin tratamiento previo, ocasionando un incremento de los sólidos suspendidos y disueltos, aumento de la turbidez y alteración de las condiciones físico-químicas del agua. Estas descargas afectan la dinámica hidráulica del sistema, la calidad del hábitat acuático y la estructura de las comunidades hidrobiológicas, constituyéndose en un impacto ambiental negativo sobre el componente hídrico.

A continuación, en la Tabla 5.1.5.1.2, se describen las actividades presentes en el territorio y su relación directa con los cambios en la calidad del recurso hídrico, de acuerdo con las actividades identificadas en el área de influencia y presentadas en el Capítulo 8. Evaluación, específicamente en la Tabla 8.7 correspondiente al escenario sin proyecto:

Tabla 5.1.5.1.2 Actividades identificadas en el área de influencia que pueden generar cambios en la calidad del agua superficial.

Actividad	Descripción de la presión ejercida sobre el recurso hídrico	Principales parámetros de calidad de agua potencialmente afectados
Minería de oro (aluvión)	Remoción de sedimentos; resuspensión de material fino; potencial uso de mercurio; vertimientos puntuales del lavado	SST, turbidez, sólidos totales, metales pesados (Hg), DQO/DBO, temperatura
Minería de oro formalizada (veta)	Excavación y drenajes subterráneos; disposición de estériles; generación de aguas ácidas/minerales; transporte de material	pH, metales pesados (Fe, Mn, Al, As), conductividad, sulfatos, turbidez
Extracción ilícita o informal de minerales	Remoción inadecuada de estériles; uso de mercurio; vertimientos no controlados; erosión	Hg, metales pesados, SST, turbidez, DBO/DQO, pH, cianuro residual (si aplica)
Beneficio del oro en plantas de beneficio no licenciadas	Descarga de aguas residuales con mercurio y cianuro; quema de amalgamas; vertimientos de molienda	Hg, CN-, metales pesados, DBO/DQO, conductividad, turbidez

Actividad	Descripción de la presión ejercida sobre el recurso hídrico	Principales parámetros de calidad de agua potencialmente afectados
Extracción del material de arrastre de playas aluviales (río Nus y quebrada Palestina)	Remoción manual de arenas y gravas; alteración de cauces; resuspensión de sedimentos	SST, turbidez, granulometría, temperatura
Ganadería	Aporte de excretas; escorrentía con nutrientes; erosión de riberas; uso de agroquímicos en pastos	DBO, DQO, nitratos, fosfatos, coliformes, SST, turbidez
Agricultura	Fertilización; pesticidas; erosión; escorrentía desde laderas	N-NO ₃ , P-PO ₄ , pesticidas, DBO, DQO, pH, turbidez
Pesca	Baja presión directa, solo presencia humana	Sin afectación significativa; ligeros aportes orgánicos (DBO)
Piscicultura	Descarga de aguas con nutrientes; materia orgánica; alimento no consumido	Nitrógeno, fósforo, DBO, sólidos suspendidos, coliformes
Generación hidroeléctrica (PCH)	Alteración del régimen hidrológico; variación de caudales; lavado de estructuras	Temperatura, oxígeno disuelto, SST, caudal ecológico
Producción de panela	Vertimientos del lavado del trapiche; uso de agua para procesos; escorrentía con materia orgánica	DBO, DQO, SST, coliformes
Actividades domésticas en núcleos urbanos y vivienda dispersas	Vertimientos domésticos sin tratamiento; residuos sólidos; lavado y uso de jabones	DBO, DQO, coliformes, grasas y aceites, tensioactivos, SST
Porcicultura	Lavado de corrales; infiltración/escorrentía con alta carga orgánica y nutrientes	DBO, DQO, nitratos, fosfatos, coliformes, amonio
Transporte	Aportes de aceites y combustibles por escorrentía; polvo suspendido; accidentalidad	Hidrocarburos, grasas y aceites, SST
Oferta de bienes y servicios	Vertimientos domésticos y sanitarios; residuos; lavado de áreas	DBO, DQO, coliformes, grasas y aceites
Funcionamiento de organizaciones comunitarias y productivas	Producción de residuos y vertimientos domésticos asociados a sedes	DBO, DQO, coliformes

Fuente: Integral S.A., 2025

En el capítulo 8. Evaluación de impactos, se presenta el detalle de las actividades identificadas en el territorio para el escenario sin proyecto y la identificación de los impactos sobre el recurso hídrico.

5.1.5.1.3 Resultados y análisis muestreo de calidad del agua superficial

En la Figura 5.1.5.1.1 se presenta la localización de los puntos de muestreo de calidad de agua evaluados para las temporadas seca y húmeda en el área de influencia de la modificación de licencia.

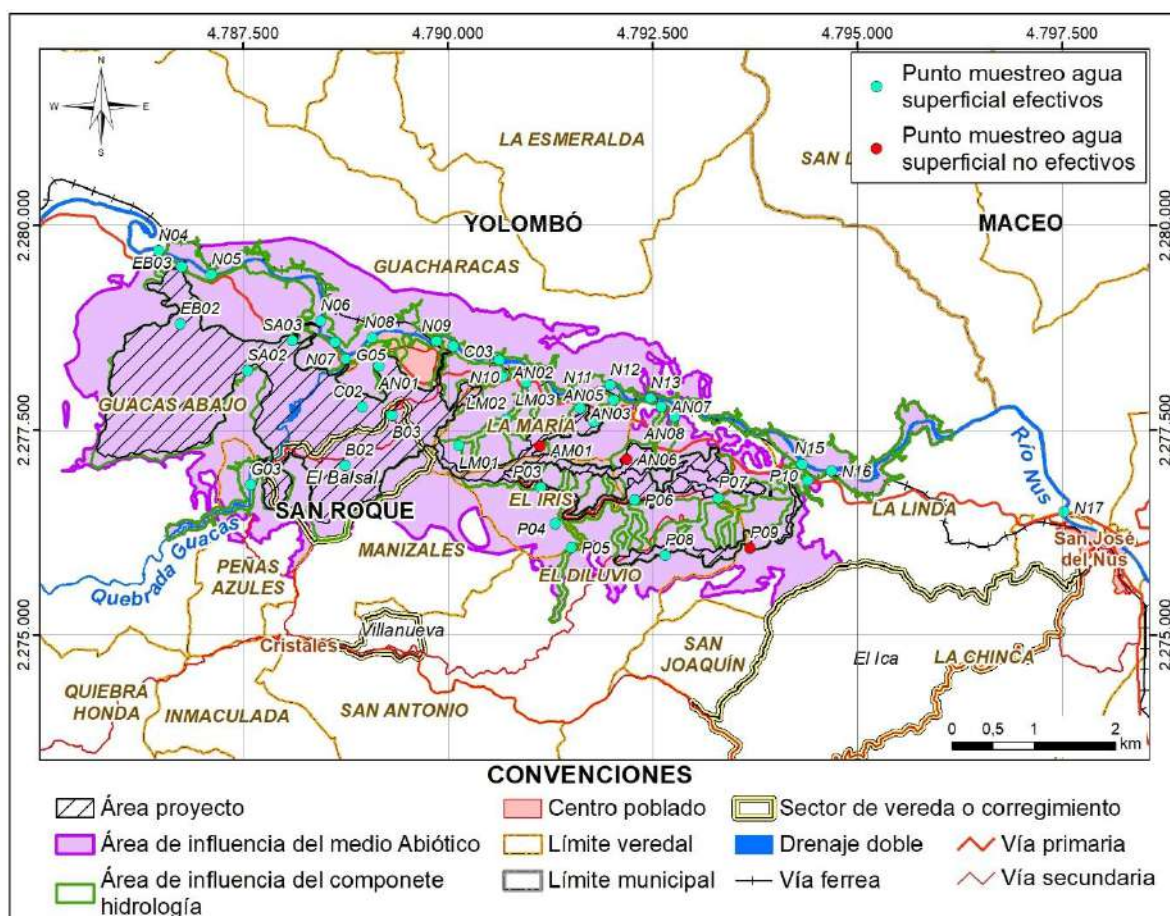


Figura 5.1.5.1.1 Localización de los puntos de muestreo de calidad de agua

Fuente: Integral S.A., 2025

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo de calidad de agua y sedimentos, donde se analiza el comportamiento de los parámetros medidos, sus variaciones temporales y las tendencias observadas durante las dos temporadas de monitoreo. Véase ANEXO_CARACTERIZACION_CALIDADDEAGUA

Para el monitoreo fisicoquímico y microbiológico, dichos resultados se contrastan con los límites y criterios establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), con el fin de establecer los criterios de calidad del agua según los distintos usos posibles de las fuentes hídricas. En los mencionados artículos son definidos límites, rangos y condiciones que deben cumplir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para que el agua sea adecuada para un uso determinado, tal y como se relaciona a continuación:

- Artículo 2.2.3.3.9.3: criterios de calidad para uso doméstico (abastecimiento).
- Artículo 2.2.3.3.9.4: criterios para uso agrícola (riego).
- Artículo 2.2.3.3.9.5: criterios para uso pecuario.
- Artículo 2.2.3.3.9.6: criterios para protección de vida acuática.
- Artículo 2.2.3.3.9.7: criterios para uso recreativo con contacto primario.
- Artículo 2.2.3.3.9.8: criterios para uso recreativo sin contacto primario.
- Artículo 2.2.3.3.9.10: criterios para conservación de ecosistemas acuáticos especiales.

Con este análisis se pretende evaluar el estado y la aptitud de las fuentes hídricas y facilitar la comprensión de las condiciones existentes del recurso, cumplen criterios normativos establecidos para los diferentes usos.

Por otro lado, para el monitoreo de sedimentos la interpretación se realizó con base en lo dispuesto por las Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1995).

Cuando los resultados se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método, en las figuras se representa el valor correspondiente al límite.

A. Datos *in situ*

La evaluación de los parámetros *in situ* se realizó directamente en campo con el fin de registrar las condiciones instantáneas del cuerpo de agua al momento del muestreo. Estas mediciones permitieron caracterizar variables básicas de calidad, tales como pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, entre otras asociadas al comportamiento físico y químico del agua. Las mediciones se efectuaron mediante equipos multiparámetro debidamente calibrados, con el objetivo de garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de la información. El detalle de los equipos utilizados, los procedimientos internos aplicados y los criterios técnicos de medición se encuentran desarrollados en el capítulo 2. Generalidades.

a. pH

El pH registró valores entre 5,40 Unidades (AN01) y 7,94 Unidades (P04) en época seca, y entre 5,09 Unidades (EB03) y 8,11 Unidades (P05) en época lluviosa. En general, las muestras presentaron condiciones que oscilaron entre ligeramente ácidas y alcalinas (véase Figura 5.1.5.1.2), asociadas principalmente a procesos naturales como la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos, derivados de la descomposición de materia orgánica, así como a la influencia del sistema bicarbonato-carbonato característico de cuerpos de agua continentales.

De acuerdo con los criterios de calidad establecidos en el Decreto 1076 de 2015, se realizó la evaluación del pH para los diferentes usos del recurso hídrico definidos en los artículos

2.2.3.3.9.3 a 2.2.3.3.9.10. Al respecto, se identificaron valores de pH inferiores a los rangos establecidos para los usos agrícola (artículo 2.2.3.3.9.4) y para conservación de ecosistemas acuáticos bajo el criterio de agua dulce fría (artículo 2.2.3.3.9.10), en puntos específicos del área de estudio. Esta condición se presentó durante la época seca en los puntos N04, N07, N09, N13, N17, AN04, EB03, B03, AN08, AN02 y AN01, y durante la época lluviosa en los puntos N05, N09, N08, N13, N11, N15, P04, AN03, EB02 y EB03.

No obstante, es importante precisar que el artículo 2.2.3.3.9.10, correspondiente a la conservación de ecosistemas acuáticos, establece dos rangos diferenciados de pH, uno aplicable a ecosistemas de agua dulce fría y otro a ecosistemas de agua dulce cálida. En este sentido, los registros de temperatura del agua, analizados en el literal siguiente, evidencian valores superiores a 20 °C tanto en época seca como lluviosa en todos los puntos de monitoreo, lo que permite clasificar las fuentes evaluadas como ecosistemas de agua dulce cálida. En consecuencia, el rango normativo aplicable para la conservación de ecosistemas acuáticos corresponde al definido para agua dulce cálida, frente al cual los valores de pH registrados se encuentran dentro de los límites permisibles.

Por su parte, al contrastar los resultados con los criterios establecidos para los usos doméstico (artículo 2.2.3.3.9.3), pecuario (artículo 2.2.3.3.9.5), protección de la vida acuática (artículo 2.2.3.3.9.6), recreativo con contacto primario (artículo 2.2.3.3.9.7) y recreativo sin contacto primario (artículo 2.2.3.3.9.8), se observa que los valores de pH registrados se encuentran dentro de los rangos permisibles en ambos periodos de monitoreo.

La presencia puntual de valores de pH ligeramente ácidos en algunos puntos del área de estudio indica la ocurrencia de condiciones de acidez localizada, las cuales, desde el punto de vista ecológico, pueden generar efectos como variaciones en la disponibilidad de nutrientes, incremento en la solubilidad de ciertos metales y potencial sensibilidad de organismos acuáticos más vulnerables a cambios de pH, especialmente macroinvertebrados y estadios tempranos de peces. Sin embargo, estas condiciones se presentan de manera espacialmente restringida, sin evidenciarse una alteración homogénea o persistente a escala del sistema hídrico evaluado.

Adicionalmente, considerando que los cuerpos de agua evaluados corresponden a ecosistemas de agua dulce cálida, y que los valores de pH cumplen con los rangos normativos establecidos para la conservación de ecosistemas acuáticos bajo esta clasificación, no se identifican implicaciones ambientales relevantes ni una afectación significativa de la funcionalidad ecológica del sistema. En este sentido, las variaciones observadas son compatibles con la dinámica natural de cuerpos de agua continentales en ambientes tropicales, frecuentemente influenciados por aportes de materia orgánica y procesos biogeoquímicos naturales (Wetzel, 2001) (Allan, 2007)).

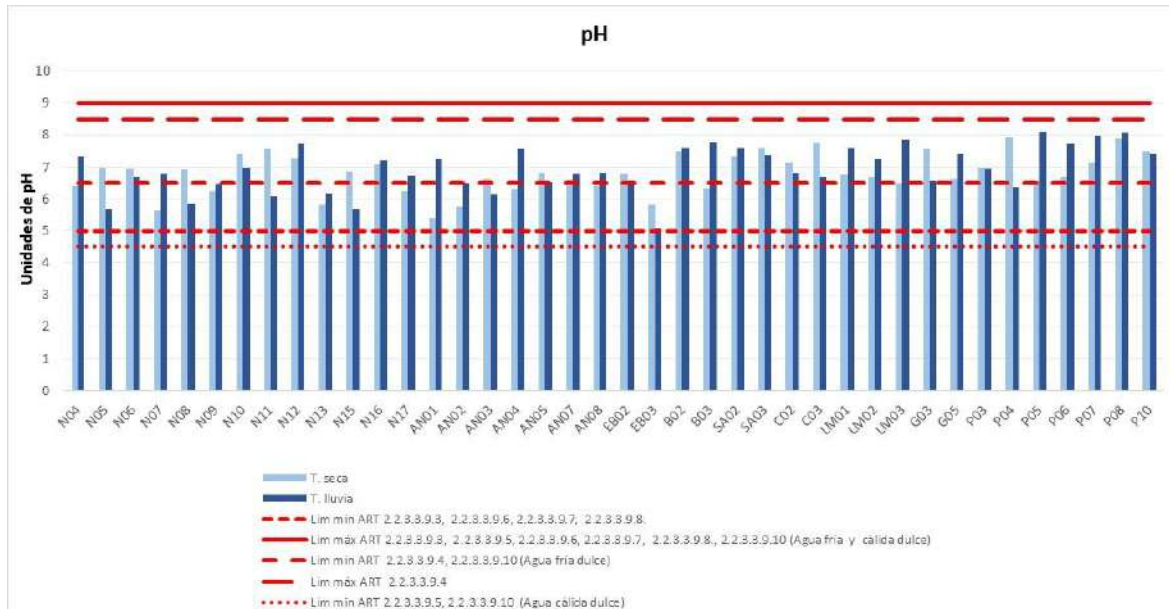


Figura 5.1.5.1.2 Comportamiento pH: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

b. Temperatura

La temperatura es un factor clave en la calidad del agua, pues influye en la actividad metabólica de los organismos, el consumo de oxígeno y la descomposición de materia orgánica, favoreciendo también el crecimiento de bacterias y fitoplancton (Roldán, 2003). Durante la época seca se registraron temperaturas entre 20,72 °C (AN05) y 29,36 °C (AN02), y en la época lluviosa entre 21,59 °C (N06) y 27,03 °C (EB03) como se puede observar en la Figura 5.1.5.1.3. Estos valores son coherentes con la hora de muestreo y las condiciones climáticas de la zona. Además, las normativas referenciadas en el presente estudio no proporcionan un límite comparativo para dicho parámetro.

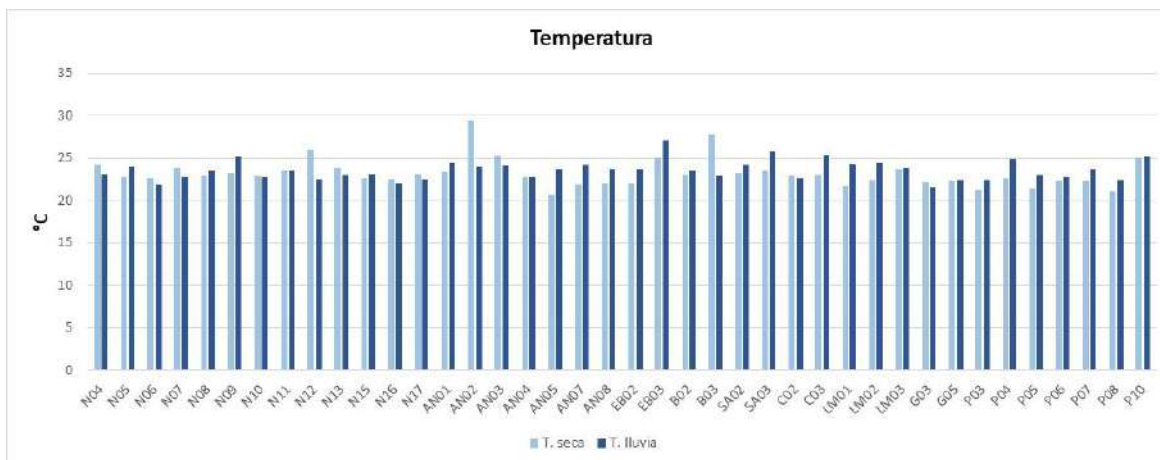


Figura 5.1.5.1.3 Comportamiento de la temperatura: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

c. Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto está influenciada por procesos como la reoxigenación atmosférica, la respiración de los organismos y las demandas béntica y bioquímica. En época seca se registraron valores entre 1,29 mg O₂/L (C03) y 8,50 mg O₂/L (N04), mientras que en época lluviosa oscilaron entre 4,46 mg O₂/L (AN05) y 9,40 mg O₂/L (G03). Estas variaciones pueden deberse a factores asociados a la temperatura, presión y salinidad del agua. En general, la mayoría de las concentraciones obtenidas favorecen los procesos fisicoquímicos y el bienestar de las comunidades acuáticas (véase Figura 5.1.5.1.4)

De acuerdo con el Artículo 2.2.3.3.9.10 Conservación de ecosistemas acuáticos especiales, para agua fría dulce, en época seca el punto B02 presentó valores por debajo del límite mínimo; y para agua cálida dulce, los puntos N05, N08, C03 y C02 también registraron valores inferiores al valor mínimo permitido. En época lluviosa, los puntos AN04 y AN05 presentaron concentraciones por debajo del límite mínimo establecido para la preservación de flora y fauna en agua fría dulce (Ar 2.2.3.3.9.10).

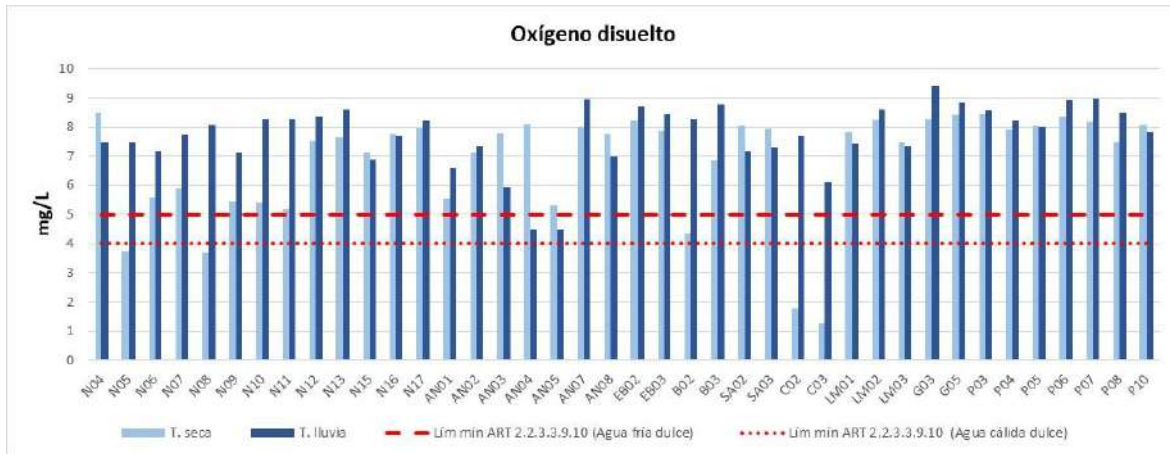


Figura 5.1.5.1.4 Comportamiento oxígeno disuelto: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

d. Conductividad

La conductividad del agua representa su capacidad para transportar corriente eléctrica y depende principalmente de la concentración de sustancias ionizadas disueltas y de la temperatura al momento de la medición (Romero Rojas, 2009). En los cuerpos de agua evaluados, se registraron valores entre 69,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (G05) y 448,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (AN04) durante la época seca, y entre 14,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (G03) y 438,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (C02) en la época lluviosa (véase Figura 5.1.5.1.5). Estos rangos permiten clasificar el grado de mineralización de los puntos muestreados entre “muy débil” y “media acentuada” (véase Tabla 5.1.5.1.3). Los valores más elevados de conductividad se registraron en los puntos AN04, C02 y B02, ubicados en el cauce 9, la quebrada La Colorada y la quebrada El Balsal, respectivamente. La mayor mineralización observada en estos sectores puede estar asociada principalmente a factores de origen natural, tales como una mayor interacción agua-suelo-roca, la presencia de materiales geológicos con mayor contenido de minerales solubles y procesos de lixiviación natural, los cuales favorecen la incorporación de iones disueltos al sistema acuático. Adicionalmente, como el arrastre de finos y sedimentos durante eventos de escorrentía, la remoción puntual de coberturas vegetales y los aportes difusos asociados a actividades antrópicas presentes en el área pueden contribuir al aumento de la carga iónica disuelta, intensificando localmente los valores de conductividad, especialmente durante la época lluviosa.

No obstante, es importante señalar que, si bien estos puntos presentan valores relativamente más altos en comparación con el resto de los sitios monitoreados, los registros se mantienen dentro del intervalo de mineralización media acentuada (333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a < 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En este sentido, la conductividad registrada no evidencia condiciones críticas ni restrictivas para los usos del recurso hídrico ni para la funcionalidad del ecosistema acuático, sino variaciones espaciales compatibles con las características naturales del entorno. Asimismo, no se identifica incumplimiento normativo, dado que el Decreto 1076 de 2015 no establece límites máximos permisibles para este parámetro.

Tabla 5.1.5.1.3 Mineralización según reporte de conductividad

Conductividad	Mineralización
< 100 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización muy débil
100 $\mu\text{S/cm}$ - < 200 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización débil
200 $\mu\text{S/cm}$ - < 333 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización media
333 $\mu\text{S/cm}$ - < 666 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización media acentuada
666 $\mu\text{S/cm}$ - < 1000 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización importante
> 1000 $\mu\text{S/cm}$	Mineralización excesiva

Fuente: J. Rodier, 1990

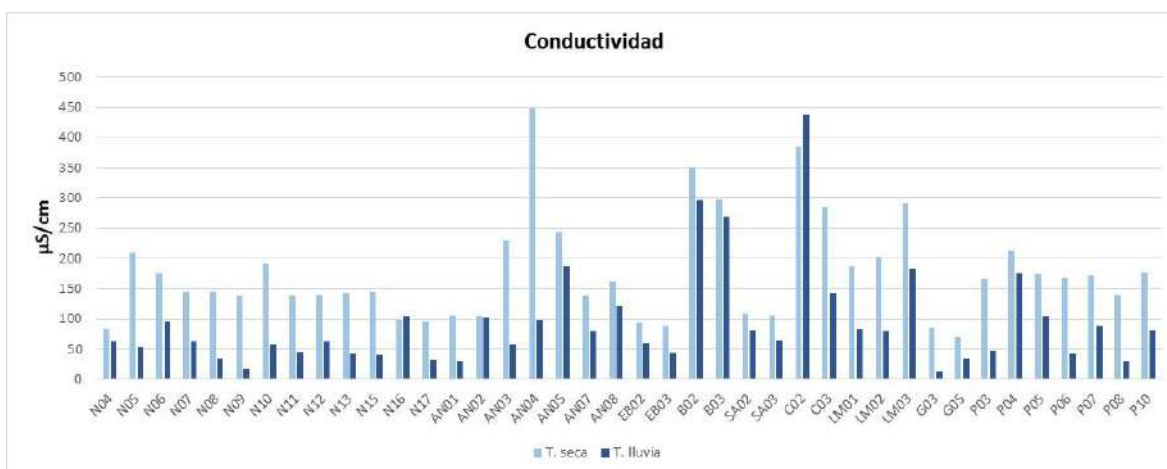


Figura 5.1.5.1.5 Comportamiento conductividad: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

e. Potencial REDOX

El potencial redox mide la actividad de los electrones asociados a procesos de oxidación y reducción, y se relaciona directamente con el pH y el contenido de oxígeno del agua. Este parámetro indica la capacidad de una sustancia para oxidar o reducir otras y permite evaluar las transformaciones de la materia orgánica en nutrientes disponibles para los organismos acuáticos. En los puntos evaluados, este parámetro osciló entre 73,40 mV (AN05) y 343,0 mV (N07) durante época seca, y entre 5,20 mV (AN04) y 191,90 mV (N06) en la época de lluvias. En ambos casos, no se emite juicio frente a la normatividad, dado que el Decreto 1076 de 2015 no establece límites para este parámetro.

La gráfica muestra un comportamiento marcadamente heterogéneo entre los puntos y entre temporadas (véase Figura 5.1.5.1.6). En época seca se registran valores notablemente más altos, especialmente en los puntos asociados al río Nus. En contraste, durante la temporada de lluvias se observa una disminución generalizada del potencial redox, con valores particularmente bajos e incluso negativos, los cuales reflejan condiciones reductoras.

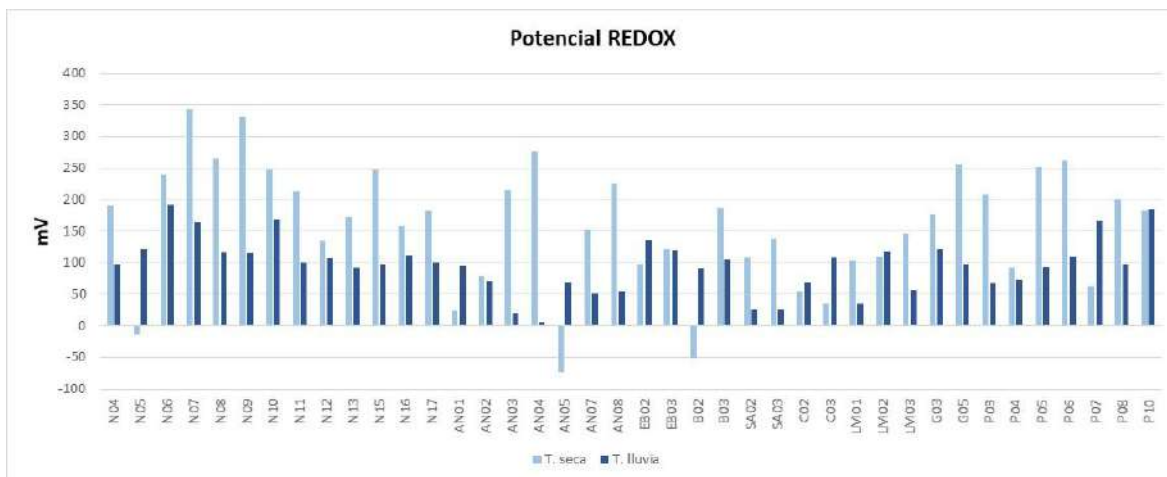


Figura 5.1.5.1.6 Comportamiento potencial REDOX: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

B. Datos de laboratorio

Para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial, se realizó la toma de muestras puntuales en los sitios definidos, aplicando técnicas de muestreo manual, preservación y transporte bajo condiciones controladas. Las muestras fueron analizadas en laboratorio mediante métodos estandarizados y reconocidos. Las metodologías empleadas, los límites de cuantificación, los sistemas de preservación de muestras y las normas técnicas de referencia se describen en el capítulo 2. Generalidades.

a. Turbidez, color y sólidos

La turbiedad, asociada directamente con la presencia de compuestos coloidales y sólidos suspendidos totales que permanecen en suspensión por repulsión electrostática, mostró un comportamiento variable entre temporadas. Durante la época seca, los valores oscilaron entre el límite de cuantificación de la técnica (<1NTU) y 1384 NTU en el punto B03, superando el límite normativo de 190 NTU¹ (Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.3.3.9.4) en los puntos B03, C03, C02 y B02. En la época húmeda, la turbiedad registró valores entre 1,45 NTU (P04) y 850 NTU (B03), evidenciándose nuevamente superaciones del valor normativo en los puntos N09, N06, N08, N07, N16, N17, N15, C03, P03, B03 y G03, en su mayoría asociados al río Nus.

¹ El valor límite de turbiedad (10 JTU) establecido en el Decreto 1076 del 2015 fue transformado de unidades, teniendo en cuenta que 1 JTU corresponde a 19 NTU.

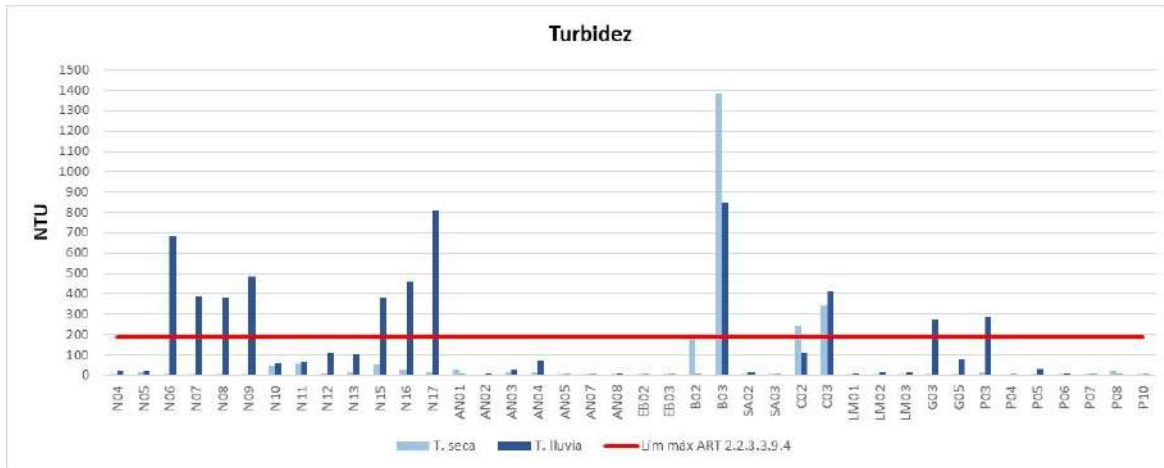


Figura 5.1.5.1.7 Comportamiento turbidez: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Respecto al color triestimular en el agua, se registraron valores entre 0,02 m^{-1} y 1,06 m^{-1} para la longitud de onda de 620 nm, 0,24 m^{-1} a 4,39 m^{-1} en la longitud de 436 nm y 0,07 m^{-1} a 1,86 m^{-1} en la longitud de onda de 525 nm⁻¹, resultados que permiten evidenciar que los cuerpos de agua presentan bajas concentraciones de sales solubles y de metales de transición como hierro y manganeso. La norma de referencia no fija límites normativos para este parámetro por lo cual no se emite juicio alguno.

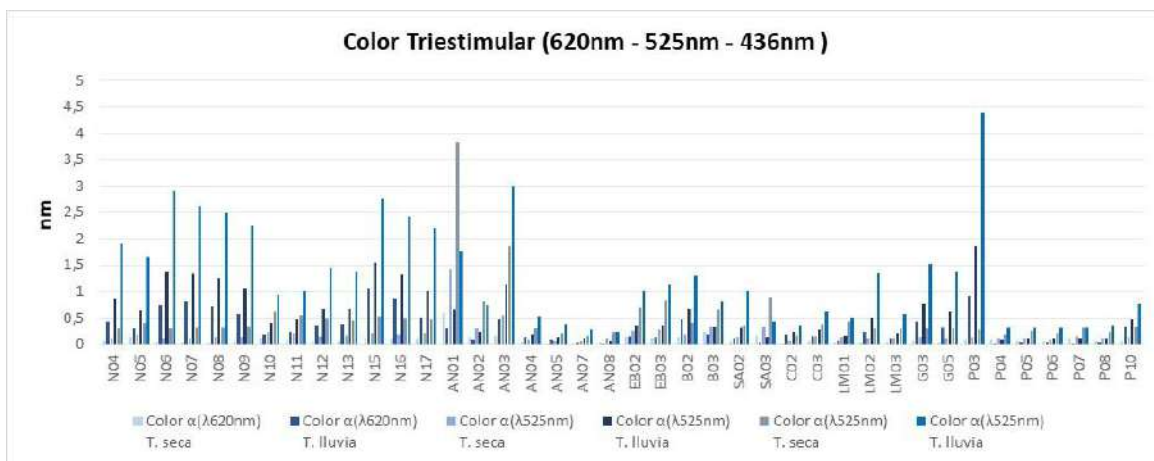


Figura 5.1.5.1.8 Comportamiento color triestimular: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En los puntos evaluados, los sólidos suspendidos totales (SST) presentaron concentraciones entre <4,0 mg/L y 1284 mg/L durante la época seca, y entre el límite de cuantificación (<4,0 mg/L) y 1168,57 mg/L en la época húmeda (véase Figura 5.1.5.1.11), comportamiento asociado principalmente a la erosión del suelo y a las variaciones en el

caudal y la velocidad del agua. Los sólidos sedimentables (SED) registraron valores entre $<0,1$ mL/L y $2,20$ mL/L en época seca, mientras que en época húmeda oscilaron entre $<0,1$ mL/L y $6,0$ mL/L (véase Figura 5.1.5.1.9). En cuanto a los sólidos disueltos totales (SDT), las concentraciones variaron entre $38,0$ mg/L y $246,0$ mg/L en la temporada seca, y entre <10 mg/L y $234,0$ mg/L en la temporada húmeda (véase Figura 5.1.5.1.10). La normativa referenciada no establece un límite máximo permisible.

Los resultados de sólidos sedimentables, muestran, de manera general, concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método (<1 mg/L) en la mayoría de los puntos monitoreados (véase Figura 5.1.5.1.9), lo cual es indicativo de una baja presencia de partículas con capacidad de sedimentación. El valor máximo registrado fue de 6 mL/L, observado de forma puntual, lo que sugiere un evento aislado de mayor aporte de material sedimentable.

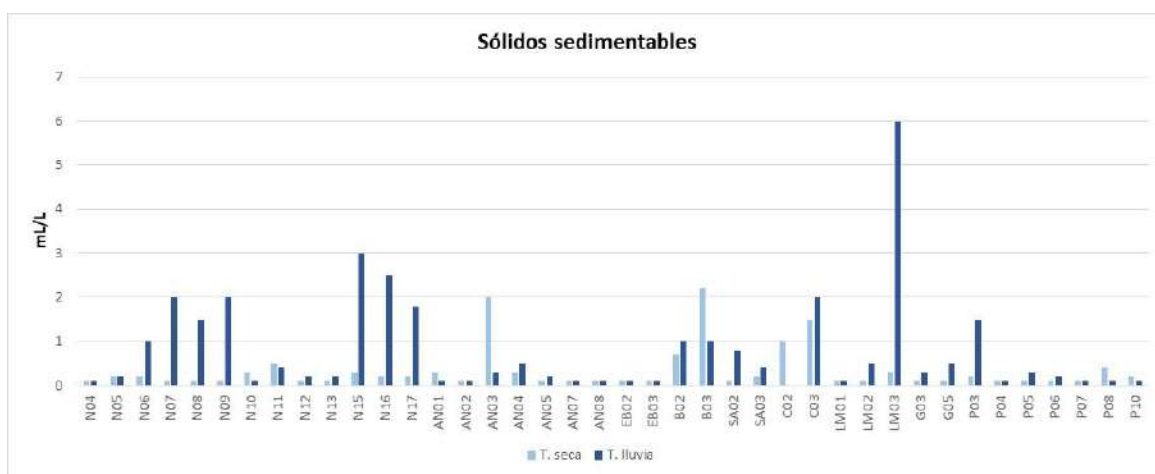


Figura 5.1.5.1.9 Comportamiento SED: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En la Figura 5.1.5.1.10 se observa que, en el río Nus y en las quebradas El Balsal, San Antonio y Guacas, los valores de sólidos disueltos no superan los 58 mg/L, manteniéndose muy homogéneos tanto en época seca como en época lluviosa. En general, estos valores son bajos y reflejan una baja mineralización en estos tramos. En contraste, en las demás fuentes hídricas monitoreadas se registran concentraciones más altas y, en algunos casos, una variabilidad marcada, especialmente en el afluente del río Nus, donde se presentan los contrastes más notorios entre puntos. Los valores más elevados se observaron en la quebrada La Colorada, donde se evidencia una mineralización significativamente mayor.

Cabe mencionar, de forma general, que los sólidos disueltos tienden a ser mayores en época seca debido a la menor dilución del caudal, lo cual favorece la concentración de sales y minerales en el agua.

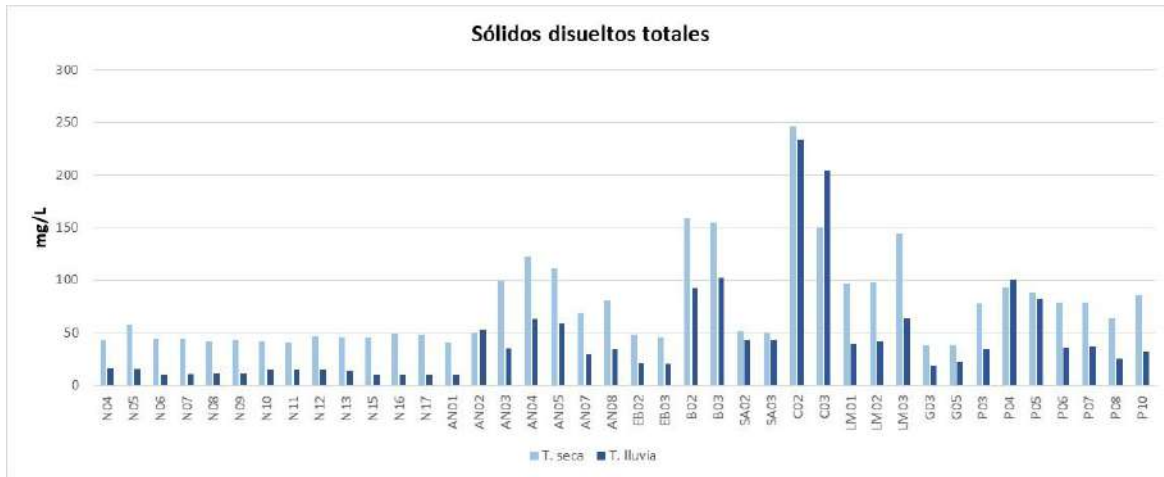


Figura 5.1.5.1.10 Comportamiento SDT: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

La Figura 5.1.5.1.11 muestra un incremento generalizado de los sólidos suspendidos totales durante la temporada de lluvias. Si bien varios puntos mantienen valores bajos en ambas temporadas, otros sitios particularmente B03, C02 y C03 presentan concentraciones elevadas que evidencian aportes significativos de material particulado. La variabilidad marcada entre puntos refleja la heterogeneidad de las condiciones locales y del régimen hidrológico de cada fuente hídrica.

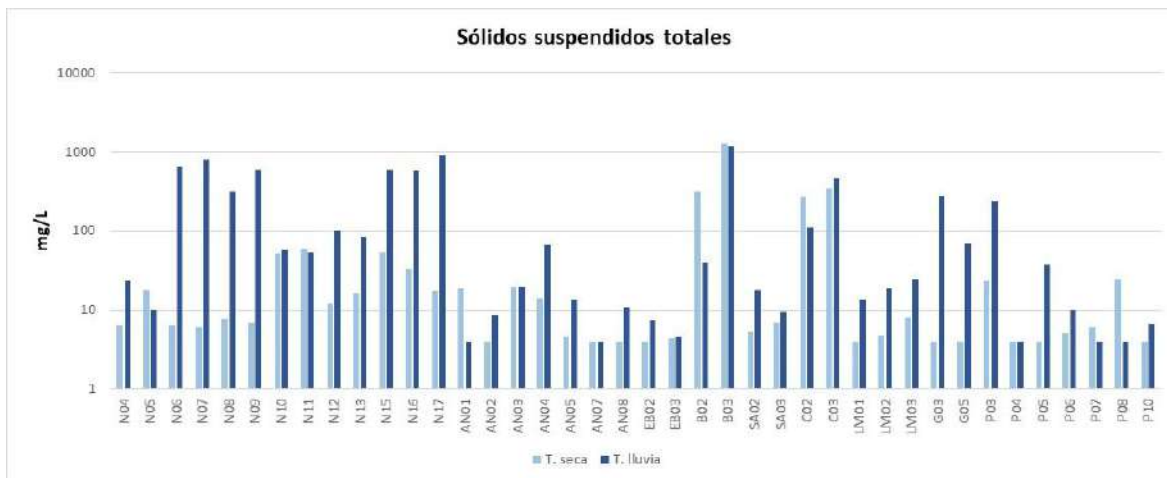


Figura 5.1.5.1.11 Comportamiento SST: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

b. Coliformes y E. Coli

A diferencia de los contaminantes químicos, la calidad bacteriológica del agua se evalúa mediante la presencia de coliformes, un grupo de bacterias comunes en el ambiente y en los seres vivos, cuya detección indica una posible contaminación del recurso hídrico.

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO
DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE

I-I-10719-HIDROLOGÍA-00-V2

Durante el periodo evaluado, los coliformes totales alcanzaron un valor máximo de 19180000 NMP/100 mL en el punto B02 durante la época seca y un valor máximo de 789000 NMP/100 mL en el punto C03 en época de lluvias (véase Figura 5.1.5.1.12).

La Figura 5.1.5.1.12 muestra el comportamiento de este parámetro frente a los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, evidenciando que en todos los puntos se superan los valores máximos permitidos tanto para desinfección y calidad del agua destinada al consumo humano y doméstico (art. 2.2.3.3.9.4), como para actividades recreativas con contacto primario (art. 2.2.3.3.9.7), con excepción del punto EB02 en época seca, que cumple con los criterios normativos.

También se identifican puntos que exceden todos los límites normativos tanto en época seca como en época de lluvias, evidenciando una condición de contaminación bacteriológica persistente y la presencia de aportes continuos de materia orgánica o cargas fecales; tal es el caso de los puntos asociados a la quebrada La Colorada (C02 y C03). En varios sitios, las concentraciones son superiores en época seca debido al menor caudal y la consecuente concentración de contaminantes, mientras que en otros se registran incrementos durante la temporada de lluvias, posiblemente relacionados con el arrastre de materia orgánica, la escorrentía superficial o el lavado de fuentes difusas. En general, los resultados indican niveles elevados y constantes de contaminación bacteriológica en la mayoría de los puntos evaluados.

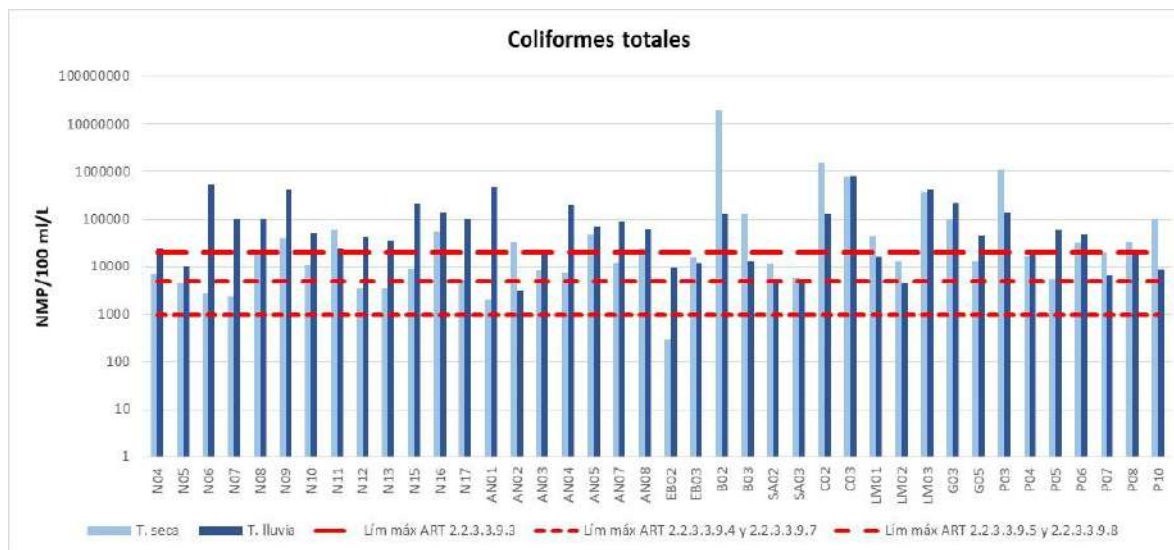


Figura 5.1.5.1.12 Comportamiento coliformes totales: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para los parámetros microbiológicos de origen fecal como los coliformes termotolerantes se registraron poblaciones entre 5,20 NMP/100mL y 23900 NMP/100mL en época seca y poblaciones entre 52,0 NMP/100mL y 441000 NMP/100mL en época lluviosa. en época lluviosa, evidenciándose de manera general incrementos significativos durante la época de lluvias, posiblemente asociados al arrastre de materia orgánica, escorrentía superficial y lavado de suelos.

La Figura 5.1.5.1.13 muestra el comportamiento de los coliformes termotolerantes frente a los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015 para distintos usos del recurso hídrico. En general, la mayoría de los puntos supera los valores máximos permitidos para tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico, y para uso agrícola (art. 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.5), así como para recreación con contacto primario (art. 2.2.3.3.9.7). Esta tendencia se presenta tanto en época seca como lluviosa, lo que indica que el recurso hídrico presenta una afectación fecal sostenida.

Algunos puntos de monitoreo asociados a la quebrada La Palestina (P03, P04, P06 y P07) presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método (<1 NMP/100 mL) durante la época seca, lo que sugiere una presencia mínima de contaminación fecal en estos tramos. No obstante, en época lluviosa estos mismos puntos registran concentraciones superiores a 100 NMP/100 mL e incluso por encima de 1.000 NMP/100 mL, lo que indica que las lluvias generan un aporte significativo de carga fecal.

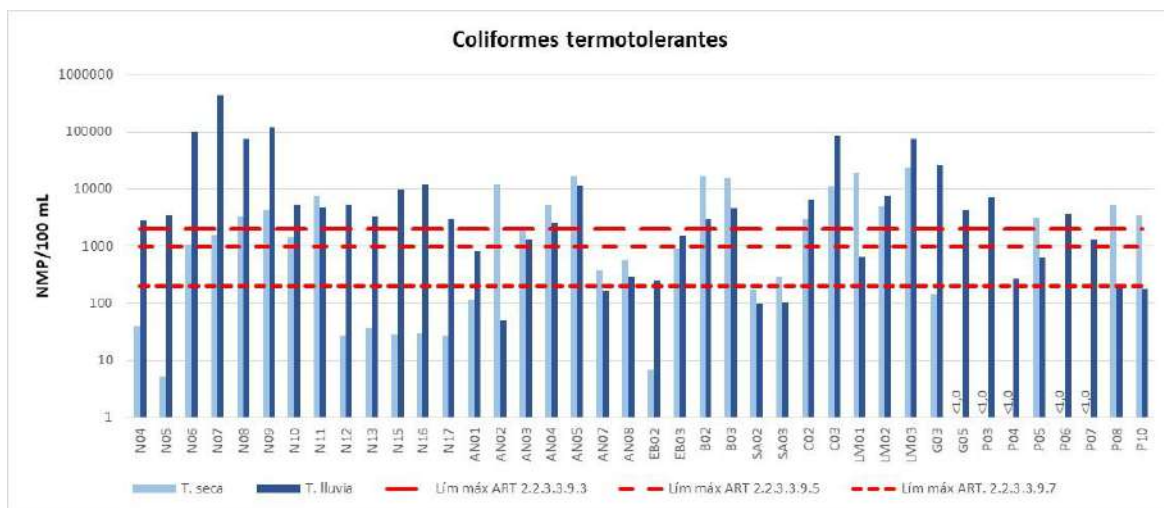


Figura 5.1.5.1.13 Comportamiento coliformes termotolerantes: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Finalmente, la *Escherichia coli* reporta concentraciones entre 1,00 y 6.300 NMP/100 mL en época seca y entre 24,10 y 3.538.000 NMP/100 mL en época lluviosa. Este comportamiento evidencia una marcada variabilidad estacional, con incrementos significativos durante la temporada de lluvias.

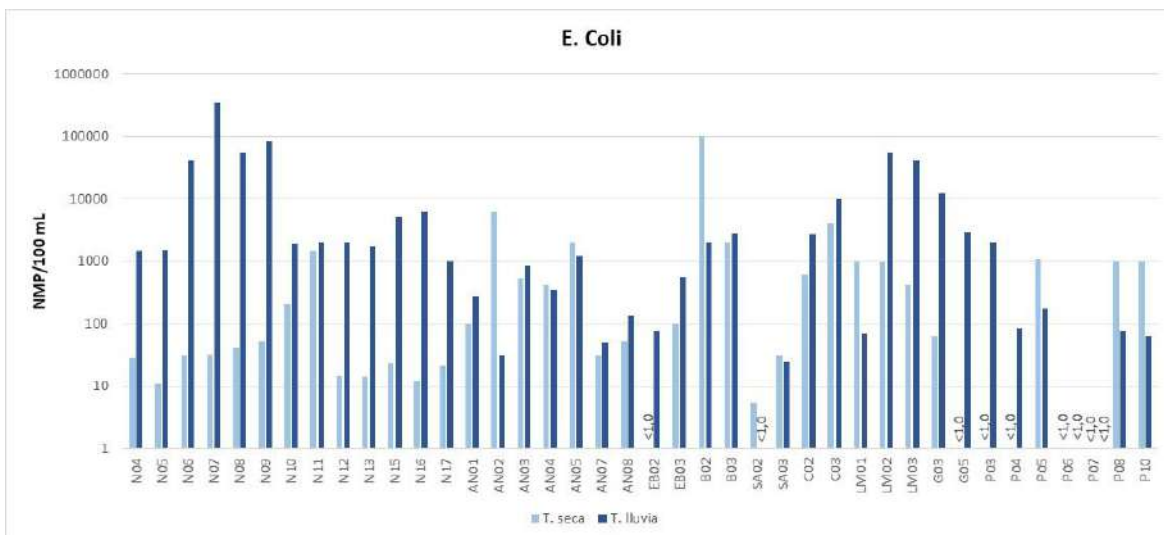


Figura 5.1.5.1.14 Comportamiento Coliformes totales: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

c. Acidez y alcalinidad

La alcalinidad representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos y estabilizar el pH, principalmente asociada a la presencia de bicarbonatos y carbonatos. En la campaña de época seca, los valores oscilaron entre 25,58 mg CaCO_3/L (N11) y 106,96 mg CaCO_3/L (LM03), mientras que en época lluviosa se registraron concentraciones entre 15,92 mg CaCO_3/L y 120,65 mg CaCO_3/L .

En la Figura 5.1.5.1.15 se observa que el río Nus (puntos N04–N17) y la quebrada Guacas (G03 y G05) presentan valores relativamente bajos, generalmente por debajo de 37 mg CaCO_3/L , siendo la época seca la que muestra concentraciones ligeramente superiores, lo cual es consistente con la menor dilución en periodos de estiaje.

En los puntos de la quebrada San Antonio (SA02 y SA03) y la quebrada El Banco (EB02 y EB03), las concentraciones se sitúan alrededor o ligeramente por encima de 40 mg CaCO_3/L , reflejando una capacidad buffer moderada, conforme a la clasificación de alcalinidad propuesta por Custodio & Llamas (1996).

Tabla 5.1.5.1.4 Clasificación de la alcalinidad

Clasificación	Alcalinidad (mg/L CaCO_3)
Muy baja	< 12,3
Baja	24,6 – 41
Media	41 – 98,4
Alta	98,4 – 147,6
Muy alta	> 147,6

Fuente: Custodio & Llamas, 1996

En contraste, los puntos localizados en la quebrada La María (LM01–LM03), así como en los tramos evaluados de la quebrada Balsal (C02–C03) y la quebrada La Palestina (P03–

P10), presentan valores significativamente más elevados, superando en varios casos los 80 mg CaCO_3/L y alcanzando hasta 120 mg CaCO_3/L , siendo estos sectores los de mayor alcalinidad dentro del área de estudio, reflejando una capacidad buffer entre moderada y alta (véase Tabla 5.1.5.1.4).

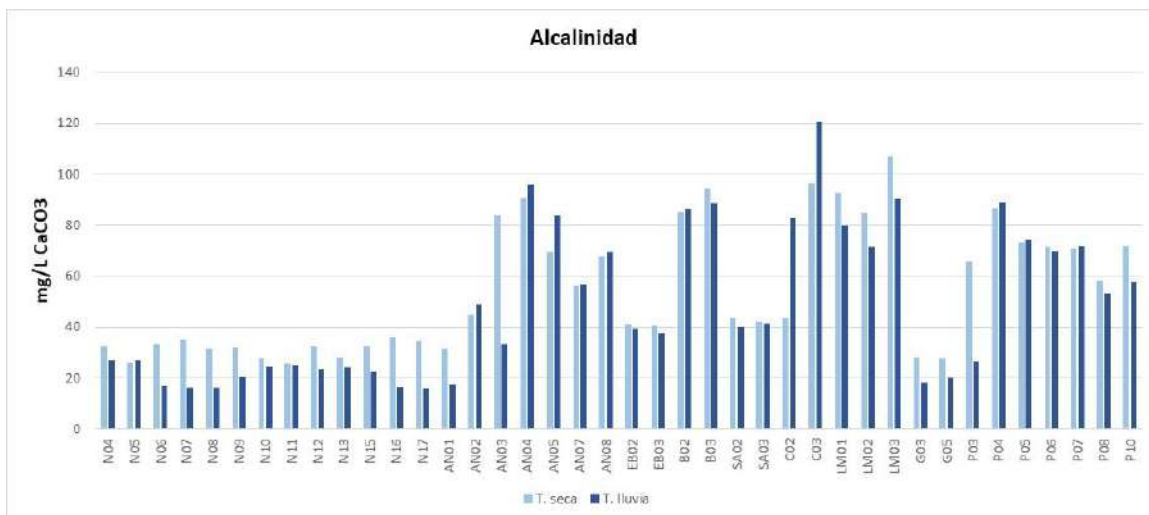


Figura 5.1.5.1.15 Comportamiento alcalinidad: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

La acidez del agua, entendida como su capacidad para neutralizar bases y ceder protones, presentó diferencias marcadas entre la temporada seca y la lluviosa. En época seca, los valores oscilaron entre 5,312 mg CaCO_3/L (N17) y un máximo de 38,409 mg CaCO_3/L (AN03); mientras que, en época lluviosa, las concentraciones variaron desde valores inferiores al límite de cuantificación del método (<5,00 mg CaCO_3/L) hasta 16,65 mg CaCO_3/L (G05).

En ambas temporalidades, la mayoría de los puntos muestreados se mantuvieron por debajo de 15 mg CaCO_3/L . En términos generales, la Figura 5.1.5.1.16 evidencia que la temporada seca concentra los mayores valores y la mayor dispersión de la acidez, mientras que durante la temporada de lluvias los valores tienden a ser más homogéneos y moderados.

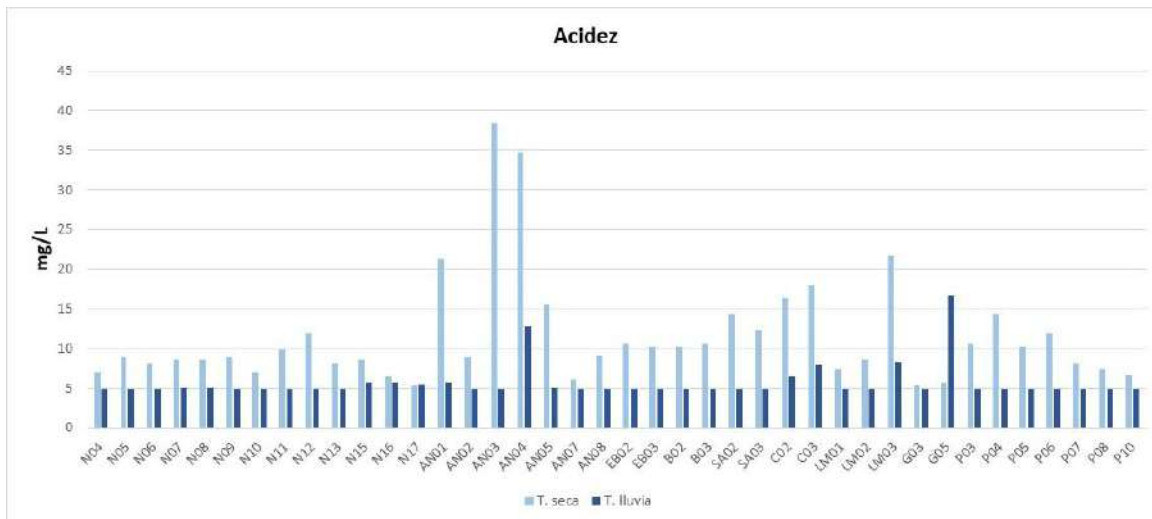


Figura 5.1.5.1.16 Comportamiento acidez: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

d. Cloruros, sulfatos y sulfuros

Las concentraciones de cloruros y sulfatos registradas en ambas temporadas se mantuvieron en rangos bajos y coherentes con los niveles de sustancias inorgánicas disueltas estimadas a partir de la conductividad. En época seca, los cloruros fluctuaron entre 0,27 y 6,49 mg/L, y los sulfatos entre 2,08 y 51,47 mg/L; mientras que en época lluviosa los cloruros variaron entre 1,66 y 8,92 mg/L, y los sulfatos entre 0,6 y 50,96 mg/L. Tal como se evidencia en la Figura 5.1.5.1.17 representada en escala logarítmica debido a la baja magnitud de las concentraciones, algunos puntos presentan valores ligeramente más altos (por ejemplo, B02, B03, C02 y C03), aunque sin acercarse a los límites máximos permisibles, establecidos en 250 mg/L para cloruros y 400 mg/L para sulfatos según los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015.

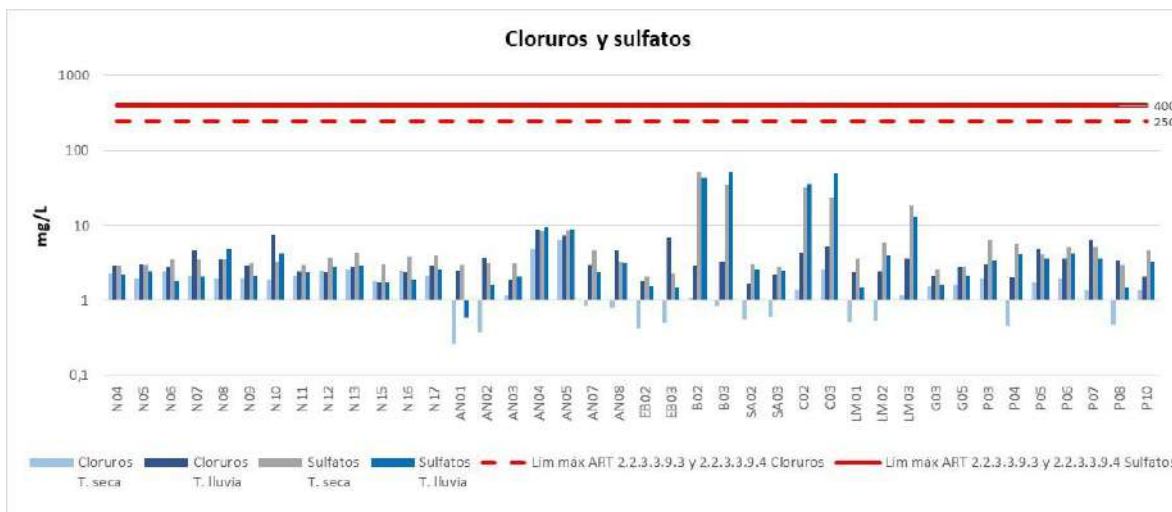


Figura 5.1.5.1.17 Comportamiento cloruros y sulfuros: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Con relación al parámetro sulfuro, se presentaron concentraciones muy bajas en la mayoría de los puntos monitoreados, registrándose valores por debajo del límite de cuantificación del método analítico ($<1 \text{ mg S}^{2-}/\text{L}$) tanto en época seca como en época lluviosa. Únicamente se observaron valores puntuales por encima del límite de cuantificación, como en N11 (1,36 mg/L en época seca y 1,04 en época lluviosa), EB02 (1,8 mg/L en época seca) y P10 (1,6 mg/L en época seca), los cuales corresponden a comportamientos puntuales y no reflejan una tendencia general en las fuentes evaluadas.

La Figura 5.1.5.1.18 muestra que las concentraciones de sulfuro de hidrógeno no ionizado son mayores durante la temporada seca, donde se observan algunos picos pronunciados en puntos específicos como AN03, AN04, EB03 y B03, indicando focos puntuales de acumulación probablemente asociados al arrastre de materia orgánica y al incremento de procesos anaerobios. En contraste, durante la temporada lluvia los valores se mantienen generalmente bajos y estables, lo que sugiere mejores condiciones de oxigenación y menor aporte de materia orgánica.



Figura 5.1.5.1.18 Comportamiento sulfuro de hidrógeno no ionizado: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

e. Carbono

El carbono orgánico disuelto (COD) y el carbono orgánico particulado (COP) presentaron bajas concentraciones en los cuerpos de agua analizados, lo que evidencia una limitada presencia de materia orgánica y una baja carga de aportes orgánicos. Para el COD se registraron valores entre 1 y 8 mg/L en época seca y entre 1 y 6 mg/L en época lluviosa, mientras que el COP osciló entre 0 y 4 mg/L en ambos periodos. Desde el punto de vista normativo, no se emite juicio de cumplimiento, dado que en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5, 2.2.3.3.9.6, 2.2.3.3.9.7, 2.2.3.3.9.8 y 2.2.3.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015 no se establecen límites para estos parámetros.

f. Clorofila

La distribución de clorofila **a**, **b** y **c** muestra un claro incremento durante la temporada lluviosa, donde la clorofila **a** registra los valores más altos y domina ampliamente sobre los demás pigmentos, especialmente en puntos como N15, N16, N17 y AN01 (véase Figura 5.1.5.1.19). Este comportamiento sugiere un mayor aporte de nutrientes y condiciones favorables para el crecimiento algal durante las lluvias, mientras que en la temporada seca las concentraciones se mantienen generalmente bajas. La variabilidad observada entre estaciones indica la presencia de zonas con mayor intensidad de actividad algal.

Las concentraciones de clorofila **b** y **c** son generalmente más bajas y en muchos puntos resultan no cuantificables en una o ambas temporadas (véase Figura 5.1.5.1.19), lo que es común debido a su menor abundancia relativa en el fitoplancton.

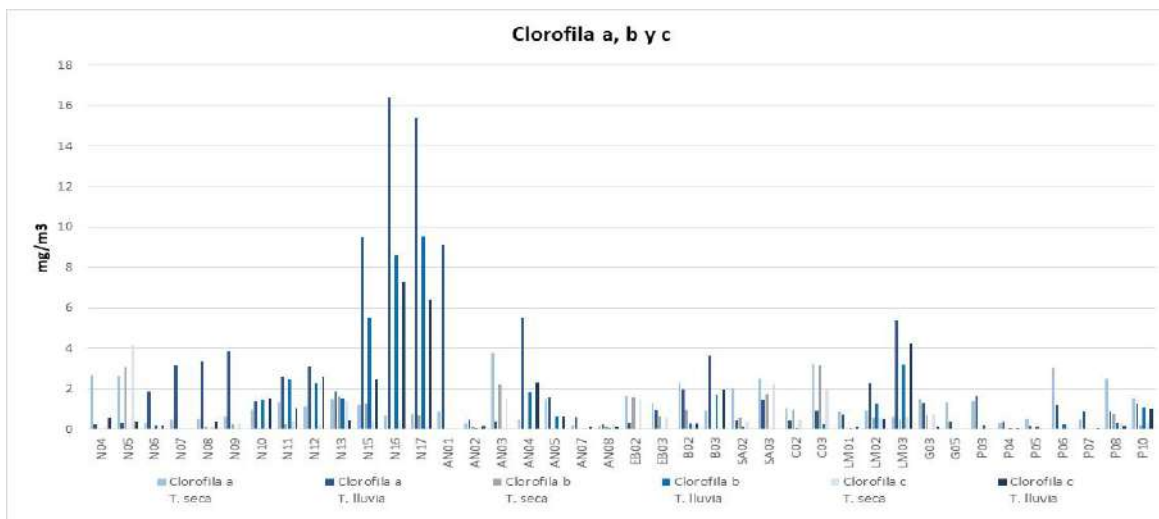


Figura 5.1.5.1.19 Comportamiento clorofila: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

g. Dureza

La dureza total está determinada por la concentración de iones calcio y magnesio presentes en el agua. Según la clasificación propuesta en *Calidad del Agua* (Romero, 2009), las muestras evaluadas se ubicaron entre las categorías de agua “blanda” y “muy dura”, comportamiento directamente relacionado con el contenido de estos iones (véase Tabla 5.1.5.1.5). En los cuerpos de agua analizados, la dureza total registró valores entre 15,4 mg/L CaCO_3 y 184,8 mg/L CaCO_3 durante la época seca, y entre 11 mg/L CaCO_3 y 180 mg/L CaCO_3 en época de lluvias. Por su parte, la dureza cálcica presentó concentraciones entre 10,6 mg/L CaCO_3 y 160,6 mg/L CaCO_3 en temporada seca, y entre 6,6 mg/L CaCO_3 y 140,2 mg/L CaCO_3 durante la temporada lluviosa.

Tabla 5.1.5.1.5 Clasificación de las aguas según su dureza

Clasificación	Dureza Total (mg/L)
Blanda	0 - 60
Moderadamente dura	61 – 120
Dura	121 - 180
Muy Dura	>180

Fuente: Romero, 2009

Acorde con la Figura 5.1.5.1.20, los valores de dureza en el agua de la mayoría de las fuentes monitoreadas se clasifican dentro del rango de aguas “blandas”, lo que indica bajas concentraciones de iones calcio y magnesio en la mayor parte del área evaluada. Sin embargo, se observan incrementos importantes en algunas fuentes puntuales, particularmente en la quebrada El Balsal (B02 y B03) y en la quebrada La Colorada (C02 y C03), donde se registran los valores más altos tanto de dureza cálcica como de dureza total, en especial durante la temporada seca. Asimismo, la comparación entre temporadas muestra que, aunque el comportamiento general es similar, durante la época seca los valores tienden a ser ligeramente superiores.

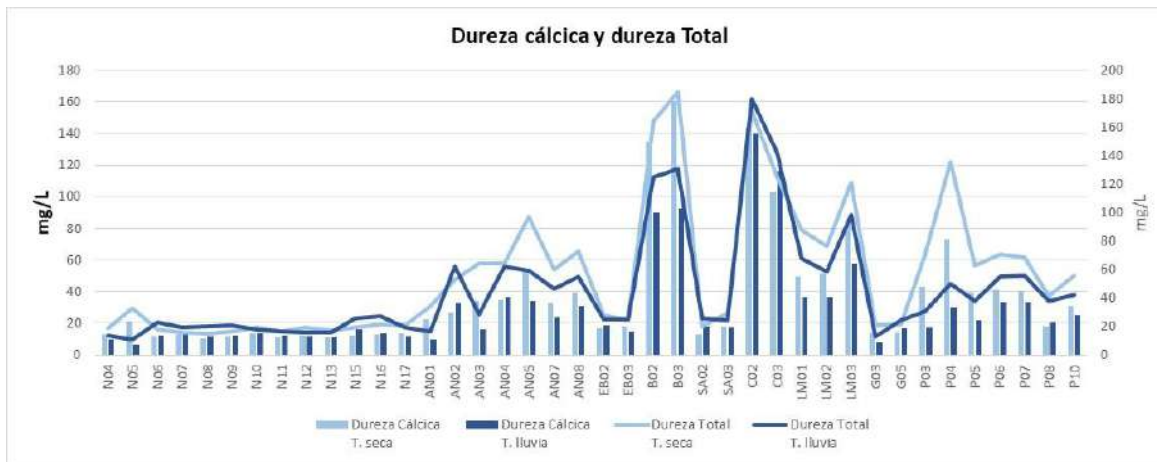


Figura 5.1.5.1.20 Comportamiento dureza cálcica y total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

h. Hidrocarburos y Grasas y Aceites

Los compuestos orgánicos, como las grasas, aceites e hidrocarburos totales, se registraron en la mayoría de los puntos en valores cercanos o inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica ($<0,02$ mg/L), lo que indica una baja afectación del recurso hídrico por estos parámetros y favorece el paso de la luz, así como el desarrollo de los procesos fisicoquímicos y fotosintéticos. Normativamente, las grasas y aceites se clasifican como “indeterminadas” según los artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico y 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, del Decreto 1076 de 2015, dado que este establece un criterio cualitativo, no directamente comparable con los resultados cuantitativos reportados por el laboratorio.

En la Figura 5.1.5.1.21 se identificaron valores atípicos puntuales, principalmente en AN01, AN04, C03 y P05 durante la temporada seca, con concentraciones notablemente superiores al resto de los puntos. Este comportamiento aislado puede estar asociado a aportes localizados y discontinuos, por lo que no es representativo de la condición general de los cuerpos de agua monitoreados.

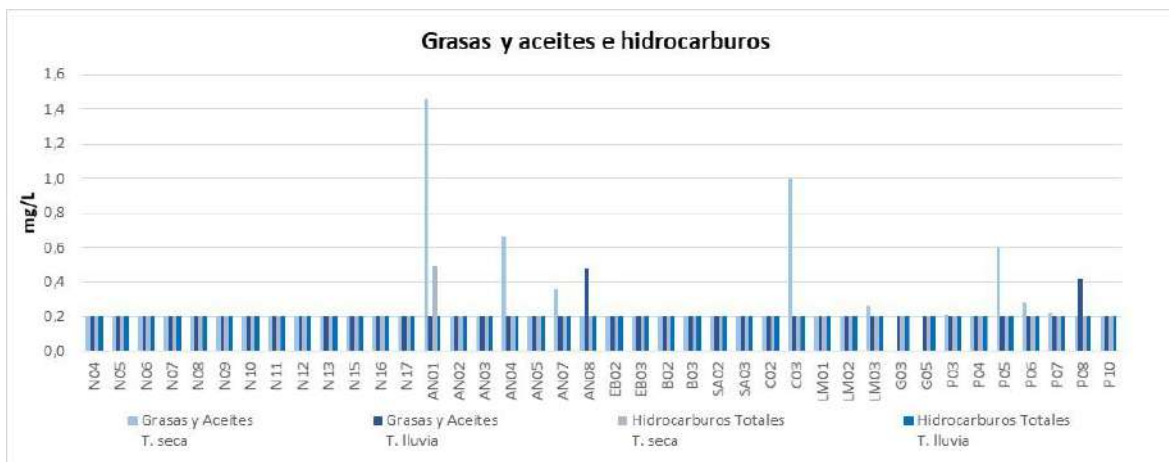


Figura 5.1.5.1.21 Comportamiento grasas y aceites e hidrocarburos: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

i. Detergentes

Los detergentes, cuyo carácter tensioactivo puede reducir la oxigenación del agua y generar afectaciones en la biota acuática, no representan un riesgo en los puntos evaluados. Tanto en época seca como en época lluviosa, las concentraciones registradas se ubicaron en el límite de cuantificación del método analítico ($<0,30$ mg/L), lo que evidencia una presencia mínima o nula. Asimismo, estos resultados cumplen con los límites establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico, 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, 2.2.3.3.9.7 Recreativo contacto primario y 2.2.3.3.9.8 Recreativo contacto primario, del Decreto 1076 de 2015.

j. Compuestos Halogenados Absorbibles (AOX)

En general, se registraron bajas concentraciones del parámetro, con valores que en época seca oscilaron entre el límite de cuantificación de la técnica analítica ($<0,05$ mg/L) y $0,24$ mg/L (N15 y N16). Durante la época de lluvias, las concentraciones variaron desde dicho límite hasta $0,07$ mg/L en los puntos P10, G05, SA03 y P03. Estos resultados indican que la afectación de los cuerpos de agua evaluados por este parámetro es mínima.

k. Fenoles

La concentración de los fenoles registró valores inferiores a los límites de cuantificación utilizados para su detección de $<0,10$ mg/L, por lo cual indicaría poca o nula presencia de estos compuestos en los cuerpos de agua analizados. Por otra parte, las normativas referenciadas en el presente estudio no proporcionan un límite comparativo para dicho parámetro.

l. Fluoruros

El fluoruro, un ion común en aguas naturales cuya presencia en exceso puede generar riesgos para la salud y el ambiente, mostró en el área de estudio concentraciones bajas en ambas temporadas monitoreadas (véase Figura 5.1.5.1.22). Durante la época seca, los

valores se mantuvieron entre el límite de cuantificación de la técnica analítica ($<0,05$ mg/L) y $0,10$ mg/L, cumpliendo con el límite establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015. En la época lluviosa, las concentraciones oscilaron entre $<0,05$ mg/L y $0,71$ mg/L (registrado en el punto C02), evidenciando una afectación mínima o nula por este compuesto y manteniéndose igualmente dentro de los parámetros normativos vigentes.

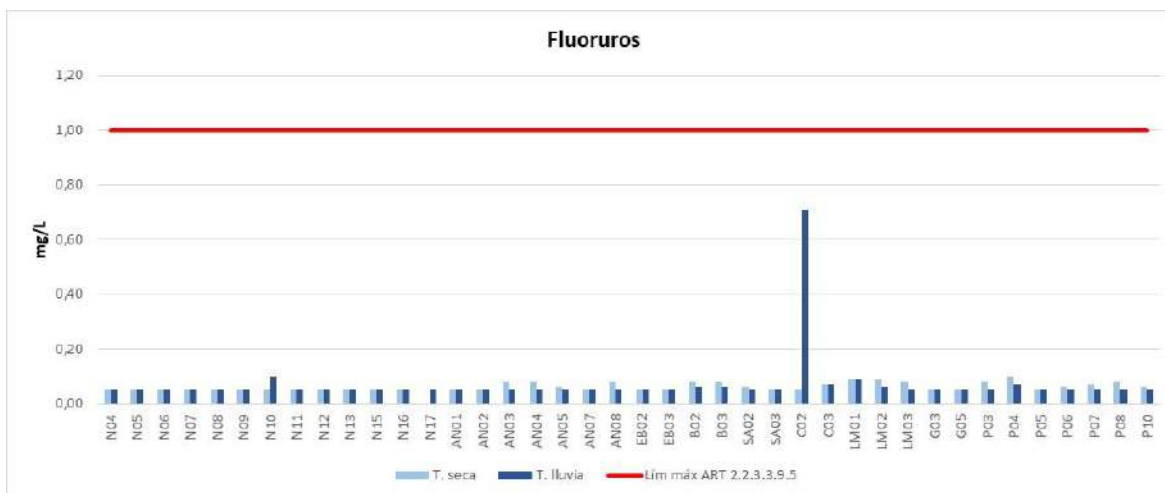


Figura 5.1.5.1.22 Comportamiento Fluoruros: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

m. Compuestos fosforados

El fósforo (P) es un elemento fundamental en numerosos procesos biológicos y, en sus formas químicas como los fosfatos, constituye un nutriente esencial para la flora acuática. Durante la época seca, las concentraciones de fósforo total en los puntos evaluados oscilaron entre el límite de cuantificación de la técnica analítica ($<0,05$ mg P/L) y $0,85$ mg P/L (P05), lo que sugiere una mínima eutrofización en los sistemas acuáticos analizados. En la época lluviosa, los valores registrados se mantuvieron entre el límite de cuantificación y $0,53$ mg P/L (C03), evidenciando igualmente un bajo nivel de aporte de fósforo y una afectación reducida en términos de eutrofización.

De manera puntual, en la Figura 5.1.5.1.23 se identifican incrementos aislados en algunos puntos de muestreo, principalmente en P05, SA02, B03, C03 y AN04, sin que estos picos se repitan de forma generalizada en el resto de las estaciones. En términos espaciales, la mayoría de los puntos presentan concentraciones bajas y relativamente homogéneas entre ambas temporadas, lo que sugiere que no existe un aporte continuo o significativo de fósforo en las fuentes de agua.

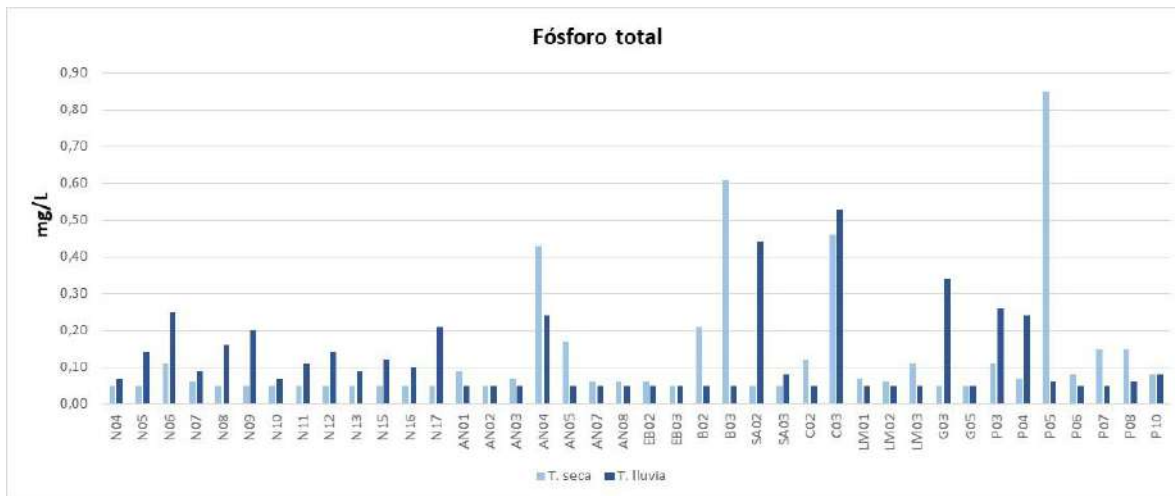


Figura 5.1.5.1.23 Comportamiento fósforo total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Los ortofosfatos, compuestos aniónicos derivados del fósforo, registraron en ambas temporalidades concentraciones iguales al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada por el laboratorio ($<0,065$ mg/L). Como excepción, durante la época seca se presentó un valor detectable en el punto AN04 (0,106 mg/L). Desde el punto de vista normativo, no se emite juicio sobre este parámetro, dado que la normativa objeto de estudio no establece límites para los ortofosfatos.

n. Compuestos nitrogenados

El nitrógeno en el agua se presenta principalmente como amoníaco, nitritos y nitratos, y en exceso puede favorecer procesos de eutrofización. En época seca, los nitritos variaron entre el límite de cuantificación ($<0,152$ mg/L) y 0,6069 mg N-NO₂/L, y los nitratos entre el límite de cuantificación (0,0113 mg/L) y 8,8875 mg N-NO₃/L, sin exceder los límites del Decreto 1076 de 2015 (véase Figura 5.1.5.1.24 y Figura 5.1.5.1.25). En época lluviosa, los nitritos oscilaron entre el límite de cuantificación y 0,246 mg N-NO₂/L, mientras que los nitratos se ubicaron entre valores inferiores al límite de cuantificación y 11,8909 mg N-NO₃/L; este último valor, registrado en el punto C02, supera los límites establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 (véase Figura 5.1.5.1.24 y Figura 5.1.5.1.25), destacándose como un dato atípico dentro del conjunto de monitoreo.

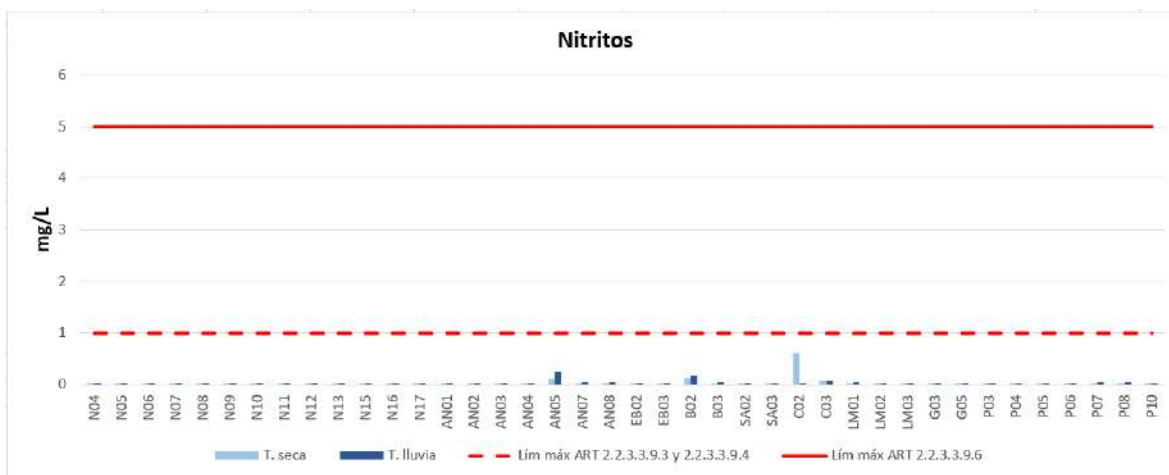


Figura 5.1.5.1.24 Comportamiento nitritos: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

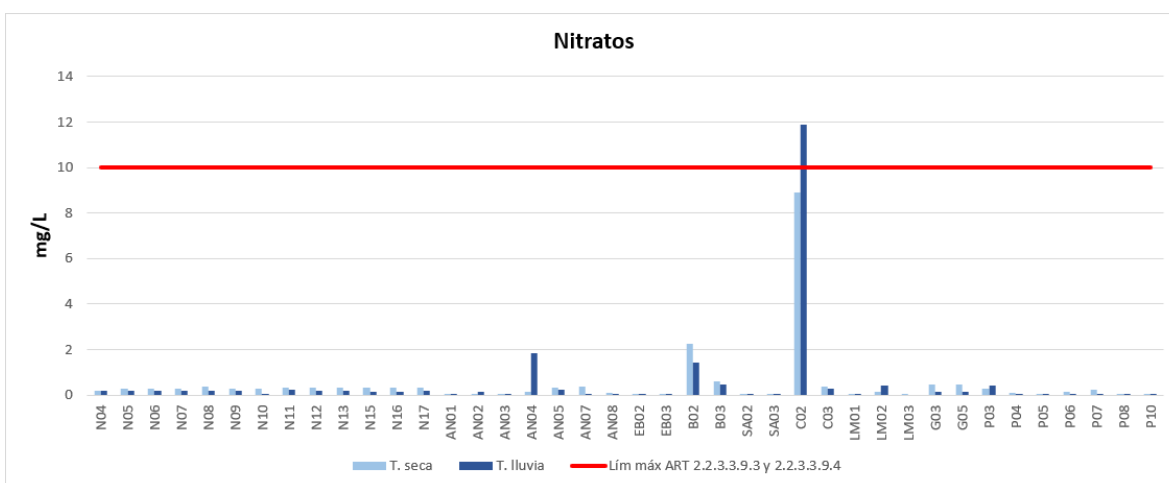


Figura 5.1.5.1.25 Comportamiento nitratos: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El nitrógeno total Kjeldahl presentó en época seca el límite de cuantificación del método ($<5,0$ mg/L) en el 94% de las muestras, mientras que en época lluviosa este porcentaje fue del 95%, evidenciando que su presencia es mínima o nula en la mayoría de los puntos monitoreados. El nitrógeno amoniacal registró concentraciones que oscilaron entre el límite de cuantificación (<1 mg/L) y $4,928$ mg N-NH_3 /L en época seca (G05), y entre el mismo límite y $4,734$ mg N-NH_3 /L en época lluviosa (AN04). En ambos casos no se emite juicio normativo debido a que la regulación vigente no establece límites para estos parámetros.

o. BTEX, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's), pesticidas organoclorados, pesticidas organofosforados y bifenilos policlorados

Para estos compuestos, todos los resultados se encontraron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica empleada por el laboratorio, tanto en época seca como en época lluviosa.

- BTEX: <0,0005 mg/L
- HAP's: <0,0003 mg/L
- Pesticidas organoclorados: <0,000047 mg/L
- Pesticidas organofosforados: <0,000176 mg/L
- Bifenilos policlorados: <0,000094 mg/L

Estos resultados indican que la presencia de estos compuestos en los puntos evaluados es mínima o no detectable. En el caso específico de los bifenilos policlorados, los valores reportados por debajo del límite de cuantificación confirman una concentración nula o muy baja, cumpliendo con el criterio de “no detectable” establecido en los artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico y 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, del Decreto 1076 de 2015.

p. Cianuro libre y cianuro total

El cianuro total registró en la mayoría de los puntos evaluados valores iguales al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada (<0,01 mg/L), lo que indica una presencia mínima o nula. Sin embargo, en el punto B02 se observaron concentraciones de 0,239 mg CN/L en época seca y 0,43 mg CN/L en época lluviosa, valores que superan los límites establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico y 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, del Decreto 1076 de 2015. Por su parte, el cianuro libre, también presentó en la mayoría de los puntos valores por debajo del límite de cuantificación (<0,02 mg/L). No obstante, en el punto B02 se registró una concentración de 0,24 mg CN/L en época seca. Durante la época lluviosa, los puntos B02 (0,28 mg/L), B03 (0,09 mg/L) y C03 (0,06 mg/L) reportaron valores superiores al límite de cuantificación del método, evidenciando incrementos puntuales en estos sitios.

q. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ mostró variaciones importantes entre las dos temporalidades. En época seca, las concentraciones oscilaron entre 5,48 mg O₂/L (N04) y 30,75 mg O₂/L (N08), mientras que en época lluviosa se registraron valores desde el límite de cuantificación del método (<2,00 mg O₂/L) en N04 hasta 210,00 mg O₂/L en N17 (véase Figura 5.1.5.1.26). Estas variaciones se relacionan con las condiciones hidrológicas propias de cada temporada: durante la época seca, la disminución del caudal favorece la concentración de contaminantes y, en consecuencia, un incremento de la DBO₅ debido a la mayor disponibilidad de materia orgánica para su descomposición; en contraste, en época lluviosa, los episodios de escorrentía y el arrastre de material orgánico pueden generar aumentos puntuales en este parámetro.

La comparación entre la DBO₅ y la relación DBO soluble/DBO₅ evidencia que la mayor parte de la materia orgánica presente en los puntos evaluados corresponde a la fracción soluble

y fácilmente biodegradable, especialmente en época seca (véase Figura 5.1.5.1.26). Durante la época lluviosa se observan reducciones en esta relación en varios puntos, asociadas al arrastre de material particulado por escorrentía. Los puntos con mayores valores de DBO₅, como N15, N16 y N17, presentan proporciones solubles menores, lo que indica aportes significativos de materia orgánica particulada o de degradación lenta (véase Figura 5.1.5.1.26).

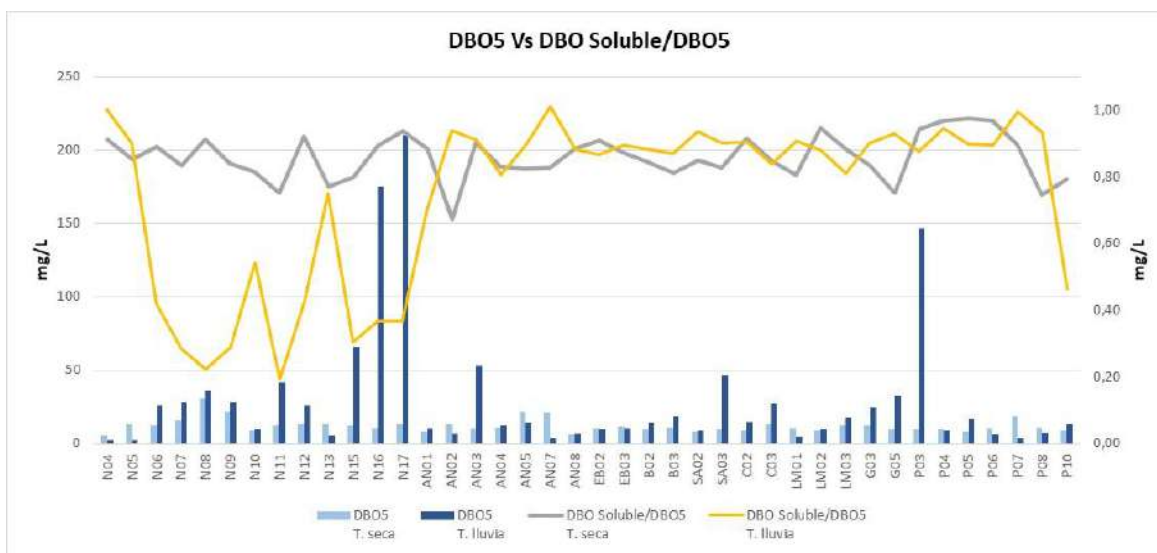


Figura 5.1.5.1.26 Comportamiento DBO5: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

r. Demanda Química de Oxígeno (DBQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), indicador de la carga de materia orgánica presente en el agua, registró en ambas temporadas valores generalmente bajos, cercanos al límite de cuantificación del método analítico (<25 mg/L). Sin embargo, se identifican algunos valores atípicos que sobresalen notablemente en la Figura 5.1.5.1.27, particularmente en los puntos N16, N17 y P03 durante la época lluviosa, donde se observan incrementos pronunciados que alcanzan hasta 670 mg O₂/L. Estos picos sugieren aportes puntuales de materia orgánica, lo que contrasta con el comportamiento estable del resto de los puntos. Dado que el Decreto 1076 de 2015 no establece límites normativos para la DQO en aguas superficiales, no se emite un juicio de cumplimiento.

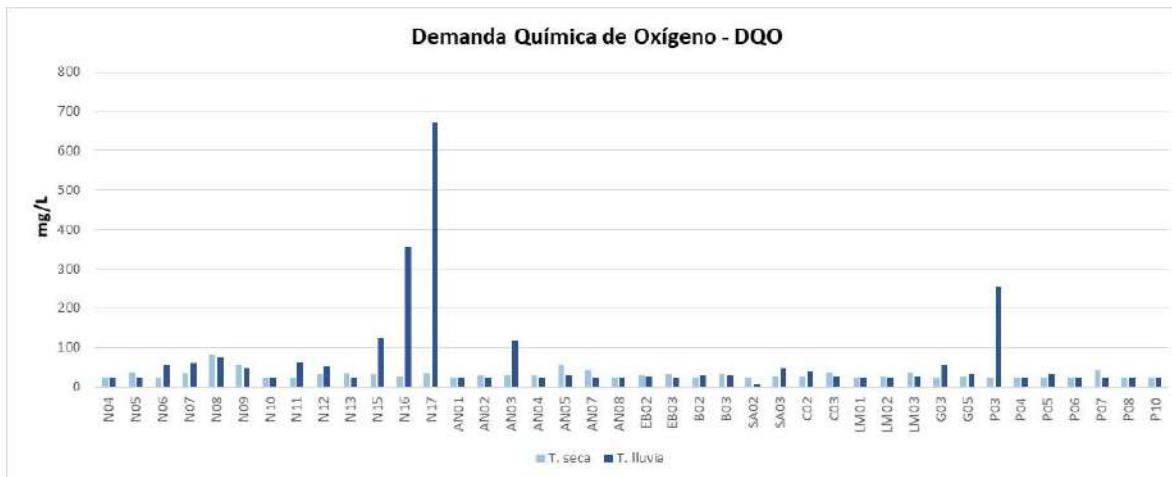


Figura 5.1.5.1.27 Comportamiento DQO: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

s. Sílice

La sílice (SiO_2) es un mineral común en las rocas y sedimentos, y su concentración en las aguas superficiales puede variar dependiendo de factores geológicos, climáticos y estacionales. El análisis de las concentraciones de sílice en las fuentes monitoreadas revela una falta de uniformidad en los datos obtenidos en las dos temporalidades, lo que sugiere que no existen patrones claros que puedan explicar completamente las variaciones observadas entre los distintos puntos de muestreo. Aunque en general se observa que las concentraciones de sílice son considerablemente más altas en la temporada lluviosa en algunos puntos, como AN07 y LM01, que alcanzan valores máximos de 46,84 mg SiO_2/L y 37,88 mg SiO_2/L , respectivamente, en otros puntos las concentraciones permanecen más bajas o incluso por debajo del límite de cuantificación del método (<4,28 mg SiO_2/L), lo que refleja una gran heterogeneidad en los datos.

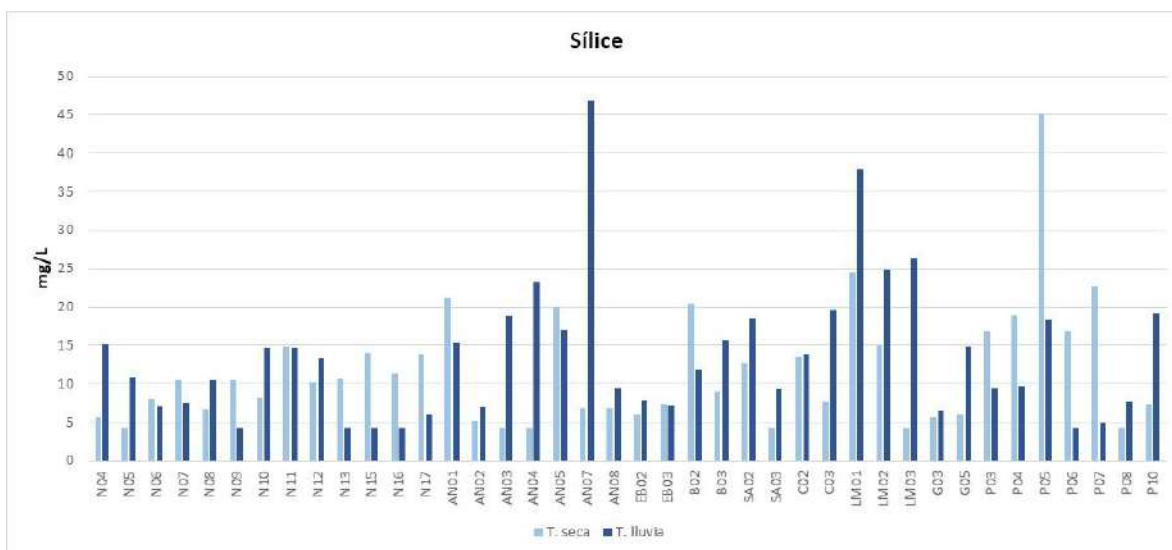


Figura 5.1.5.1.28 Comportamiento Sílice: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

t. Mercurio orgánico

El mercurio orgánico presentó valores por debajo del límite de cuantificación del método analítico ($<0,001$ mg/L) en todos los puntos muestreados tanto en la temporada seca como en la lluviosa, lo que evidencia una presencia mínima o no aparente de este compuesto en las fuentes superficiales monitoreadas.

u. Cromo hexavalente

El cromo hexavalente registró, en ambas temporalidades monitoreadas, concentraciones iguales al límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada por el laboratorio ($<0,01$ mg/L) en todos los puntos evaluados, lo que indica una presencia mínima o nula de este compuesto. Desde el ámbito normativo, el cromo hexavalente cumple con los requerimientos establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico y 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario y 2.2.3.3.9.6 Protección vida acuática, del Decreto 1076 de 2015.

v. Metales

En general, durante las dos temporalidades evaluadas, los metales mencionados a continuación cumplen con los requerimientos fijados en la normatividad de referencia (Decreto 1076 de 2015). En época seca, los rangos obtenidos fueron: antimonio ($<0,0030$ – $0,02$ mg/L), arsénico ($<0,0030$ – $0,01$ mg/L), bario ($<0,090$ – $0,18$ mg/L), bismuto ($<0,00003$ – $0,04$ mg/L), calcio ($4,55$ – $64,30$ mg/L), boro ($<0,090$ – $0,106$ mg/L), cobalto ($<0,0030$ – $0,01$ mg/L), estaño ($<0,0030$ – $0,02$ mg/L), estroncio ($0,04$ – $0,53$ mg/L), litio ($<0,003$ mg/L), magnesio ($1,19$ – $17,72$ mg/L), mercurio ($<0,0003$ – $0,01$ mg/L), níquel ($<0,0030$ – $0,02$ mg/L), plata ($<0,003$ – $0,04$ mg/L), potasio ($0,91$ – $5,04$ mg/L), silicio ($1,15$ – $21,07$ mg/L), sodio ($3,76$ – $45,97$ mg/L), vanadio ($<0,00300$ – $0,03$ mg/L) y zinc ($<0,0900$ – $0,12$ mg/L). En época lluviosa, los valores fluctuaron dentro de rangos similares: arsénico ($<0,0030$ – $0,0142$ mg/L), bario ($<0,090$ – $0,220$ mg/L), calcio ($4,00$ – $65,20$ mg/L), cobalto ($<0,0030$ – $0,194$ mg/L), cromo ($<0,0030$ – $0,1240$ mg/L), estaño ($<0,0030$ – $0,02$ mg/L), estroncio ($0,185$ – $0,8200$ mg/L), litio ($<0,003$ – $0,0060$ mg/L), magnesio ($1,06$ – $10,40$ mg/L), mercurio ($<0,0003$ – $0,002$ mg/L), níquel ($<0,0030$ – $0,03$ mg/L), potasio ($1,42$ – $17,70$ mg/L), silicio ($1,11$ – $21,89$ mg/L), sodio ($2,91$ – $58,00$ mg/L), vanadio ($<0,00300$ – $0,0900$ mg/L) y zinc ($<0,0900$ – $0,901$ mg/L).

Respecto al aluminio, en época seca se registraron valores entre el límite de cuantificación de la técnica analítica ($<0,09$ mg/L) y $1,982$ mg/L, cumpliendo con los límites establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario y 2.2.3.3.9.6 Protección vida acuática, del Decreto 1076 de 2015 (véase Figura 5.1.5.1.29). Por su parte, durante la época lluviosa, los puntos N09, N06, N08, N07, N16, N17, P03, AN01, B02, B03 y G03 presentaron concentraciones que superan los límites fijados por dicha normativa (véase Figura 5.1.5.1.29).

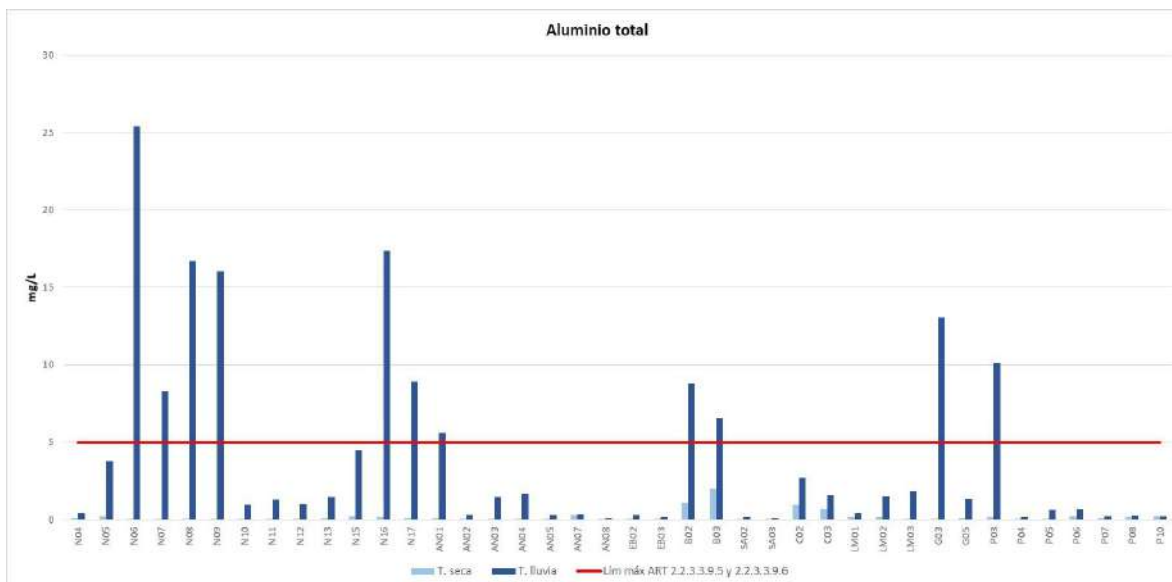


Figura 5.1.5.1.29 Comportamiento aluminio total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En época seca, el cadmio registró valores entre el límite de cuantificación del método analítico ($<0,003$ mg/L) y $0,004$ mg/L en el punto LM03. En esta misma temporalidad, el punto B02 presentó una concentración de cobre de $1,13$ mg/L, superando los límites establecidos en la normatividad vigente para dicho parámetro. Por su parte, en época lluviosa, el punto B02 reportó una concentración de cadmio de $0,0202$ mg/L, excediendo los límites fijados en los artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico, 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario y 2.2.3.3.9.6 Protección vida acuática. En este mismo punto (B02), el cobre también superó los límites establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico, 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario y 2.2.3.3.9.6 Protección vida acuática. Adicionalmente, los puntos B03 y C03 presentaron concentraciones de cobre por encima de los límites establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario y 2.2.3.3.9.6 Protección vida acuática, y en el artículo 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario, respectivamente.

En época seca, los puntos AN03, B03, C03, AN01 y B02 registraron concentraciones de hierro que superan el límite establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 (véase Figura 5.1.5.1.30). Durante la época lluviosa, los puntos N05, N09, N06, N08, N07, N16, N17, N15, C03, P03, G03, B02 y B03 también presentaron concentraciones por encima de dicho límite (véase Figura 5.1.5.1.30).

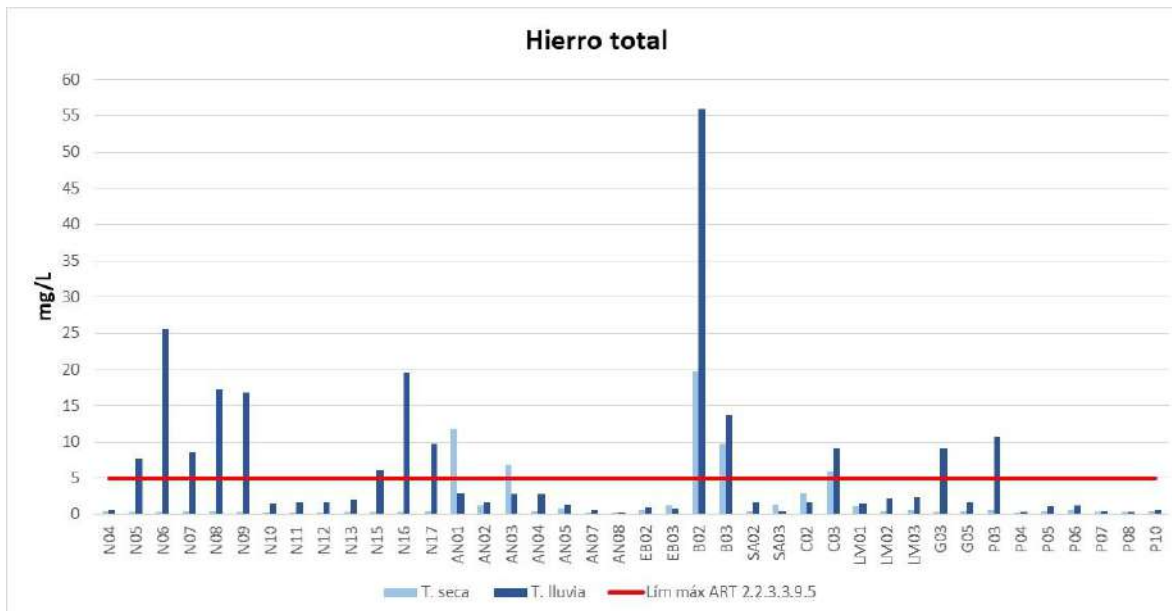


Figura 5.1.5.1.30 Comportamiento hierro total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En época seca, los puntos AN03, AN04, B02, B03, C02, C03 y LM03 registraron concentraciones de manganeso que superan los límites establecidos en el artículo 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario del Decreto 1076 de 2015. (véase Figura 5.1.5.1.20). Por su parte, en la época lluviosa, los puntos N05, N09, N06, N08, N16, N17, C03, P03, B02, B03, AN04, AN02 y C02 también presentaron concentraciones por encima de dichos límites, alcanzándose en esta temporada el valor máximo registrado, con 2,62 mg/L en el punto B02 (véase Figura 5.1.5.1.20).

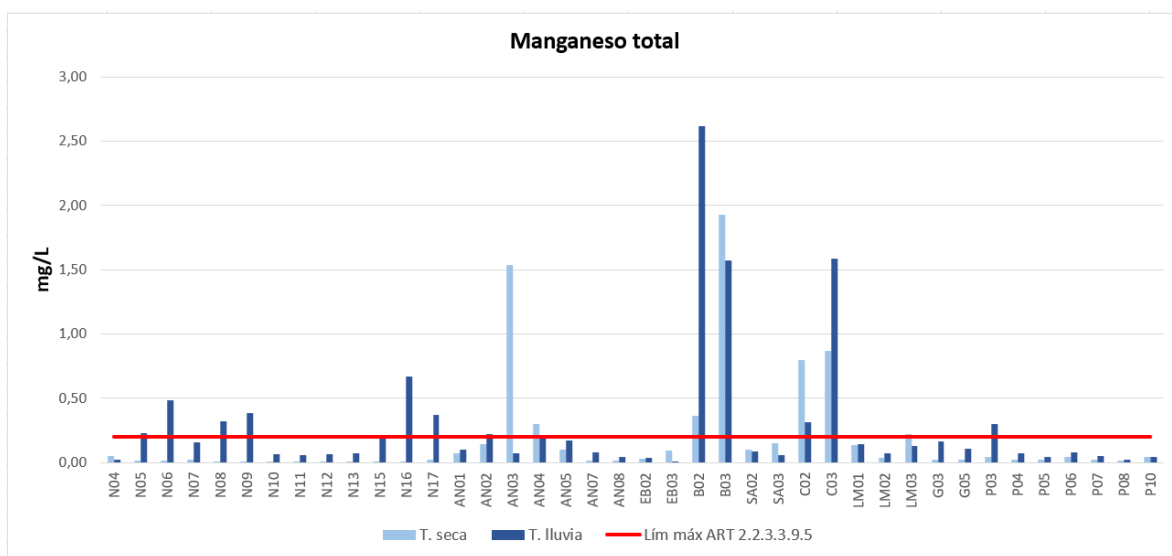


Figura 5.1.5.1.31 Comportamiento manganeso total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En época seca, el molibdeno en los puntos B03, C02 y B02 registró concentraciones que superan los límites establecidos en el Artículo 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario del Decreto 1076 de 2015. De igual manera, durante la época lluviosa, estos mismos puntos (B03, C02 y B02) reportaron concentraciones que exceden los valores máximos permitidos por la normativa.

En época seca, el plomo en el punto B03 supera los límites establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico y 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, del Decreto 1076 de 2015. Durante la época de lluvia, los puntos C03, B02 y B03 también registraron concentraciones de plomo por encima de los límites fijados en los artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico, 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola y 2.2.3.3.9.6 Protección vida acuática, de la misma normativa.

En época seca, la mayoría de los puntos registraron concentraciones de plata por debajo del límite de cuantificación del método ($<0,003$ mg/L), siendo 0,044 mg/L el valor más alto observado, correspondiente al punto SA03. En época lluviosa, el punto AN04 presentó una concentración de 0,079 mg/L, superando el límite establecido en los artículos 2.2.3.3.9.3 Abastecimiento uso doméstico, 2.2.3.3.9.4 Riego uso agrícola, de la normatividad objeto de estudio. En cuanto al boro, en ambas temporalidades la mayoría de los puntos analizados reportaron valores iguales al límite de cuantificación de la técnica analítica ($<0,09$ mg/L), junto con algunos valores superiores que, no obstante, se mantuvieron por debajo del límite fijado en el Artículo 2.2.3.3.9.5 Uso pecuario del Decreto 1076 de 2015.

Otros metales como el berilio ($<0,003$ mg/L) y el selenio ($<0,003$ mg/L) registraron, en ambas temporalidades, valores iguales al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada por el laboratorio, lo que indica que su presencia en los puntos evaluados es mínima o nula. En el caso del antimonio ($<0,003$ mg/L), este comportamiento se observó durante la temporada lluviosa.

w. Índice Langelier

La Figura 5.1.5.1.32 correspondiente al Índice de Langelier muestra que la totalidad de los puntos de monitoreo presentan valores negativos, tanto en época seca como en época lluviosa, con excepción de B02 en época lluviosa, que registra un valor ligeramente positivo, mostrando un comportamiento levemente incrustante. Esta tendencia indica que, en general, el agua en las fuentes hídricas evaluados es corrosiva y se encuentra no saturada con respecto al carbonato de calcio (CaCO_3).

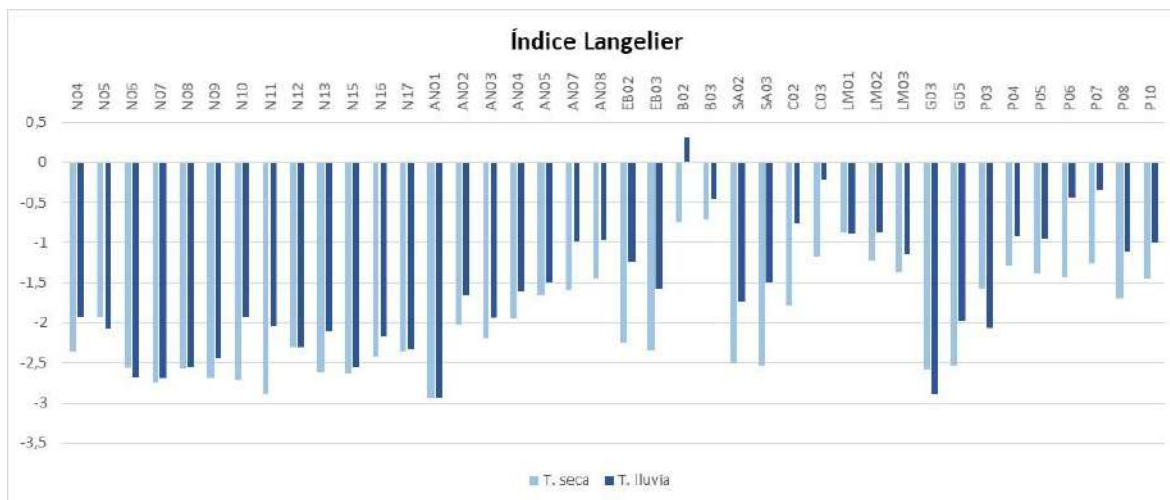


Figura 5.1.5.1.32 Índice Langelier: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

C. Índice de calidad del agua (ICA)

A continuación, se presentan los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) del IDEAM, calculado en este estudio a partir de cinco variables: pH, conductividad, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno (DQO).

En general, para ambas temporalidades los puntos evaluados presentan clasificaciones que varían entre mala y aceptable, lo que evidencia condiciones heterogéneas de calidad del agua en el área de estudio. En época seca se identificaron cuatro puntos con clasificación “mala”, correspondientes a la quebrada La Colorada (C02 y C03) y la quebrada El Balsal (B02 y B03). En época lluviosa, esta categoría se registró en el río Nus (N15) y en la quebrada El Balsal (B03), lo que indica la persistencia de condiciones puntuales desfavorables en estos tramos. Este comportamiento puede asociarse a la disminución de caudales, que favorece la concentración de contaminantes, así como a mayores aportes de sólidos suspendidos y carga orgánica, variables que inciden de manera significativa en el valor del índice.

Las clasificaciones más bajas del ICA pueden asociarse a la disminución de caudales durante la época seca, condición que favorece la concentración de contaminantes, así como a mayores aportes de sólidos suspendidos y carga orgánica, variables que inciden de manera significativa en el valor del índice. En particular, los sólidos suspendidos totales, la conductividad y la DQO se identifican como las variables con mayor peso en la reducción del ICA, reflejando procesos de arrastre de sedimentos, mineralización natural y aportes de materia orgánica.

En conjunto, los resultados del ICA evidencian que las afectaciones sobre la calidad del agua no son homogéneas ni generalizadas, sino que responden a condiciones puntuales y estacionales, asociadas tanto a la variabilidad hidrológica como a procesos naturales y antrópicos locales. Estas condiciones pueden generar afectaciones sobre los ecosistemas acuáticos, particularmente en organismos sensibles a incrementos en la turbidez y a

variaciones en el oxígeno disponible; sin embargo, la mejora observada en varios puntos durante la época lluviosa sugiere una capacidad de recuperación del sistema y una respuesta directa a la dinámica natural del régimen hidrológico.

A continuación, se presentan los resultados para cada uno de los cauces evaluados en las dos temporadas climáticas:

El índice ICA en el Río Nus para ambas temporalidades, los puntos evaluados presentan clasificaciones que varían entre “aceptable”, “regular” y “mala”. En época seca no se identifican puntos con clasificación “mala”, mientras que en época lluviosa, esta categoría se registró en el río Nus (N15). La mayor parte de los puntos se clasifican entre “regular” y “aceptable” (ver Figura 5.1.5.1.33).

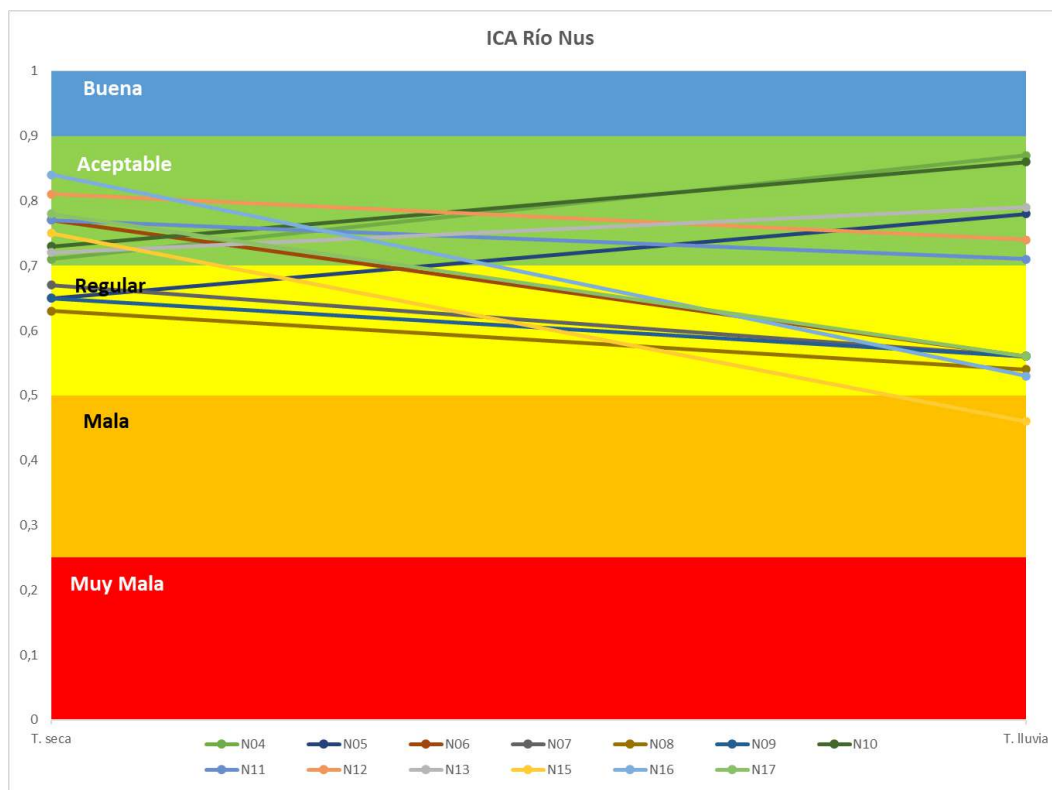


Figura 5.1.5.1.33 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para el cauce 5, según la Figura 5.1.5.1.34 el índice ICA para el punto de monitoreo AN01 da como resultado una clasificación “aceptable”, tanto en temporada seca como en temporada de lluvia.

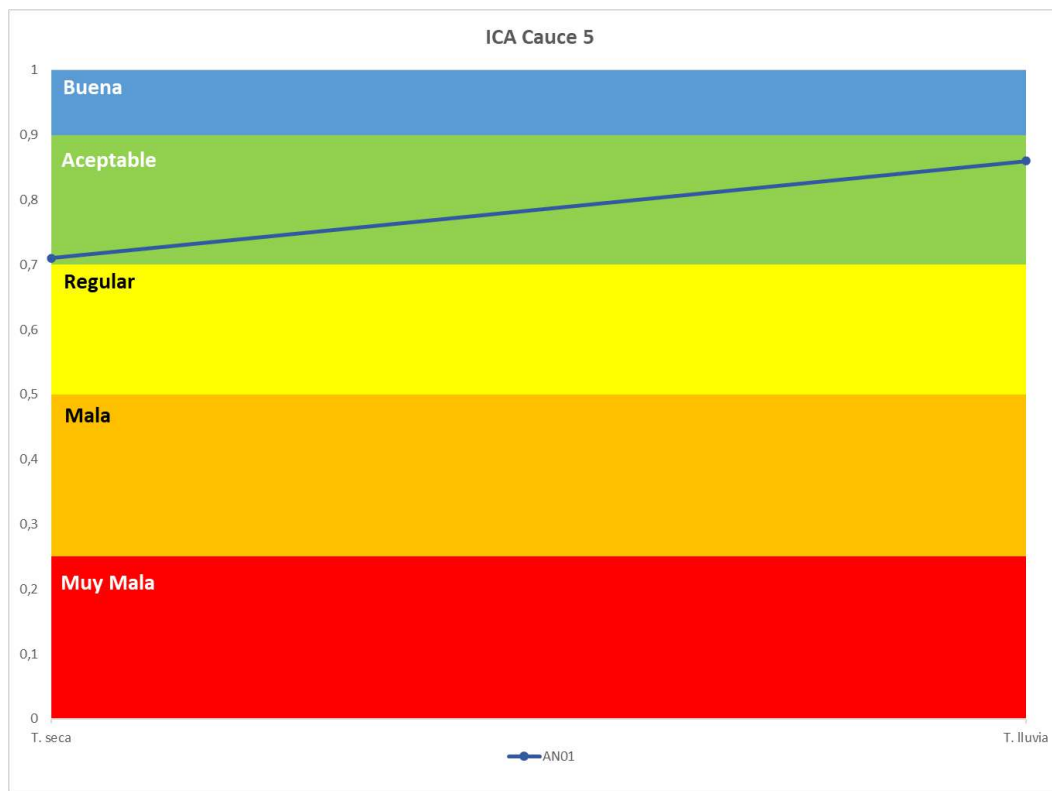


Figura 5.1.5.1.34 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para el cauce 8, según la Figura 5.1.5.1.35 el índice ICA para el punto de monitoreo AN02, da como resultado una clasificación “regular” en temporada seca y “aceptable” en temporada de lluvia.

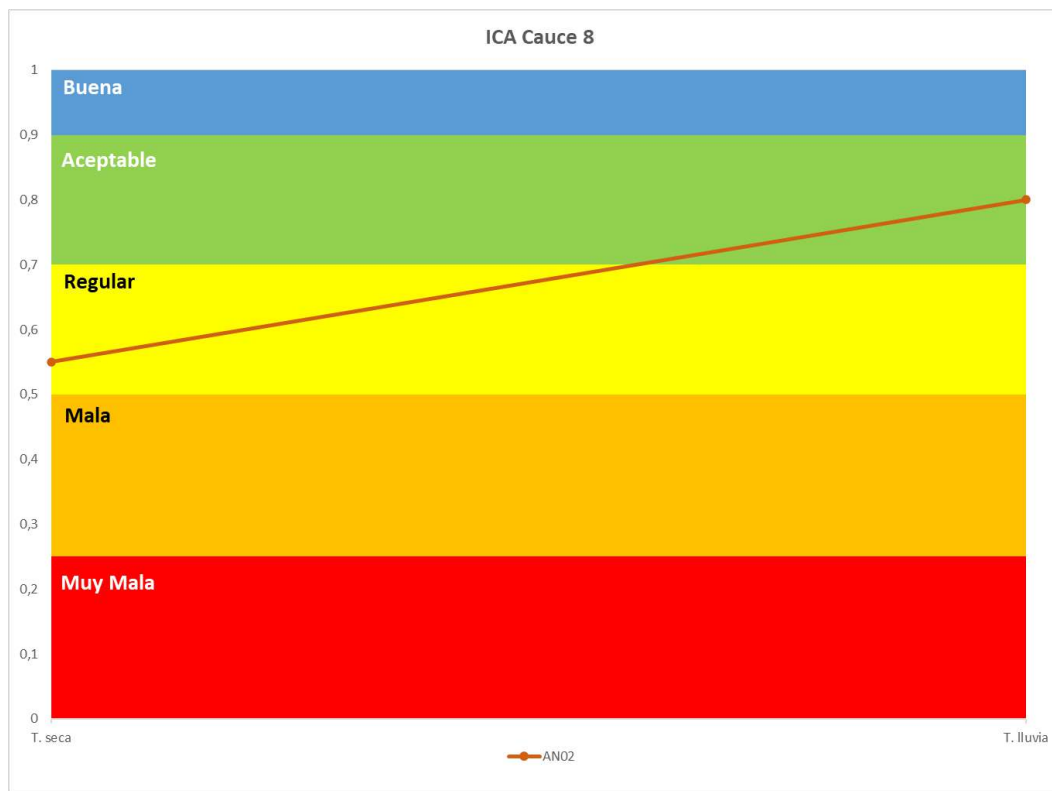


Figura 5.1.5.1.35 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada El Torito, según la Figura 5.1.5.1.36 el índice ICA para el punto de monitoreo AN03 da como resultado una clasificación “regular” en temporada seca y en temporada de lluvia.

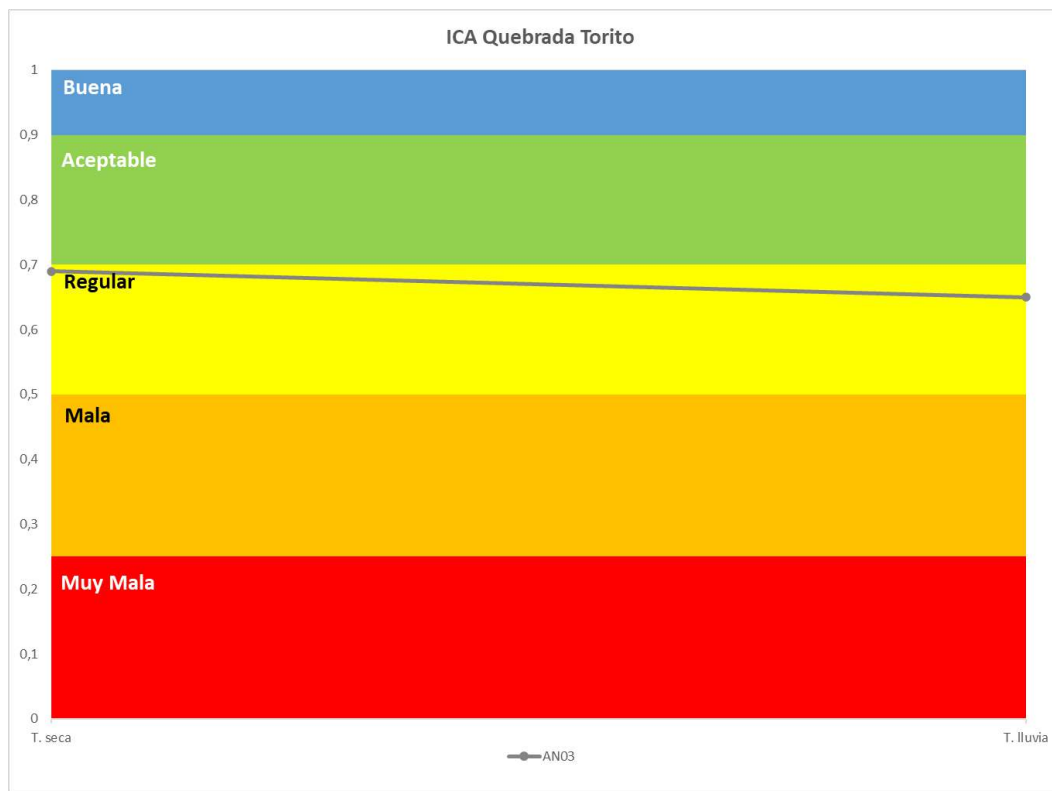


Figura 5.1.5.1.36 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para el cauce 9, según la Figura 5.38 el índice ICA para ambas temporalidades, en los dos puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “regular” y “aceptable”. En época seca se identificaron los dos puntos AN04 y AN05 con clasificación “regular”, mientras que época lluviosa, AN04 se clasifica en “aceptable” y AN05 en “regular”.

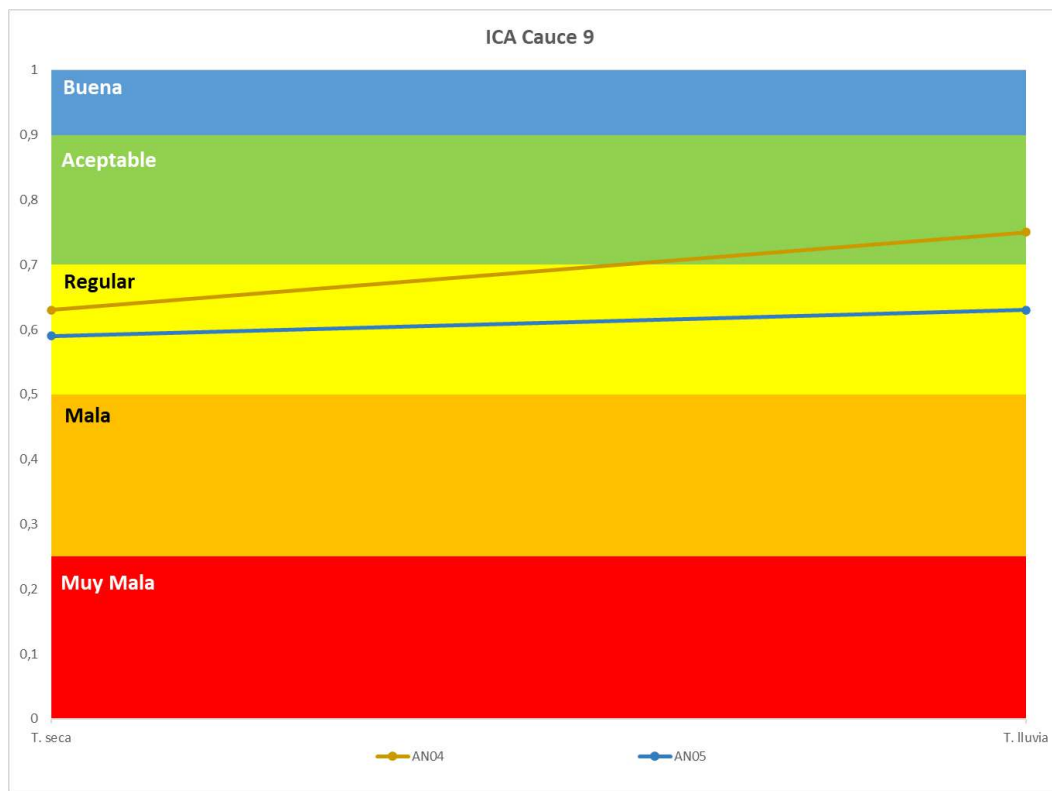


Figura 5.1.5.1.37 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para el cauce 10, según la Figura 5.1.5.1.38 el índice ICA para el punto AN07 da como resultado una clasificación “regular” en temporada seca y “aceptable” en época lluviosa.

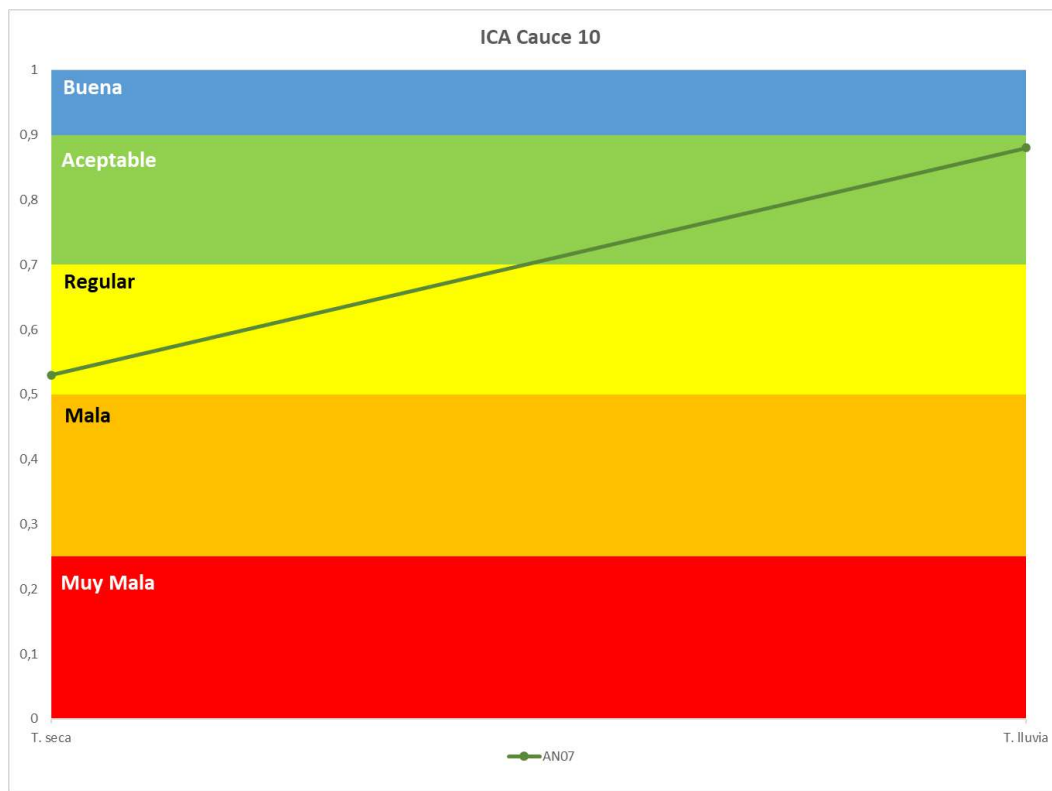


Figura 5.1.5.1.38 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para el cauce 11, según la Figura 5.1.5.1.39 el índice ICA para el punto de muestreo AN08, presenta una clasificación “regular” en temporada seca y “aceptable” en época lluviosa.



Figura 5.1.5.1.39 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada El Banco, en la Figura 5.1.5.1.40 el índice ICA para ambas temporalidades en los dos puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “regular” y “aceptable”. En época seca se identificó el punto EB02 con clasificación “regular”, mientras que el punto EB03 en una clasificación “aceptable”. En época lluviosa, ambos puntos de muestreo se clasifican en “aceptable”.

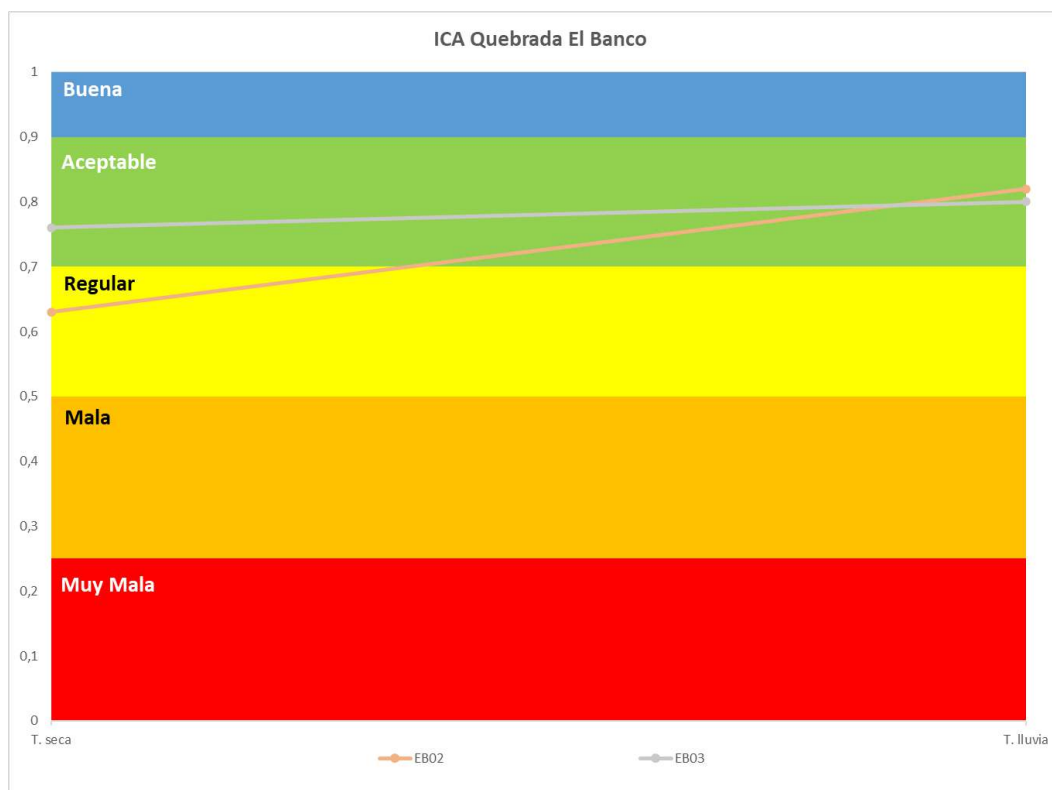


Figura 5.1.5.1.40 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada El Basal, en la Figura 5.1.5.1.41 se aprecia que el índice ICA para ambas temporalidades en los dos puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “mala” y “regular”. En época seca se identificaron los dos puntos B02 y B03 con clasificación “mala”, mientras que época lluviosa, B02 se clasifica en “regular” y B03 en “mala”.

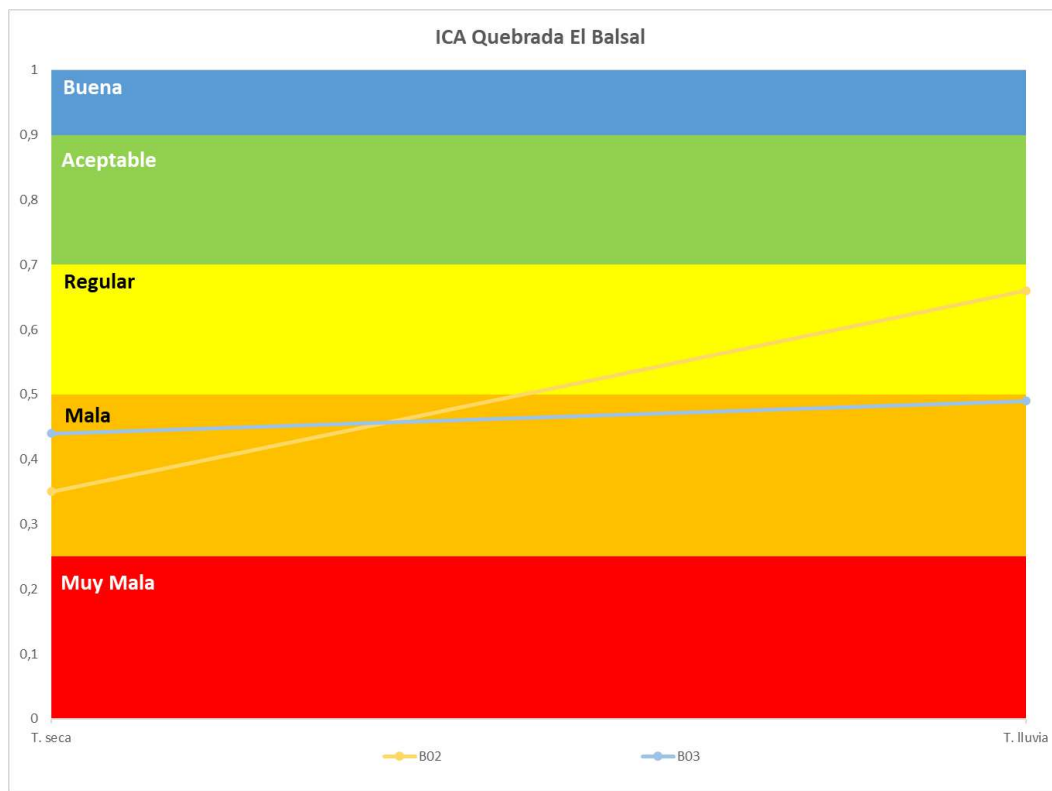


Figura 5.1.5.1.41 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Basal

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada San Antonio, según la Figura 5.1.5.1.42 el índice ICA para ambas temporalidades, en los dos puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “regular”, “aceptable” y “buena”. En época seca se identificaron los puntos SA02 y SA03 se clasifican “aceptable” y “regular”, respectivamente; mientras que época lluviosa, SA02 se clasifica en “buena” y SA03 en “aceptable”.

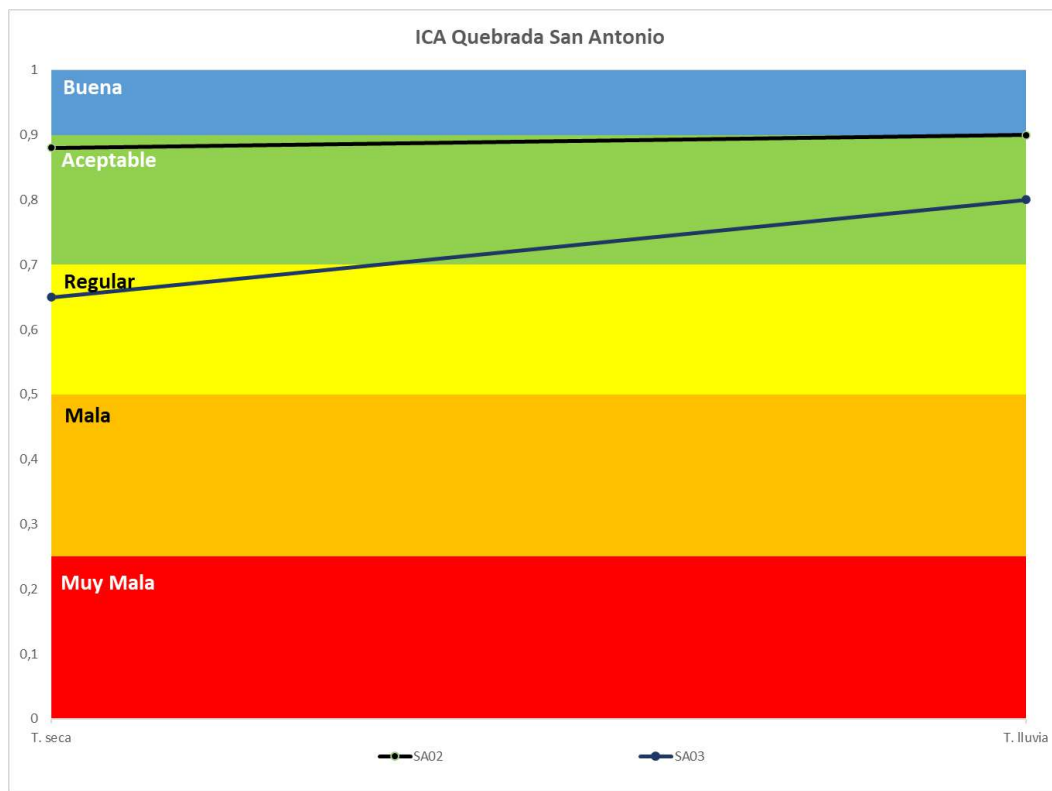


Figura 5.1.5.1.42 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada La Colorada, según la Figura 5.1.5.1.42 el índice ICA para ambas temporalidades, en los dos puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “mala” y “regular”. En época seca se identificaron los dos puntos C02 y C03 con clasificación “mala”, mientras que época lluviosa, ambos se clasifican en “regular”.

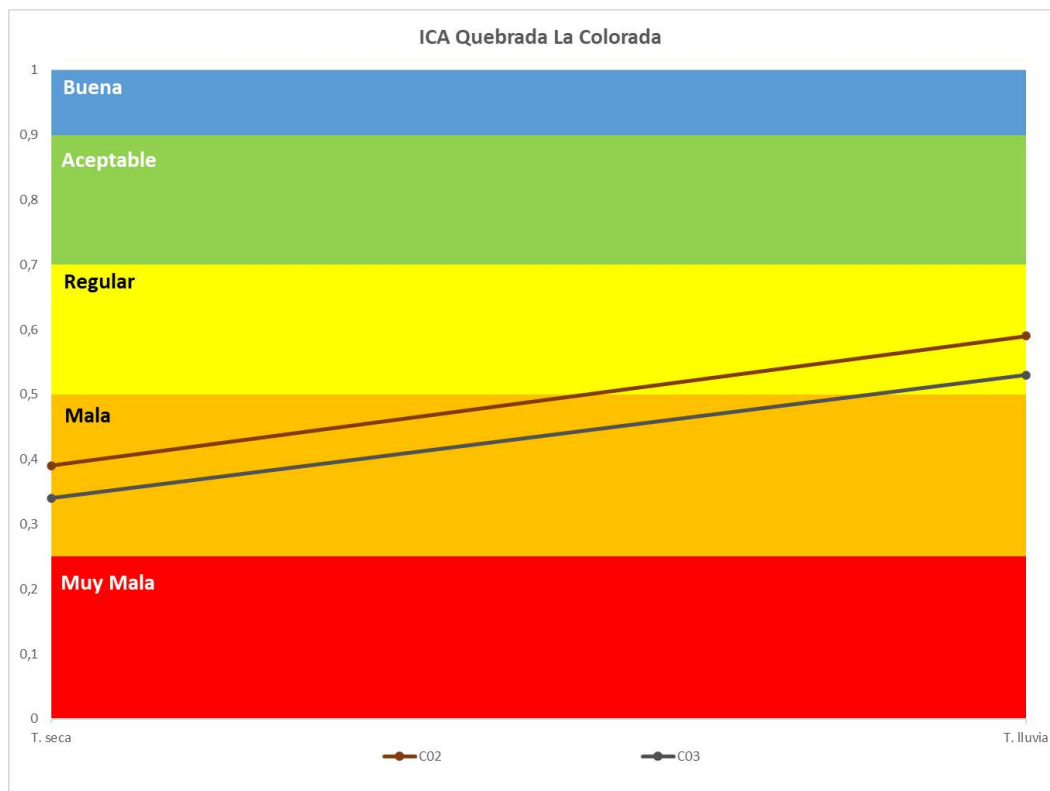


Figura 5.1.5.1.43 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada La María, según la Figura 5.1.5.1.44 el índice ICA para ambas temporalidades, en los tres puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “regular” y “aceptable”. En época seca se identificaron los dos puntos LM01, LM03 con clasificación “regular” y LM02 con clasificación “aceptable”. Para la época lluviosa, los tres puntos se clasifican en “aceptable”.

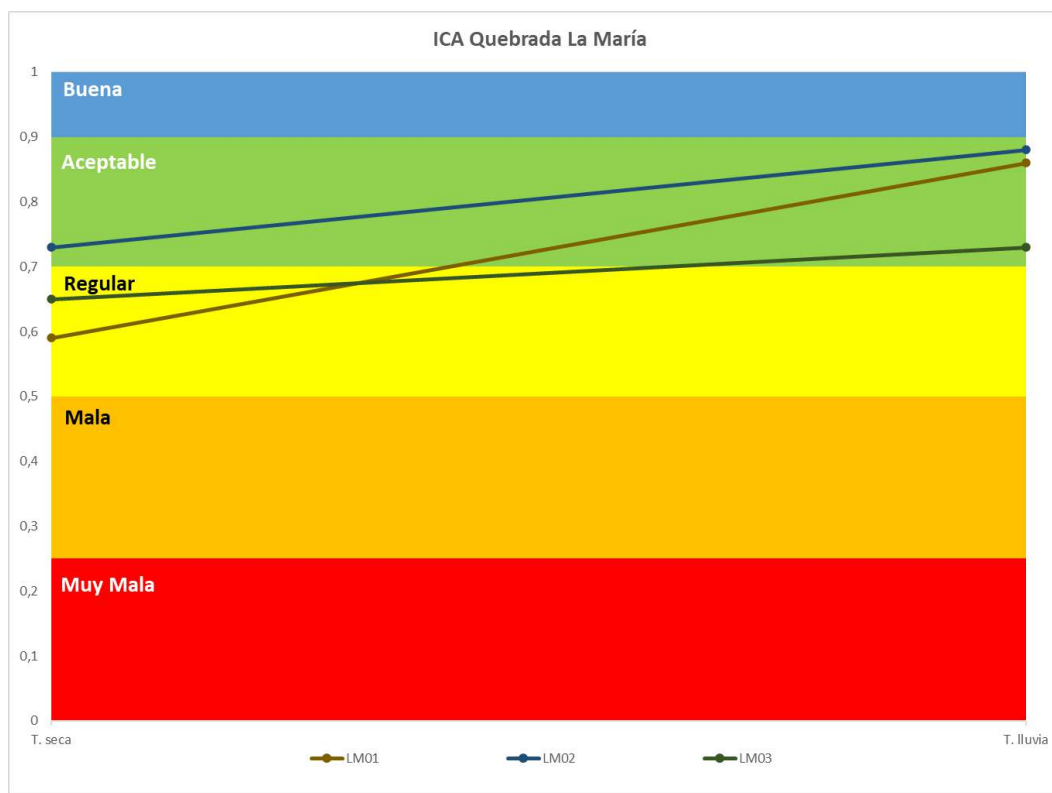


Figura 5.1.5.1.44 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada Guacas, según la Figura 5.1.5.1.45 el índice ICA para ambas temporalidades, en los dos puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “regular” y “aceptable”. En época seca se identificaron que los puntos G03 y G05, tienen una clasificación “regular”. Para la época lluviosa, G03 se clasifica “regular” y G05 “aceptable”.

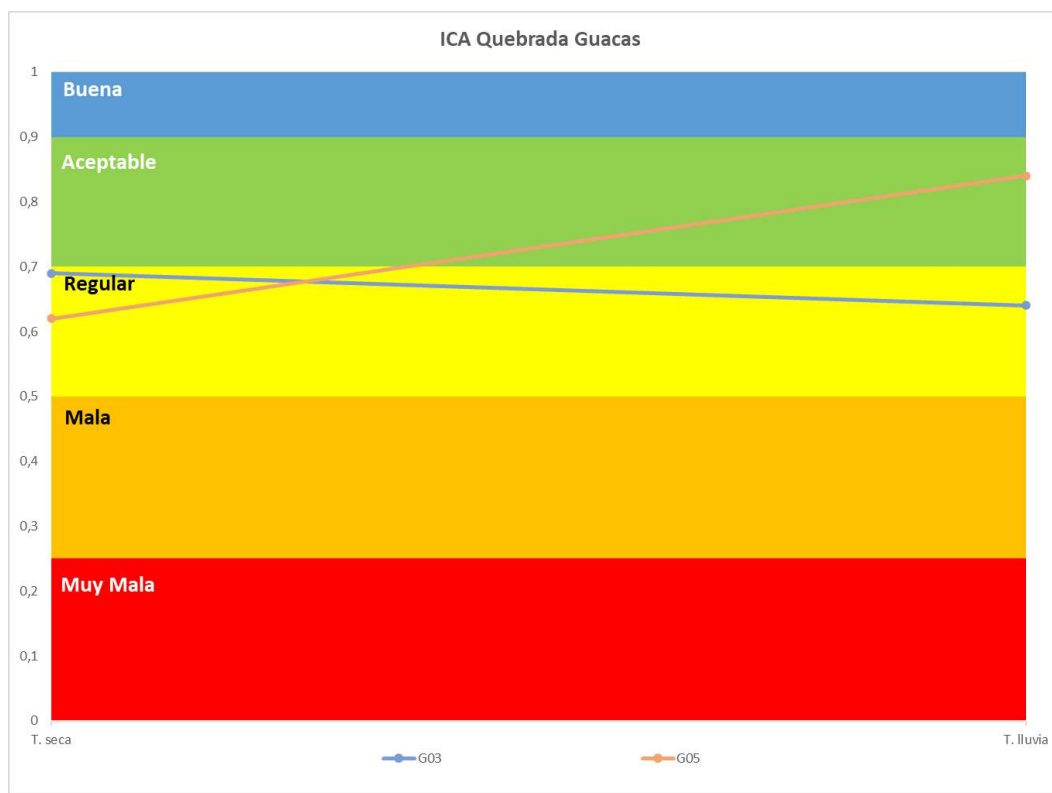


Figura 5.1.5.1.45 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para la quebrada Palestina, según la Figura 5.1.5.1.46 el índice ICA para ambas temporalidades, en los siete (7) puntos evaluados, presentan clasificaciones que varían entre “regular”, “aceptable” y “buena”. En época seca se identificaron que los puntos P04 y P10 en clasificación “regular”, P03, P05, P06, P07 y P08, tienen una clasificación “aceptable”. Para la época lluviosa, P03 se clasifica “regular”; P04, P05, P06, P07 y P10, se clasifican en “aceptable” y finalmente P08 se clasifica en “buena”.

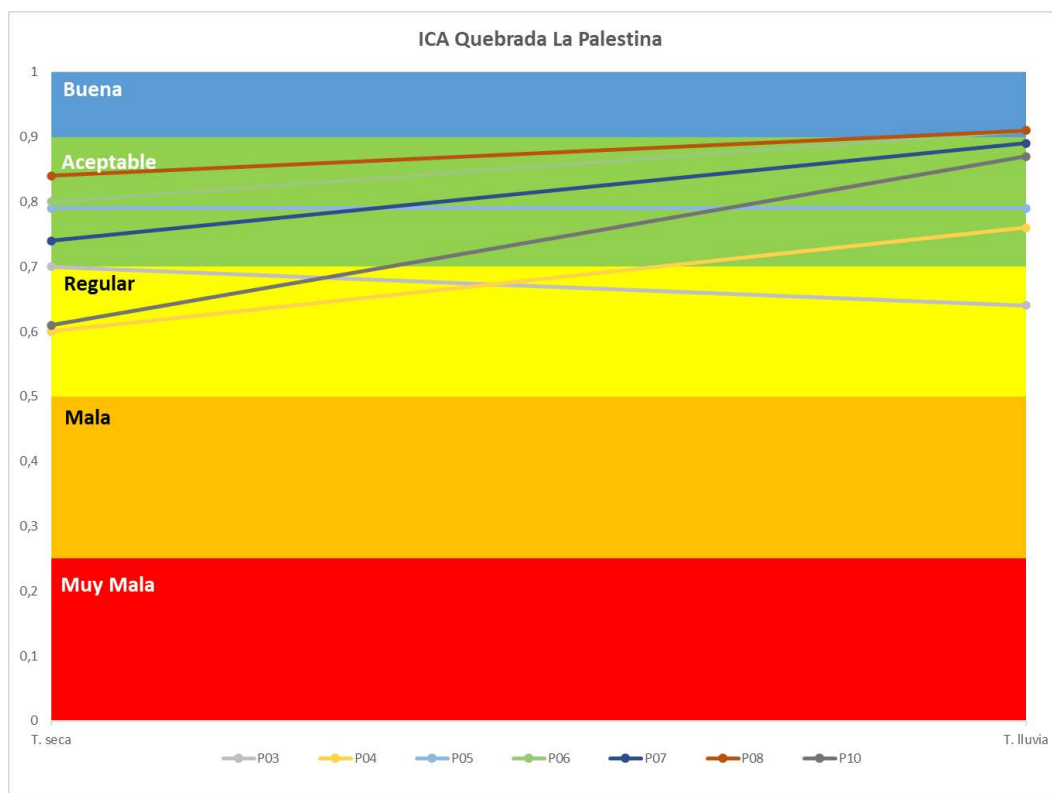


Figura 5.1.5.1.46 índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En la Figura 5.1.5.1.47 se presenta el consolidado comparativo de los resultados obtenidos en las dos campañas de monitoreo para las cuencas monitoreadas.

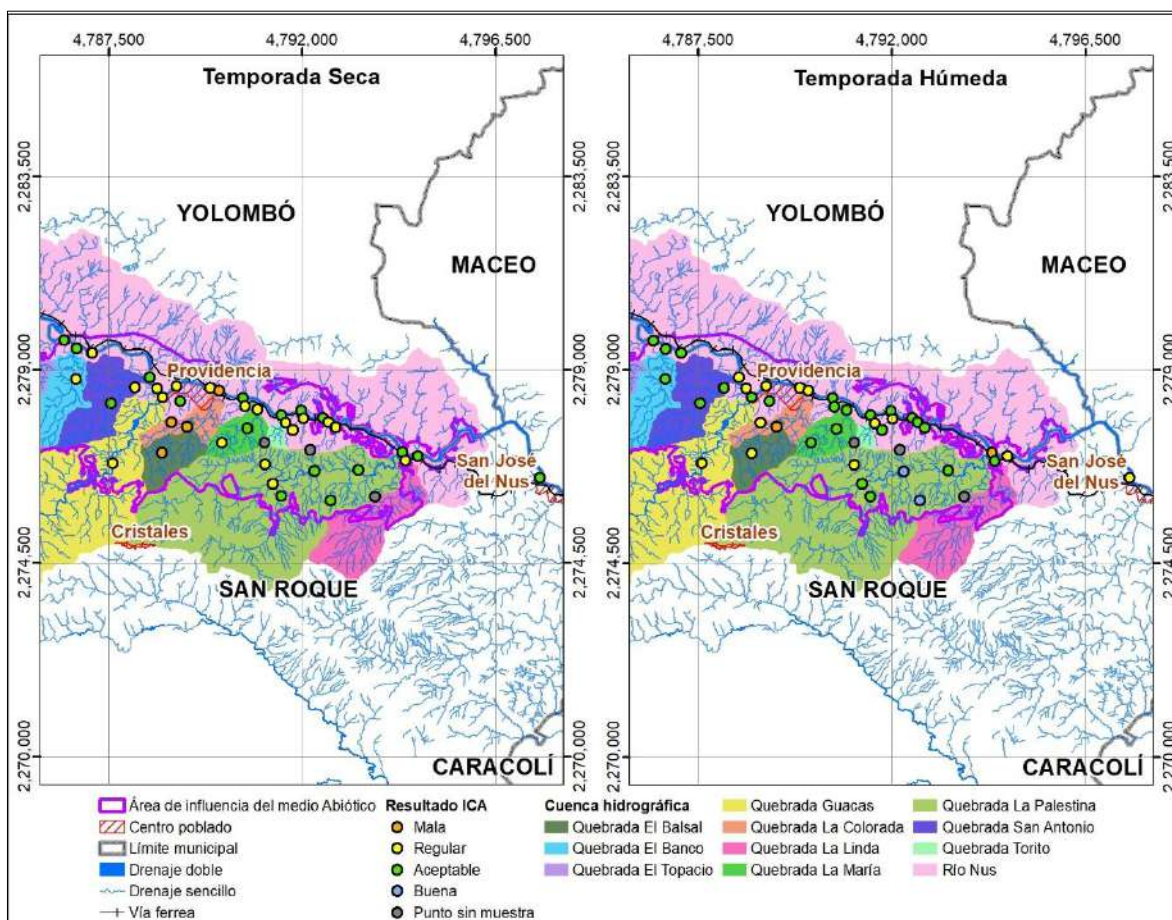


Figura 5.1.5.1.47 Representación espacial de los resultados obtenidos para el índice ICA: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

D. Índices de contaminación de aguas (ICOs)

A continuación, se presentan los resultados de los índices de contaminación (ICOSUS, ICOpH, ICOMO, ICOTRO e ICOMI), calculados a partir de variables fisicoquímicas y microbiológicas que influyen directamente en las comunidades biológicas acuáticas, especialmente las vegetales.

• ICOTRO

Tanto en época seca como en época lluviosa, el índice de contaminación trófica (ICOTRO) clasificó a todos los puntos de monitoreo dentro de la categoría eutrófica, de acuerdo con las categorías de trophicidad comúnmente empleadas para la interpretación de este índice (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico). Cabe señalar que el ICOTRO no cuenta con límites normativos legales específicos, sino que se utiliza como una herramienta de análisis para evaluar el grado de enriquecimiento de nutrientes y la susceptibilidad de los cuerpos de agua a procesos de eutrofización. En este sentido, los resultados obtenidos

indican que los cuerpos de agua evaluados presentan condiciones favorables para el crecimiento acelerado de algas y macrófitas, asociadas al aporte de nutrientes, manteniendo un comportamiento similar en ambas temporadas climáticas.

- **ICOMI**

El índice ICOMI, que integra las variables de conductividad, dureza y alcalinidad, mostró diferencias marcadas entre temporalidades (véase Figura 5.1.5.1.48), reflejando la influencia de la temporalidad sobre los procesos de mineralización del recurso hídrico. En época seca se registraron los valores más altos, con varios puntos en categorías de contaminación media y alta, lo cual puede atribuirse a la concentración de solutos disueltos asociada a la disminución del caudal y a una mayor interacción agua–suelo–roca.

Durante la época seca se registraron los valores más elevados del índice, con varios puntos clasificados en categorías de contaminación media y alta, lo cual puede atribuirse a la concentración de solutos disueltos asociada a la disminución del caudal y a una mayor interacción agua–suelo–roca. En este periodo, los puntos B02, B03, C02, C03, P04 y LM03 presentaron los mayores niveles de mineralización, mientras que AN04 y AN05 se ubicaron en rangos de contaminación media.

En contraste, durante la época lluviosa predominó la clasificación de “ninguna” o “baja”, comportamiento consistente con el efecto de dilución generado por el aumento de los aportes hídricos. No obstante, los puntos B02, B03, C02, C03 y LM03 mantuvieron valores medios o altos del índice, lo que indica la persistencia de aportes minerales en estos tramos, posiblemente asociados a condiciones geológicas locales, procesos de lixiviación natural de minerales, o a la influencia de actividades antrópicas.

Teniendo en cuenta estos resultados, los valores elevados y persistentes del ICOMI en estos puntos críticos sugieren una mayor mineralización del agua, la cual puede generar alteraciones en las condiciones fisicoquímicas, afectar la disponibilidad y calidad del hábitat para organismos hidrobiológicos sensibles. Sin embargo, la variabilidad espacial y temporal observada indica que estos efectos no son generalizados, sino que se concentran en sectores específicos.

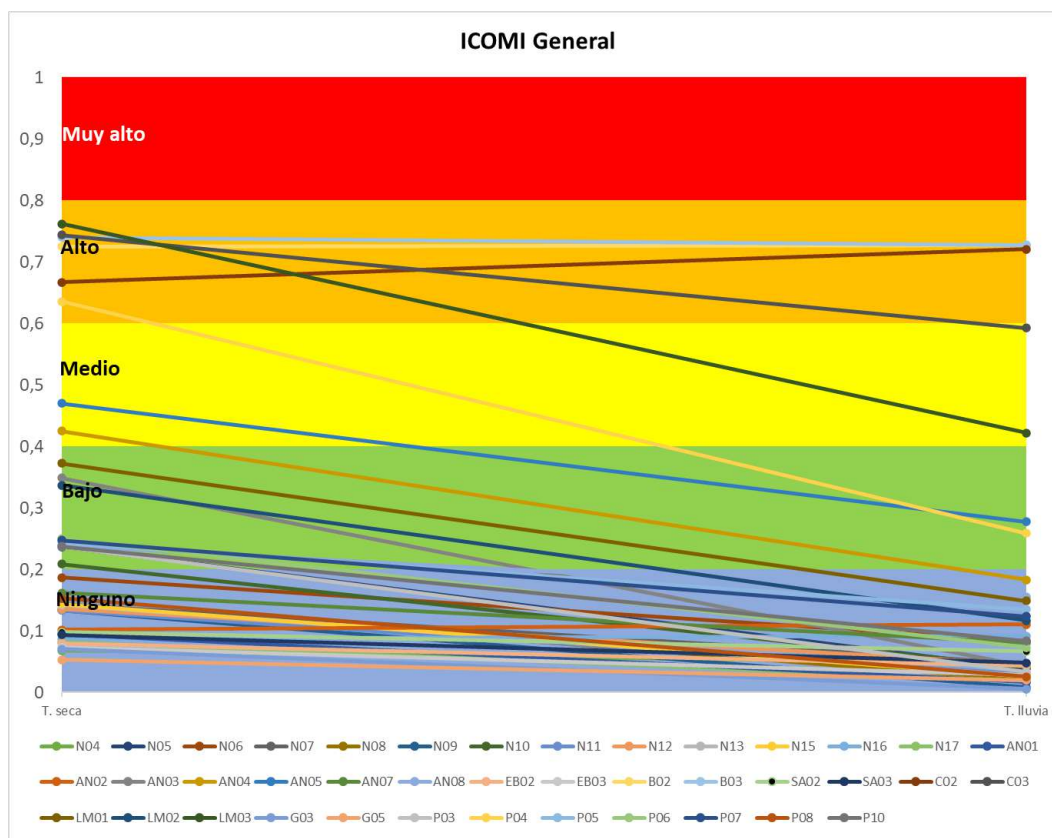


Figura 5.1.5.1.48 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en el Río Nus, según la Figura 5.1.5.1.49 en época seca tuvo los valores más altos, con dos (2) puntos en categoría de contaminación ninguno; entre ellos, N09 y N10 se identificaron como los más mineralizados.

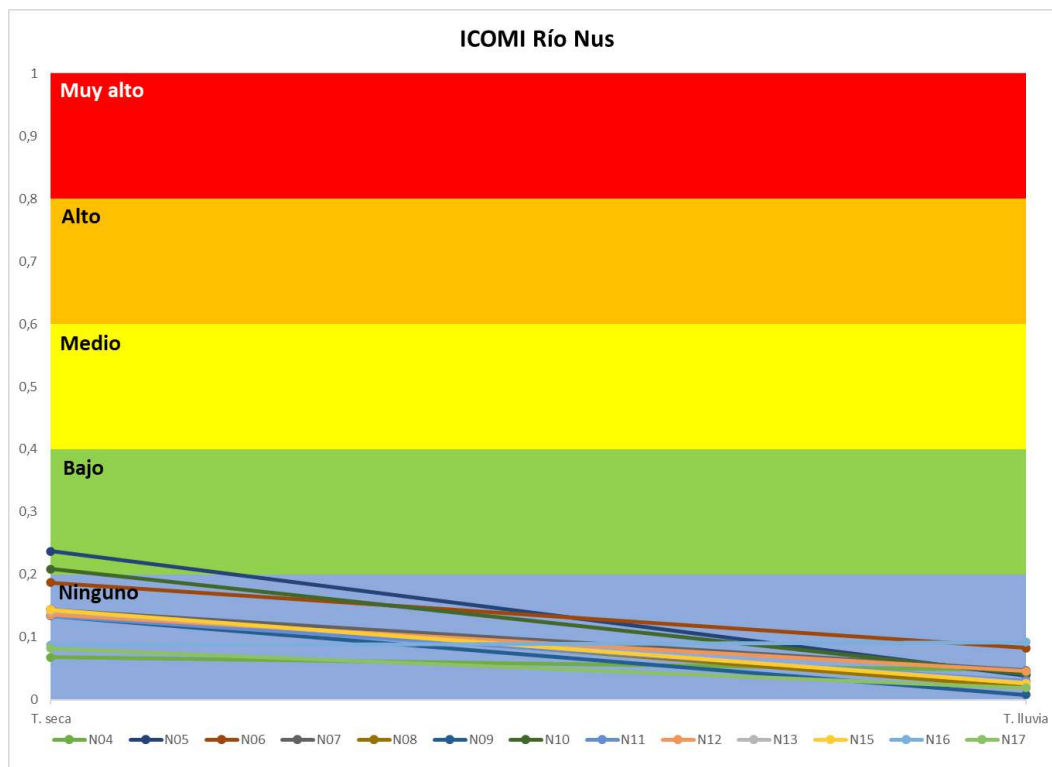


Figura 5.1.5.1.49 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en el Cauce 5, según la Figura 5.1.5.1.50 en época seca el punto AN01 tuvo valor “ninguno” en ambas épocas (seca y lluvia), identificándose como el más mineralizado el de la temporada seca.

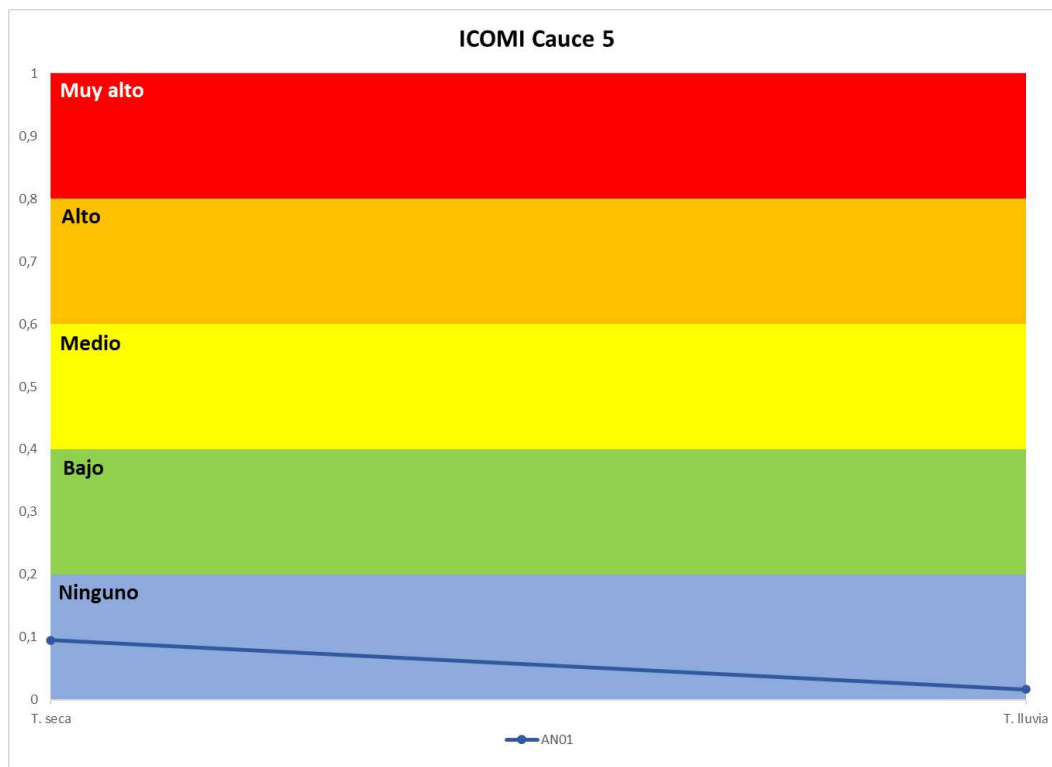


Figura 5.1.5.1.50 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en el Cauce 8, según la Figura 5.1.5.1.51 en época seca el punto AN02 tuvo valor “ninguno” en ambas épocas (seca y lluvia), identificándose como el más mineralizado el de la temporada lluvia.

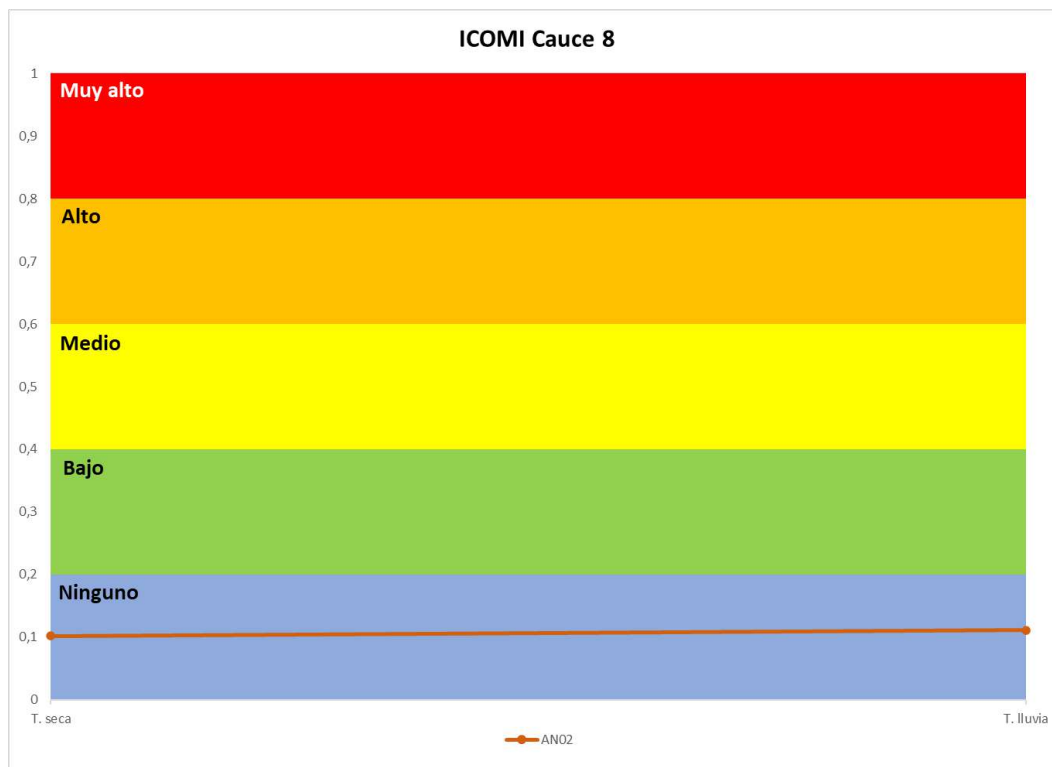


Figura 5.1.5.1.51 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada Torito, según la Figura 5.1.5.1.52 en época seca el punto AN03 tuvo valor “bajo” en época seca y “ninguno” en temporada lluvia, identificándose como el más mineralizado el de la temporada seca.

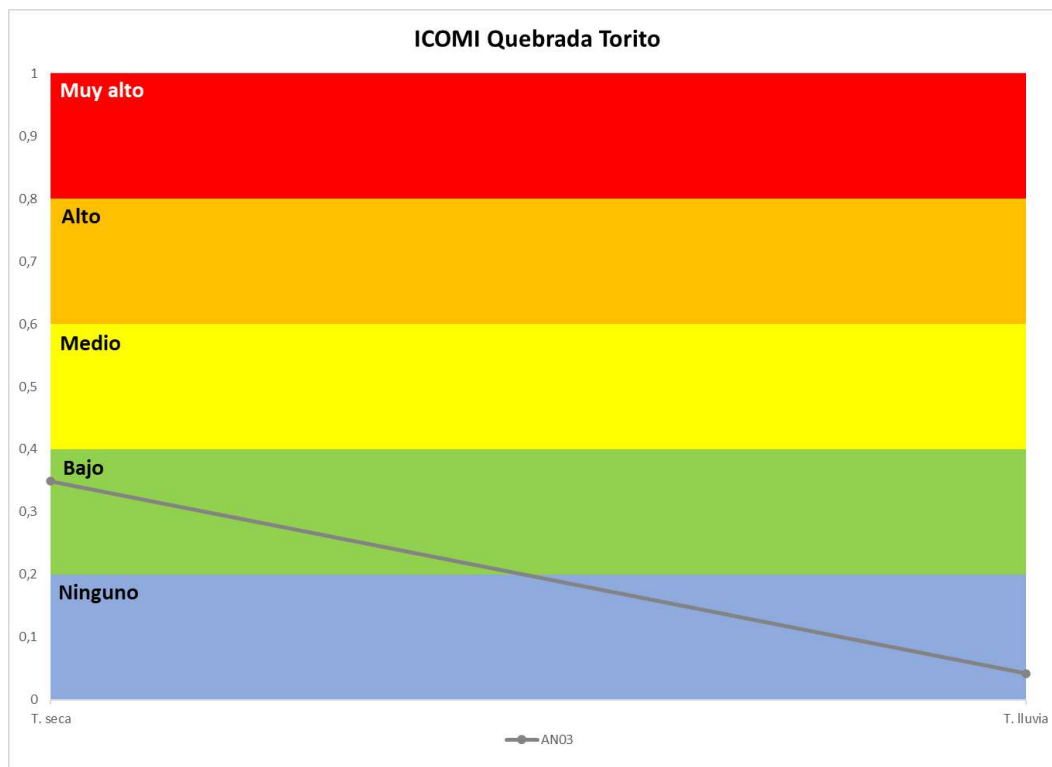


Figura 5.1.5.1.52 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en el Cauce 9, según la Figura 5.1.5.1.53 en época seca obtuvo valor “medio” para los puntos muestreados AN02 y AN05. En temporada lluvia, AN01 obtuvo un valor “ninguno”, mientras que AN05 obtuvo un valor “medio”. Se identificaron como más mineralizados, los presentados en la temporada seca.

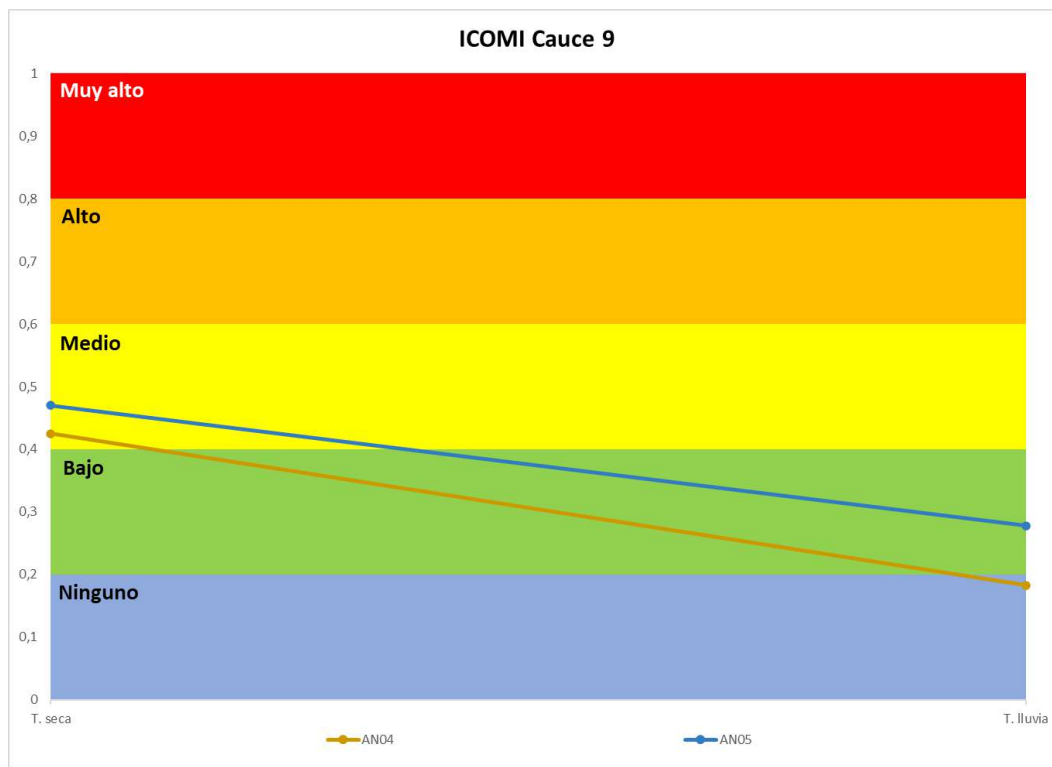


Figura 5.1.5.1.53 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en el Cauce 10, según la Figura 5.1.5.1.54 tanto en época seca como en temporada de lluvia obtuvo valores “ninguno” para el punto AN07, siendo el de la época seca el más mineralizado.

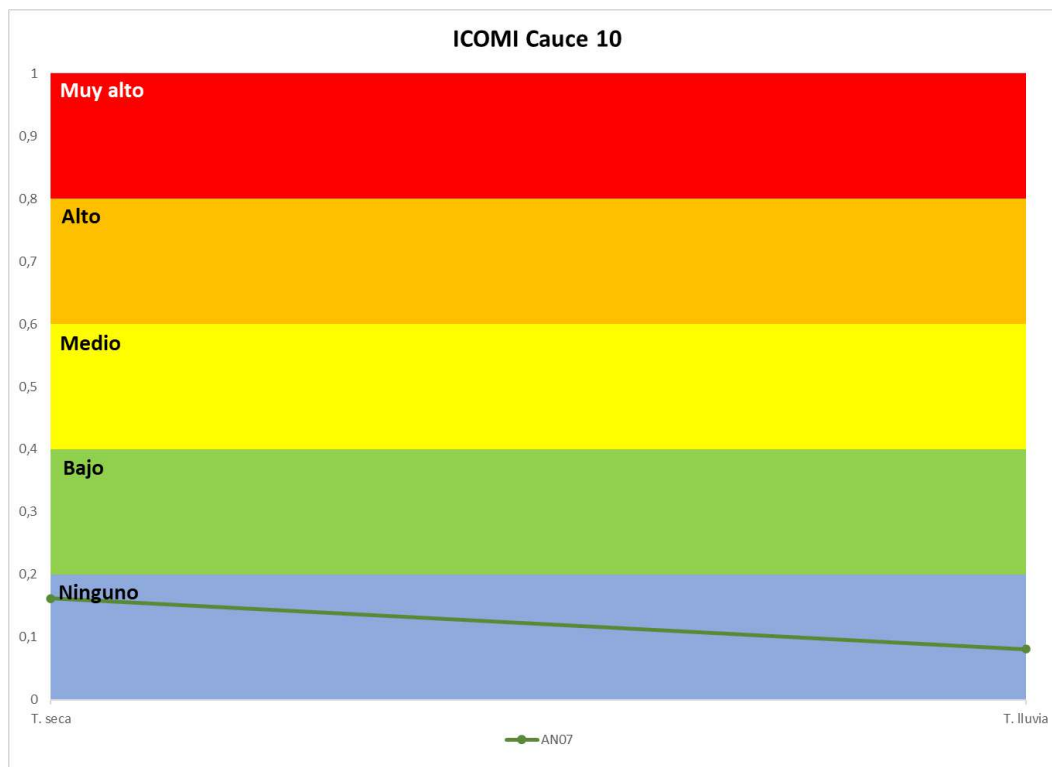


Figura 5.1.5.1.54 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en el Cauce 11, según la Figura 5.1.5.1.55 el punto AN08 en época seca obtuvo valor “bajo”, mientras que temporada de lluvia obtuvo valores “ninguno”, siendo el de la época seca el más mineralizado.

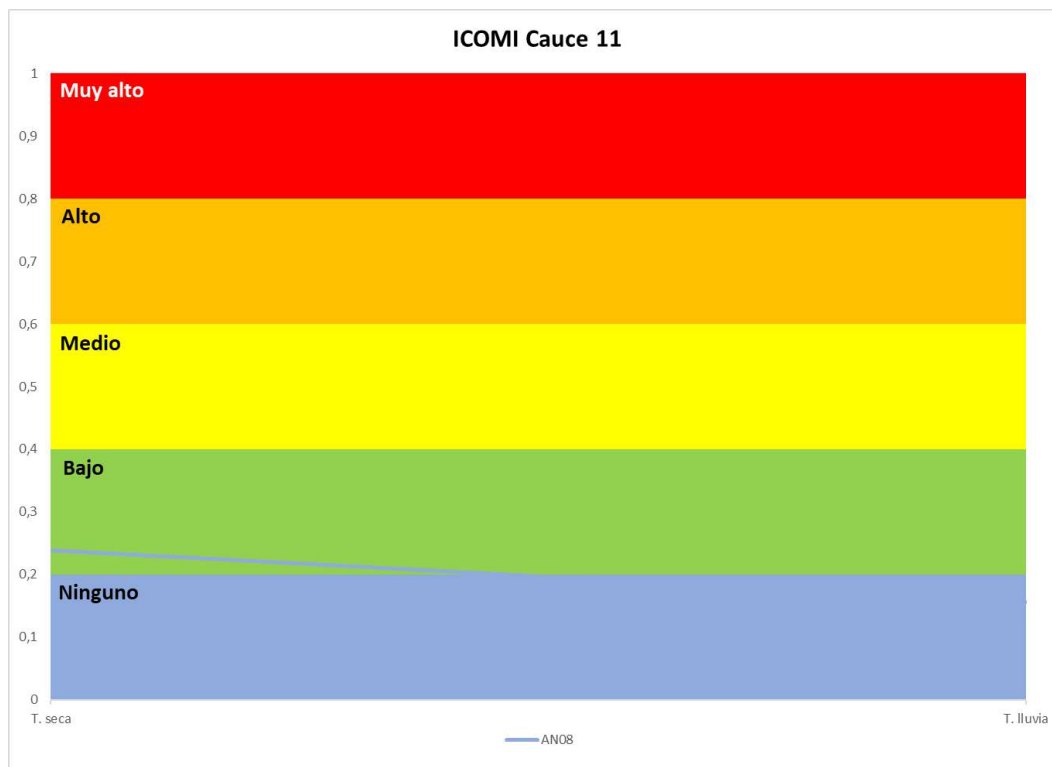


Figura 5.1.5.1.55 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada El Banco, según la Figura 5.1.5.1.56 los puntos EB02 y EB03 en época seca y lluvia obtuvieron valores “bajo”, siendo la época seca con resultados más mineralizados.

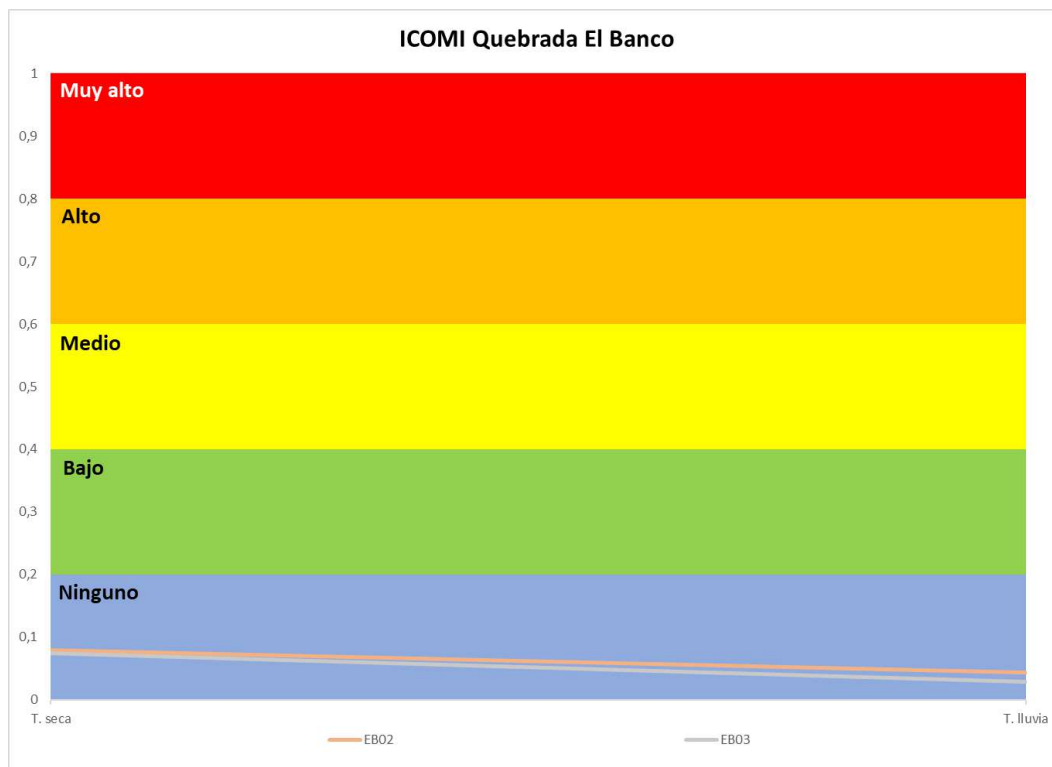


Figura 5.1.5.1.56 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada El Basal, según la Figura 5.1.5.1.57 en época seca el punto B02 obtuvo un valor de “regular” y B03 “aceptable”. Para la temporada de lluvia, ambos puntos obtuvieron valores de “aceptable”. La temporada de lluvia obtuvo resultados más mineralizados para ambos puntos.

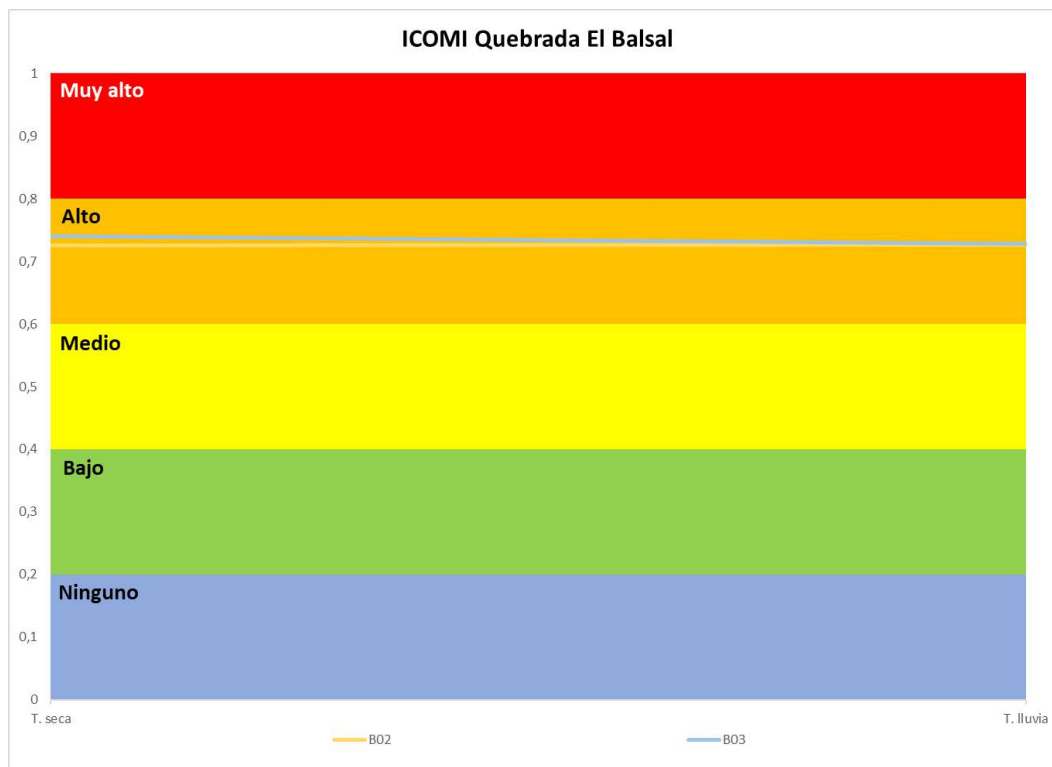


Figura 5.1.5.1.57 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada San Antonio, según la Figura 5.1.5.1.58 para los puntos SA02 y SA03 en época seca, obtuvo valores de “ninguno”, al igual que en temporada de lluvia para ambos puntos. La temporada seca obtuvo resultados más mineralizados para ambos puntos.

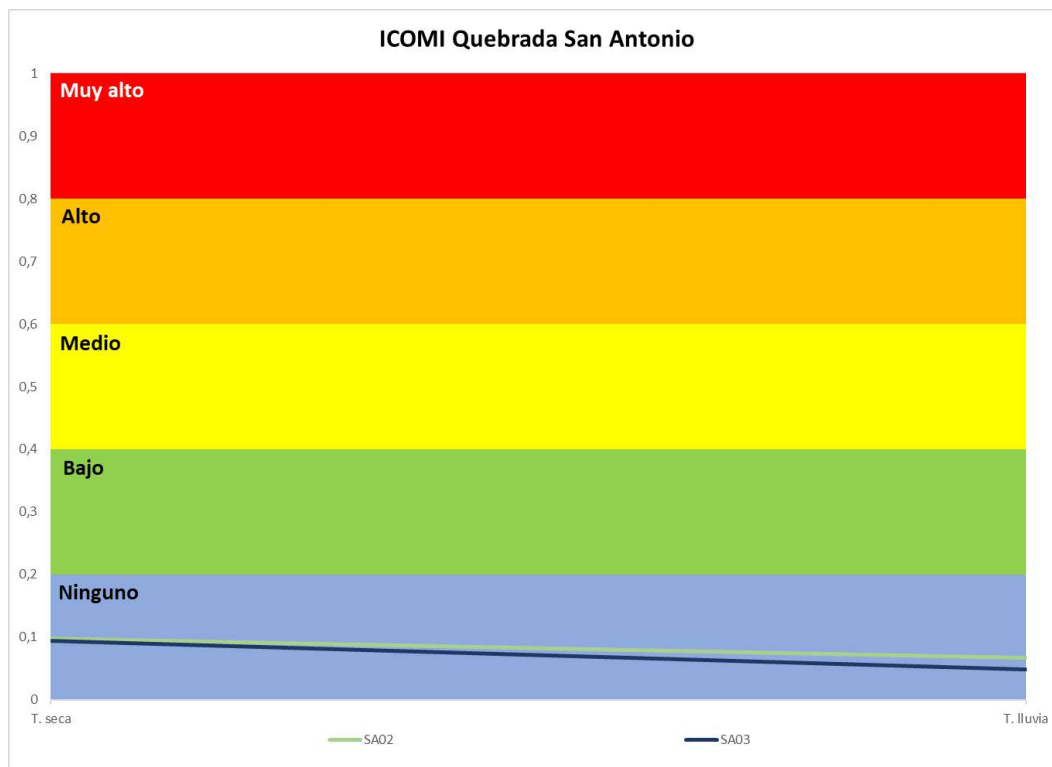


Figura 5.1.5.1.58 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada La Colorada, según la Figura 5.1.5.1.59 para los puntos C02 y C03 en época seca, obtuvo valores de “alto”. Para la temporada de lluvia, C02 obtuvo un valor de “alto”, mientras que C03 obtuvo un valor “medio”. La temporada seca obtuvo un resultado más mineralizado para C03 y la época de lluvia tuvo más mineralización para el punto C02.

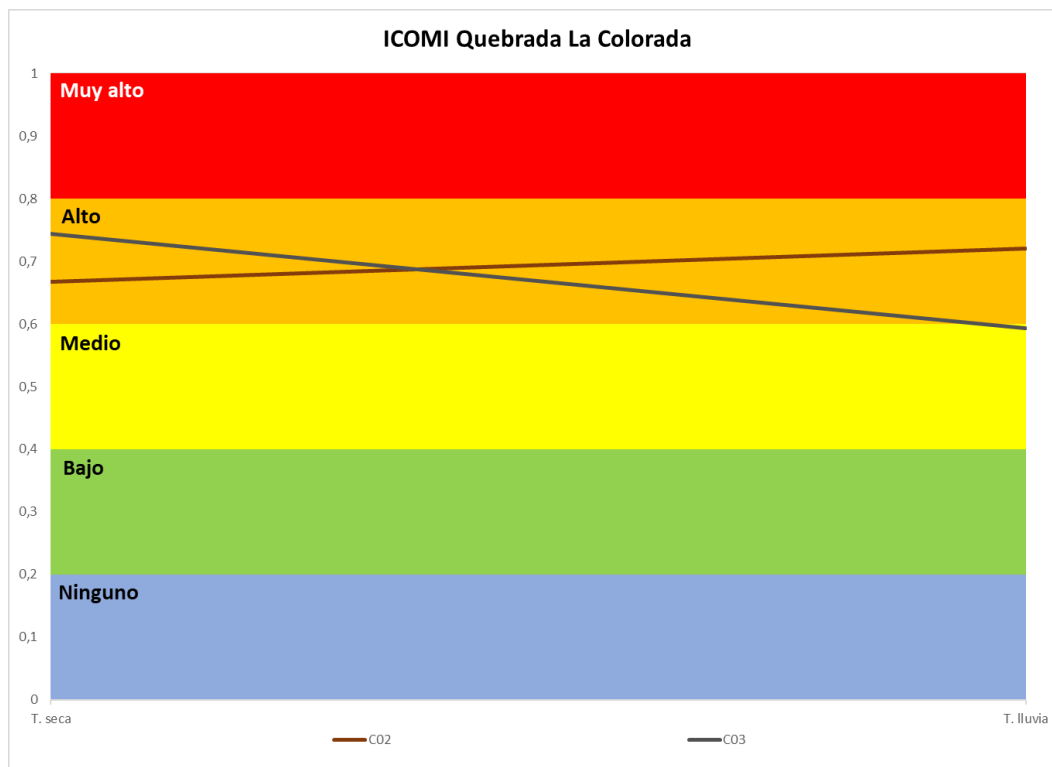


Figura 5.1.5.1.59 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada La María, según la Figura 5.1.5.1.60 en época seca obtuvo valores de “alto” para el punto LM03 y “bajo” para los puntos LM01, LM02. Para la temporada de lluvia, LM03 obtuvo un valor de “medio”, mientras que para LM01, LM02 obtuvo valores “ninguno”. La temporada seca obtuvo resultados más mineralizados.

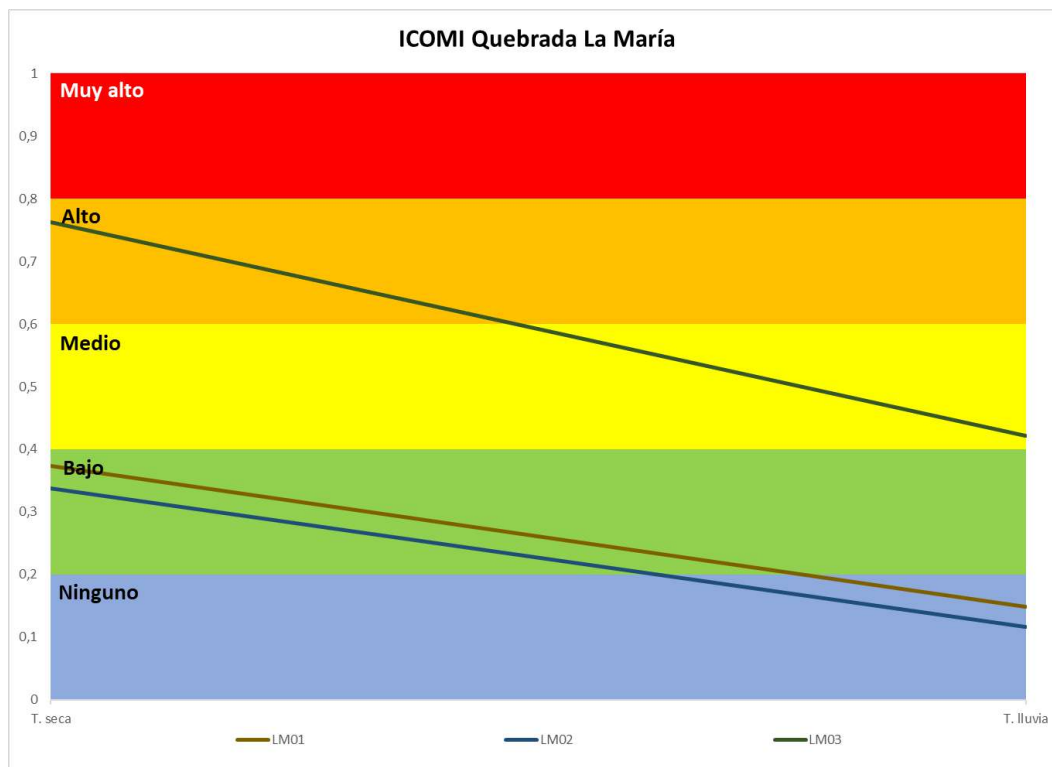


Figura 5.1.5.1.60 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada Guacas, según la Figura 5.1.5.1.61 en época seca y lluvia, los puntos G03, G05 obtuvo valores de “ninguno”. La temporada seca obtuvo resultados más mineralizados.

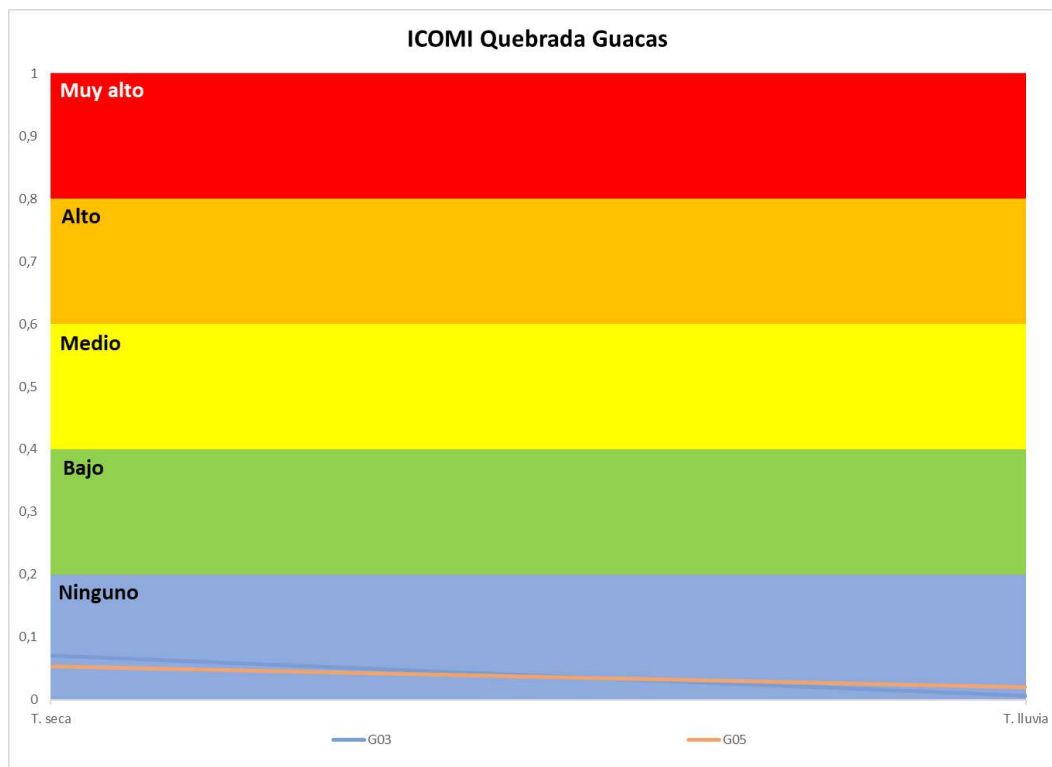


Figura 5.1.5.1.61 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMI en la quebrada La Palestina, según la Figura 5.1.5.1.62 en época seca obtuvo un valor “alto” para P04, mientras que para los puntos P03, P05, P07 Y P10, se obtuvo valores “bajo”. Para la temporada lluvia, obtuvo un valor “bajo” para P04, mientras que para los puntos P03, P05, P07 Y P10, se obtuvo valores “ninguno”. La temporada seca obtuvo resultados más mineralizados.

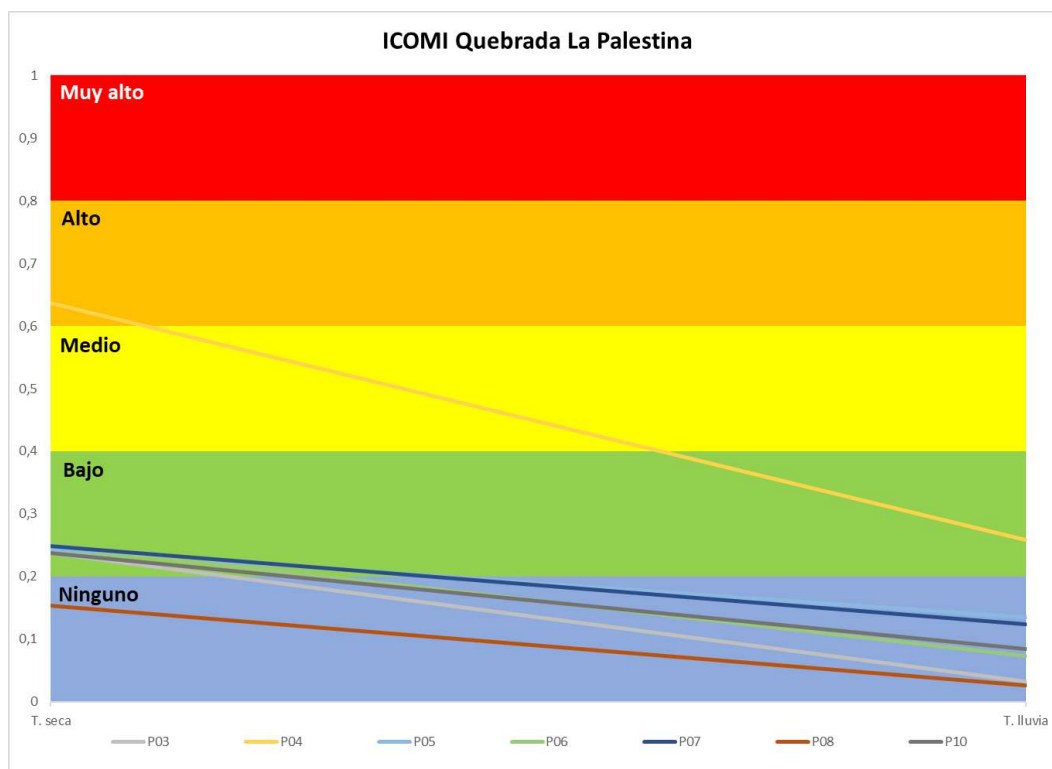


Figura 5.1.5.1.62 índice ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En la Figura 5.1.5.1.63 se presenta el consolidado comparativo de los resultados obtenidos para el ICOMI en las dos campañas de monitoreo para las cuencas monitoreadas.

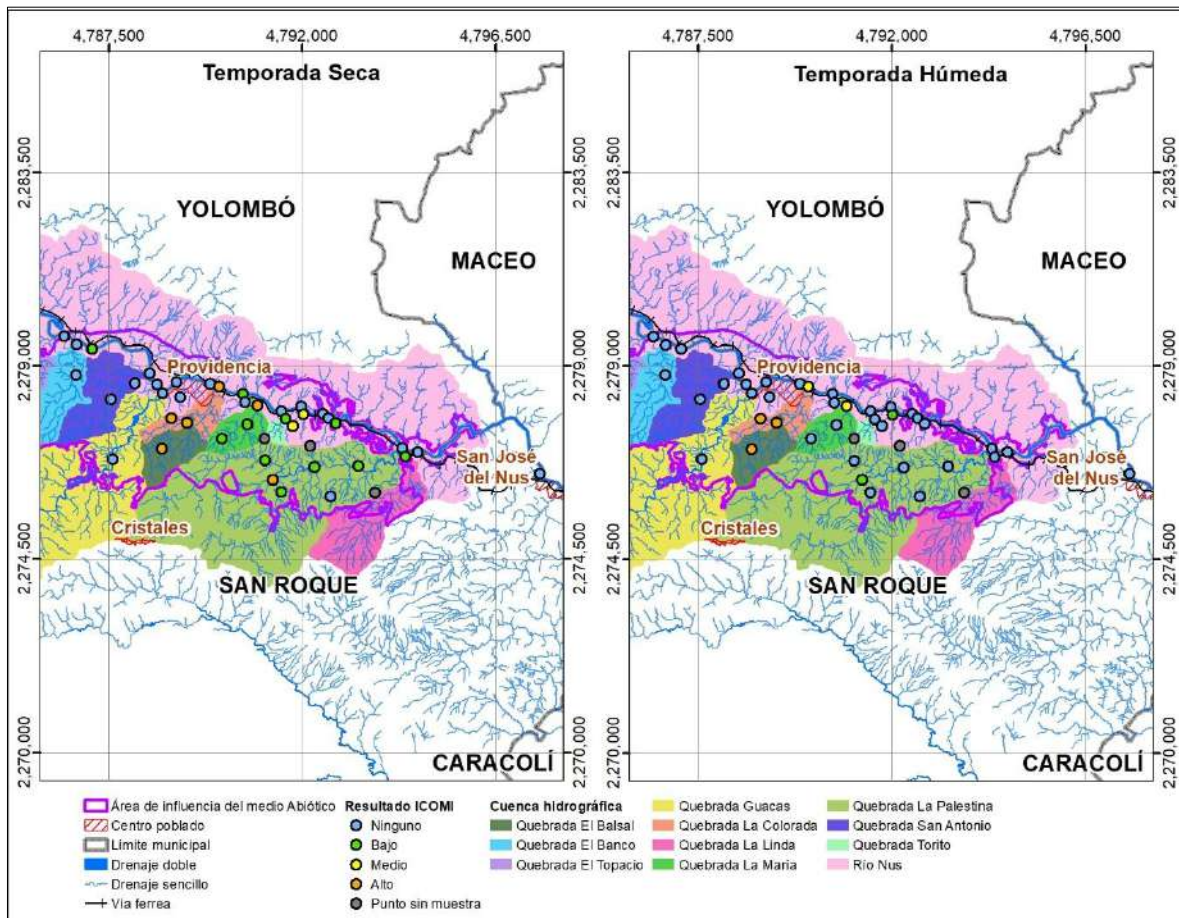


Figura 5.1.5.1.63 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOMI: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

• ICOSUS

En época seca predominó la clasificación “ninguno”, exceptuando B03, C03, C02 y B02, que registraron niveles “muy alto” por las concentraciones elevadas de SST. En época lluviosa se evidenció un aumento generalizado: aunque varios puntos mantuvieron la categoría “ninguno”, se observaron clasificaciones “muy altas” en N09, N06, N08, N07, N16, N17, N15, C03, B03 y G03; categorías “medio” en N12, N13 y C02; y una clasificación “alto” en P03. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los cauces evaluados:

El índice ICOSUS en el Río Nus, según la Figura 5.1.5.1.64, en época seca se obtuvo clasificación “ninguno”. En época lluviosa se evidenció un aumento a las clasificaciones de “bajo” (N12, N13) y “muy alto” (N06, N07, N08, N11, N13, N15, N16, N17), aunque varios puntos mantuvieron la categoría “ninguno” (N04, N05, N10, N11).

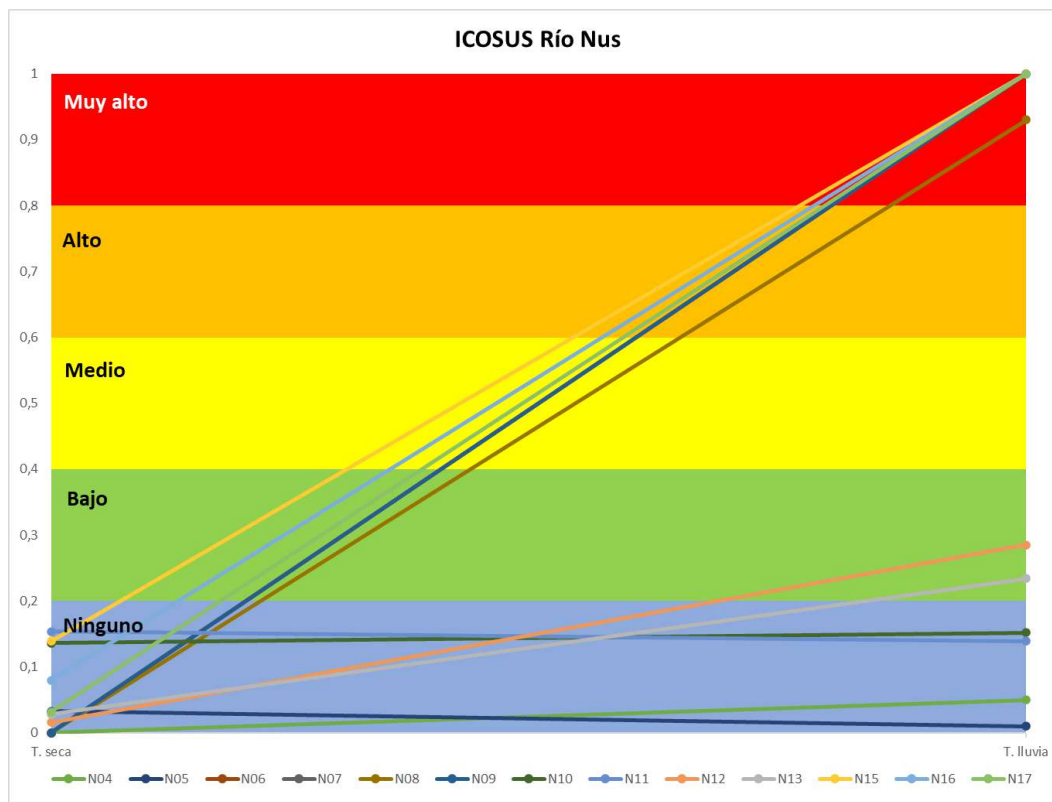


Figura 5.1.5.1.64 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en el Cauce 5, según la Figura 5.1.5.1.65Figura 5.1.5.1.61Figura 5.1.5.1.58 tanto en época seca y lluvia, el punto AN01 obtuvo clasificación “ninguno”.

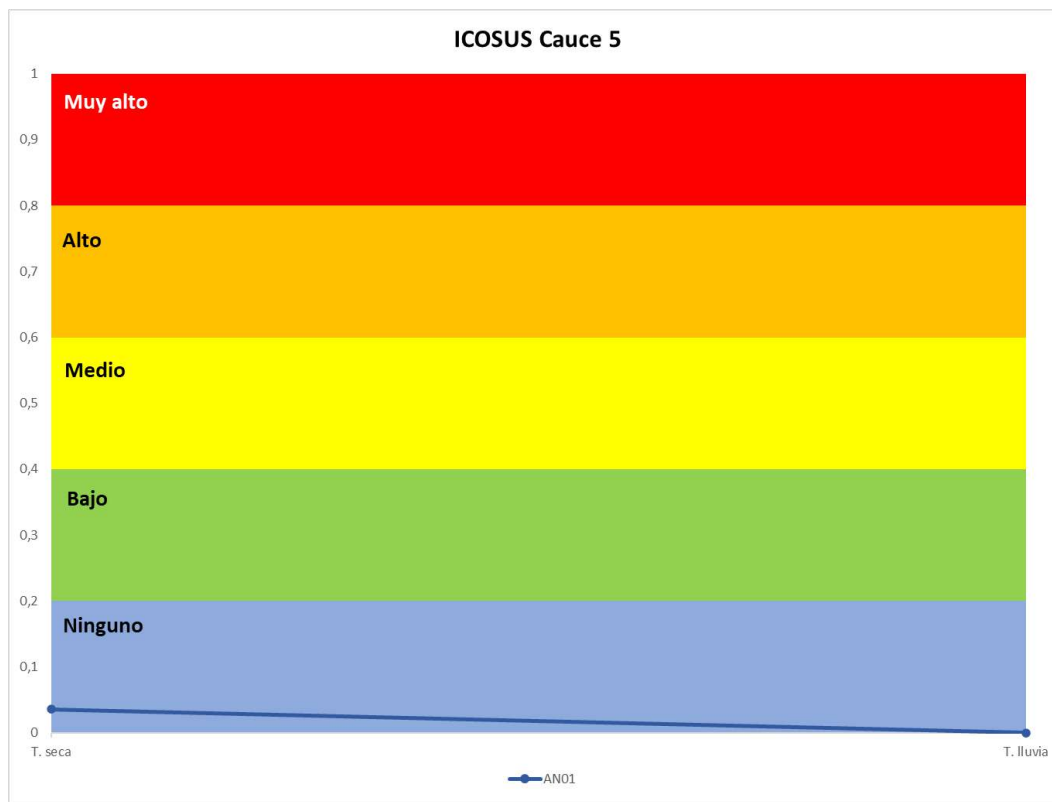


Figura 5.1.5.1.65 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en el Cauce 8, según la Figura 5.1.5.1.66 tanto en época seca y lluvia, el punto AN02 obtuvo clasificación “ninguno”.

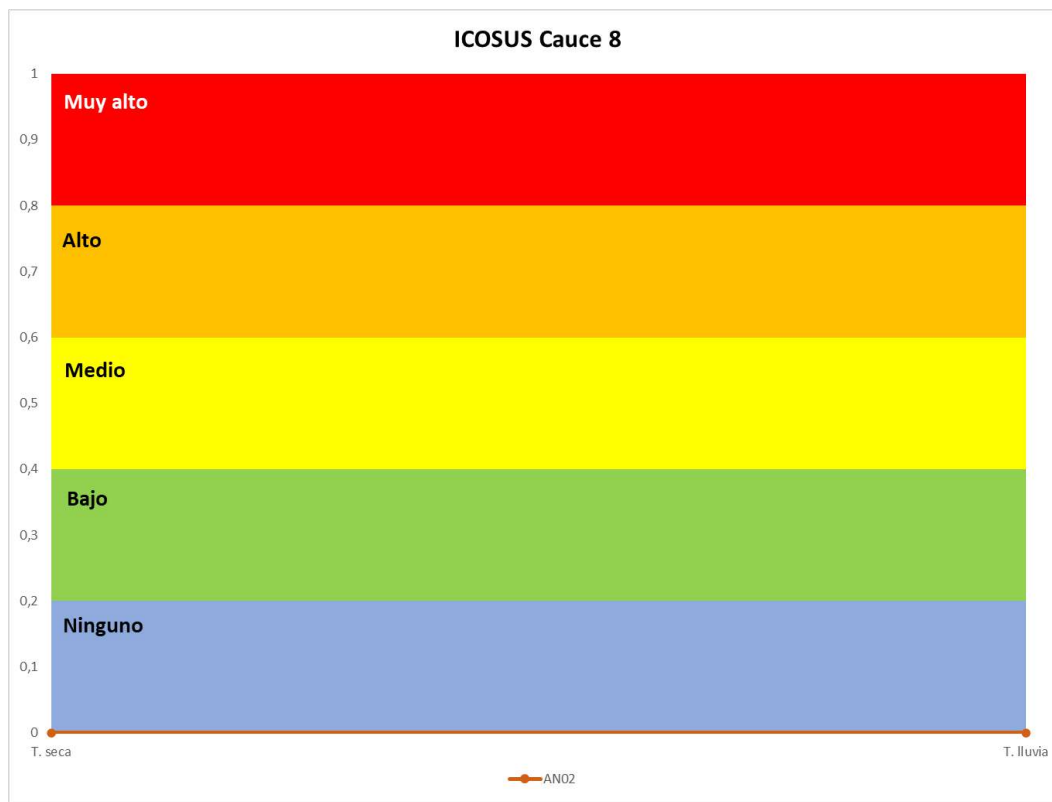


Figura 5.1.5.1.66 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada Torito, según la Figura 5.1.5.1.67 tanto en época seca y lluvia, el punto AN03 obtuvo clasificación “ninguno”.

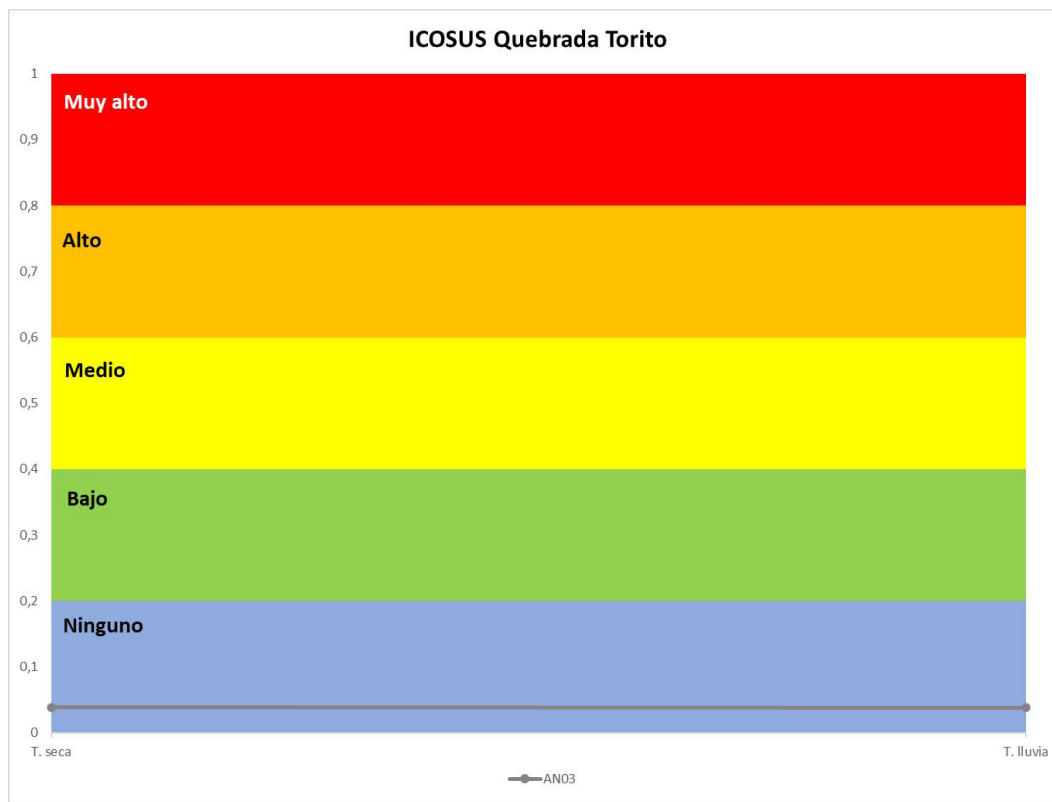


Figura 5.1.5.1.67 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en el Cauce 9, según la Figura 5.1.5.1.68Figura 5.1.5.1.61Figura 5.1.5.1.58 tanto en época seca y lluvia, los puntos AN04 y AN05, obtuvieron clasificación “ninguno”, siendo los de la época de lluvia los más altos.

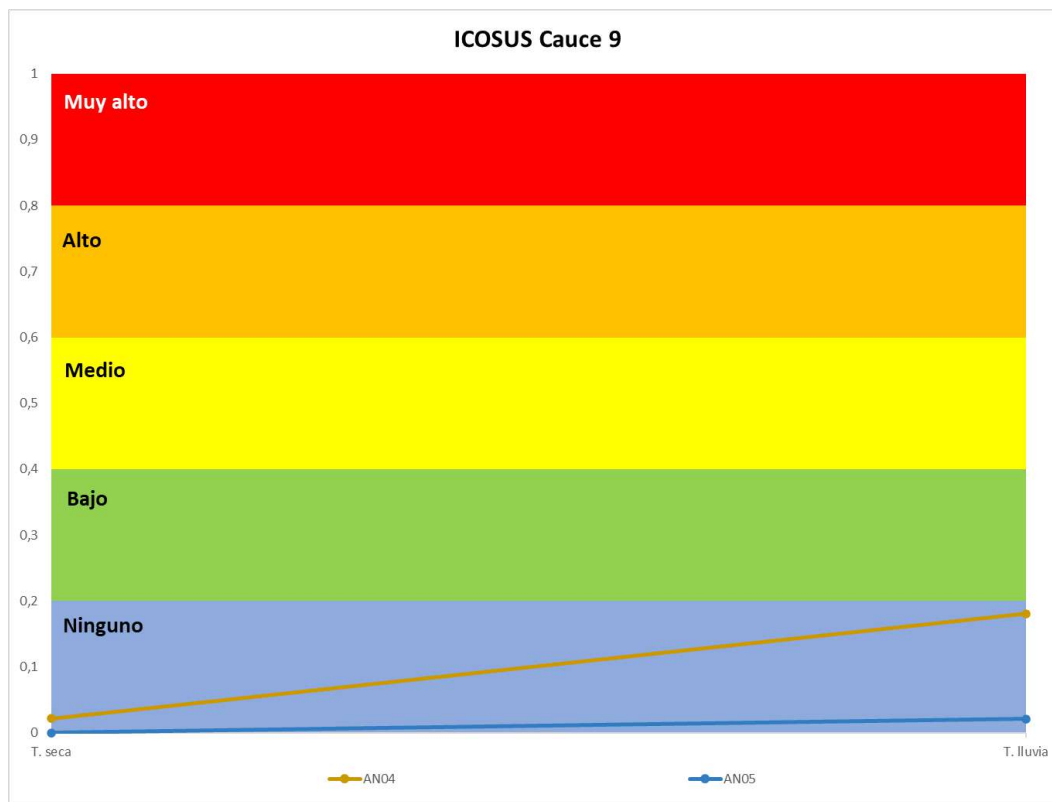


Figura 5.1.5.1.68 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en el Cauce 10, según la Figura 5.1.5.1.69 tanto en época seca y lluvia, el punto AN07, obtuvo clasificación “ninguno”.

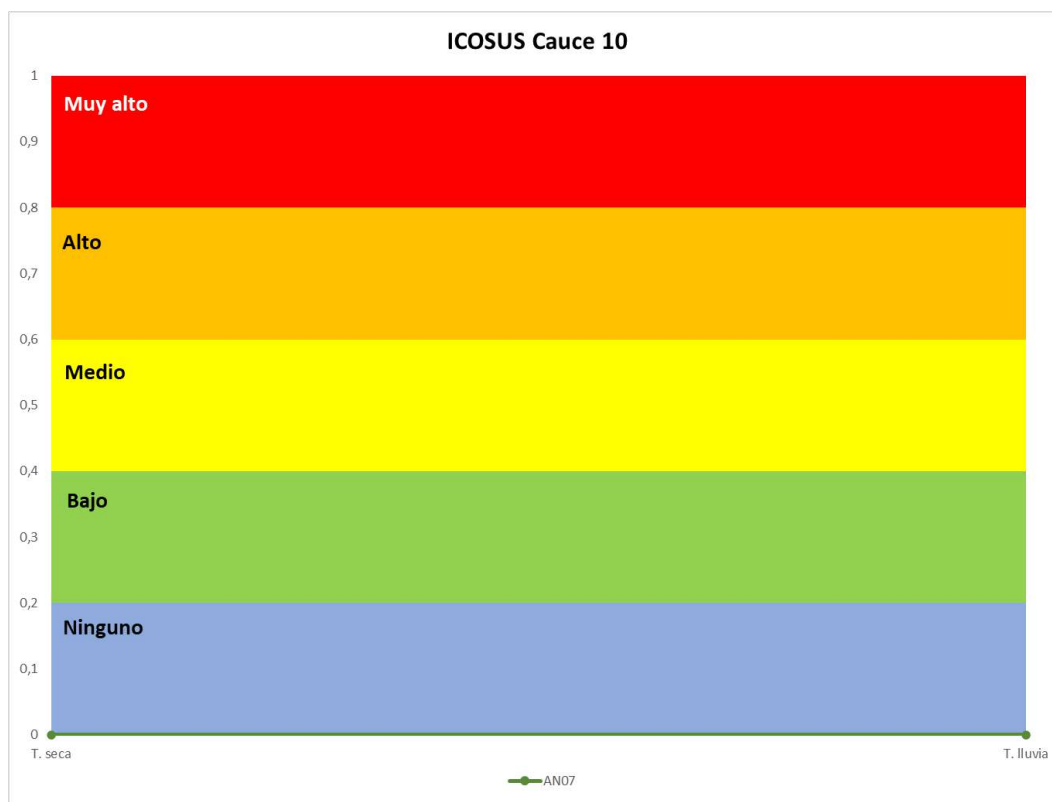


Figura 5.1.5.1.69 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en el Cauce 11, según la Figura 5.1.5.1.70 tanto en época seca y lluvia, el punto AN08 obtuvo clasificación “ninguno”.

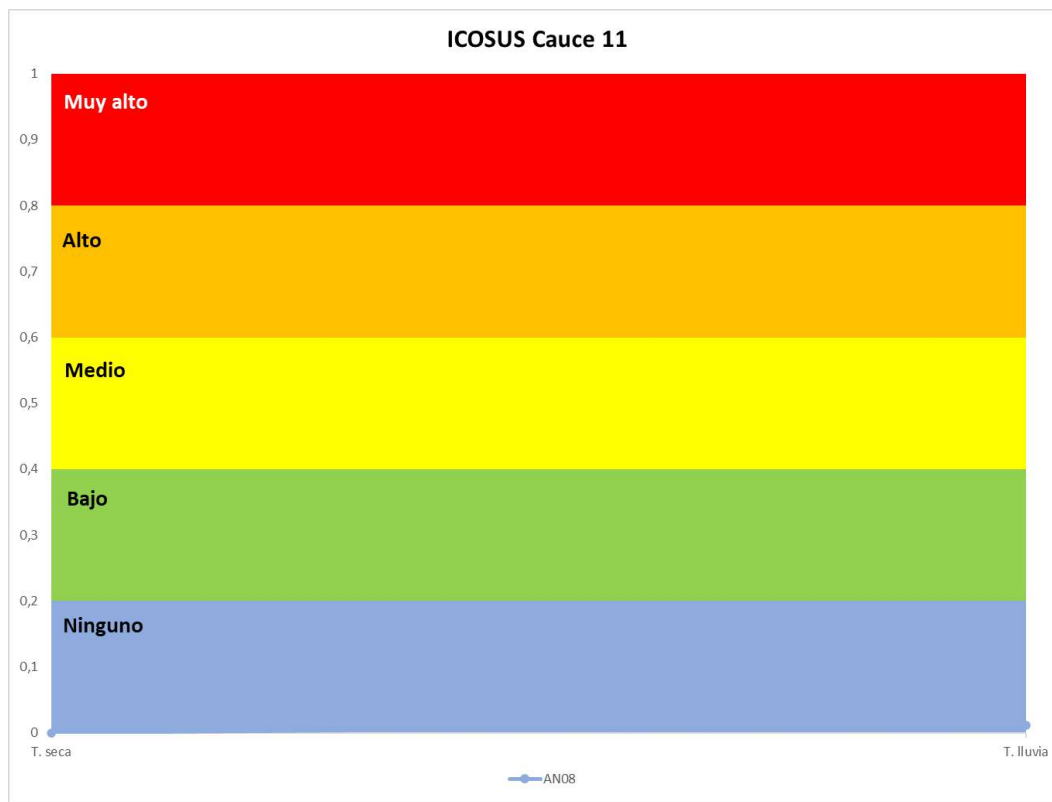


Figura 5.1.5.1.70 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada El Banco, según la Figura 5.1.5.1.71 tanto en época seca y lluvia, los puntos EB02 y EB03, obtuvieron clasificación “ninguno”.

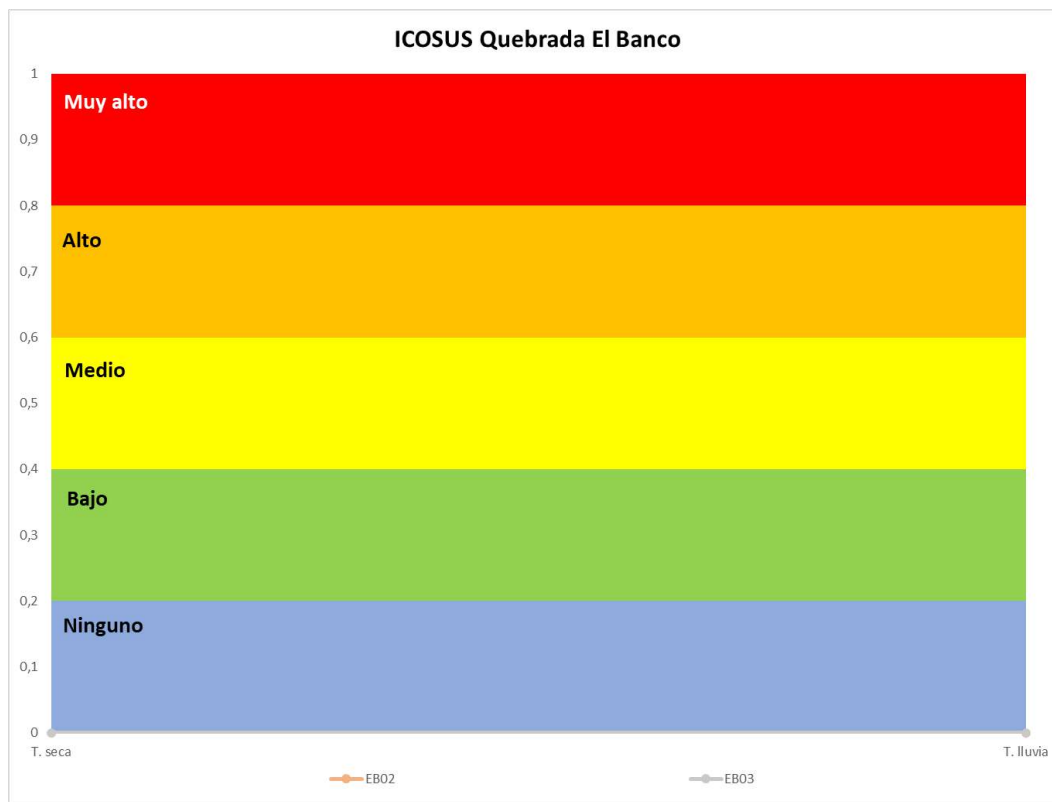


Figura 5.1.5.1.71 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada El Basal, según la Figura 5.1.5.1.72 para la época seca, los puntos B02 y B03 obtuvieron clasificación “muy alto”. Para la temporada de lluvia, el punto B02 obtuvo una clasificación “ninguno” y B03 permaneció en la clasificación “muy alto”.

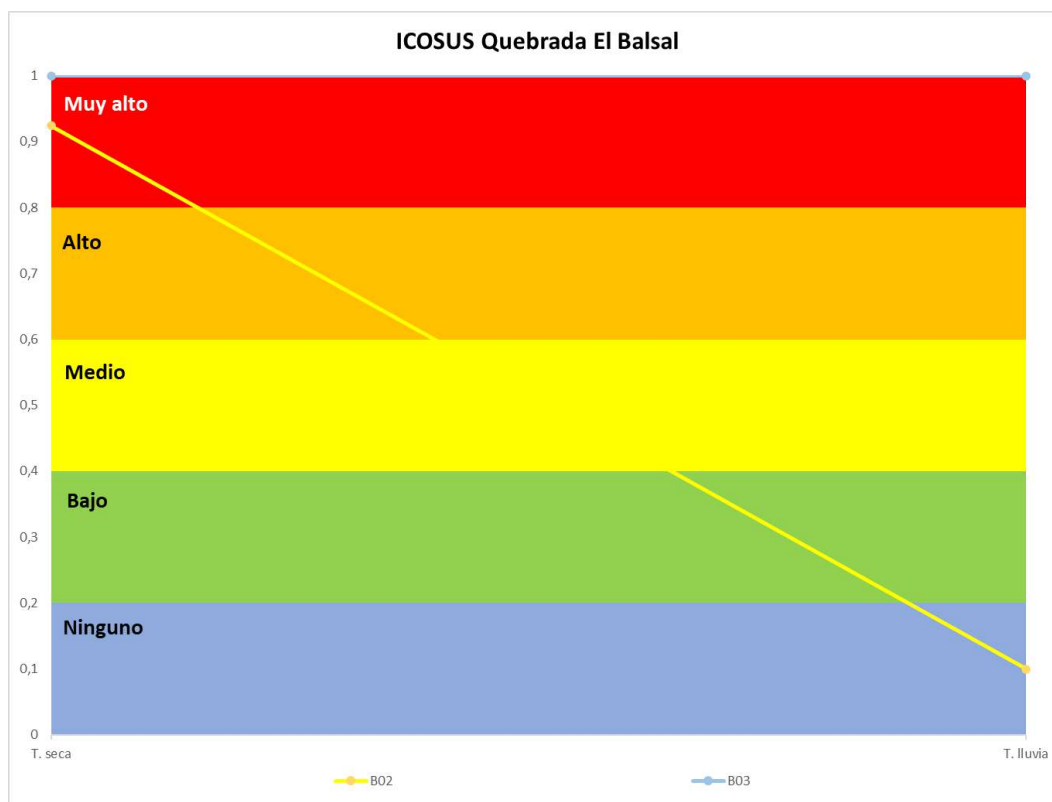


Figura 5.1.5.1.72 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada San Antonio, según la Figura 5.1.5.1.73 para las épocas seca y lluvia, los puntos SA02 y SA03 obtuvieron clasificación “ninguno”. Sin embargo, los resultados más altos se dieron en época de lluvia.

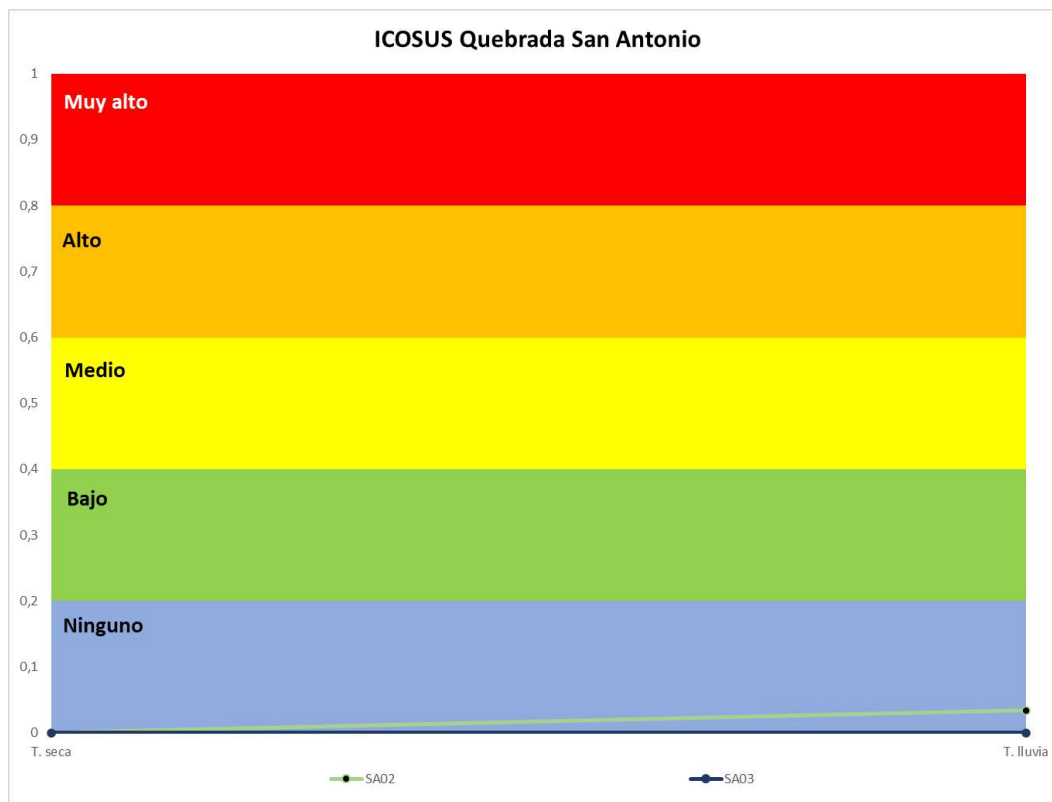


Figura 5.1.5.1.73 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada La Colorada, según la Figura 5.1.5.1.74 para la época seca, los puntos C02 y C03 obtuvieron clasificación “muy alto”. Para la temporada de lluvia, el punto C02 obtuvo una clasificación “bajo” y B03 permaneció en la clasificación “muy alto”.

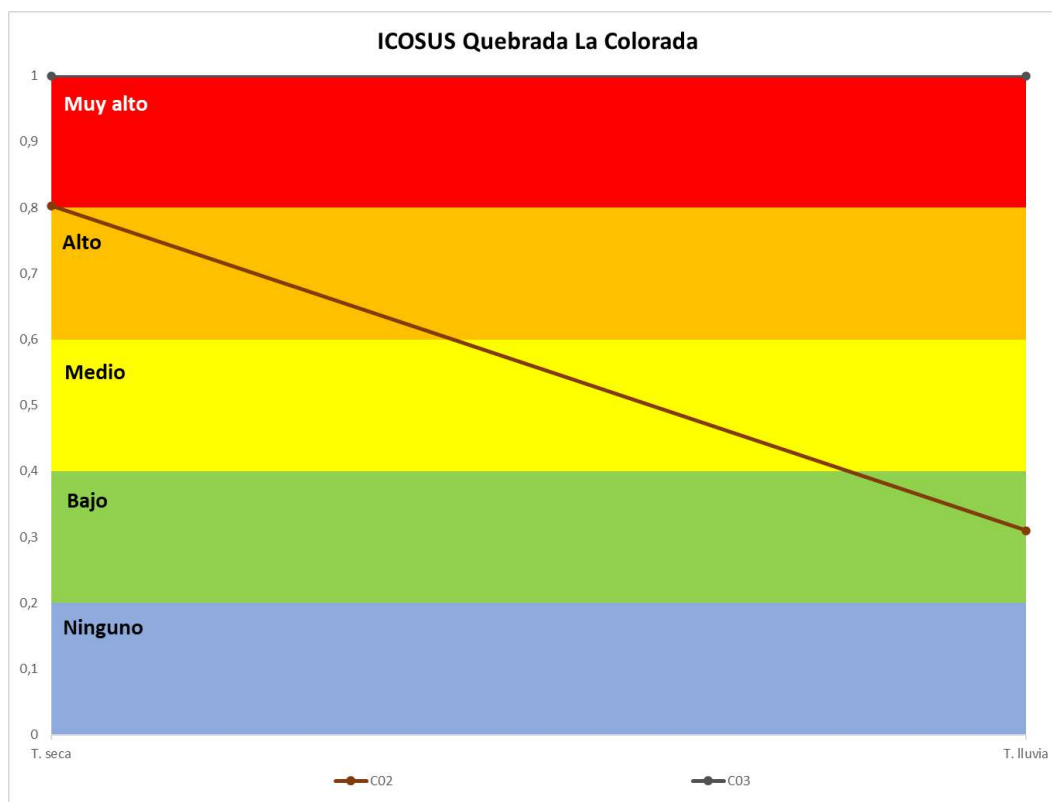


Figura 5.1.5.1.74 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada La María, según la Figura 5.1.5.1.75, tanto para la época seca y temporada de lluvia, los puntos LM01, LM02 y LM03 obtuvieron clasificación “ninguno”. Sin embargo, los resultados más altos fueron para la temporada de lluvias.

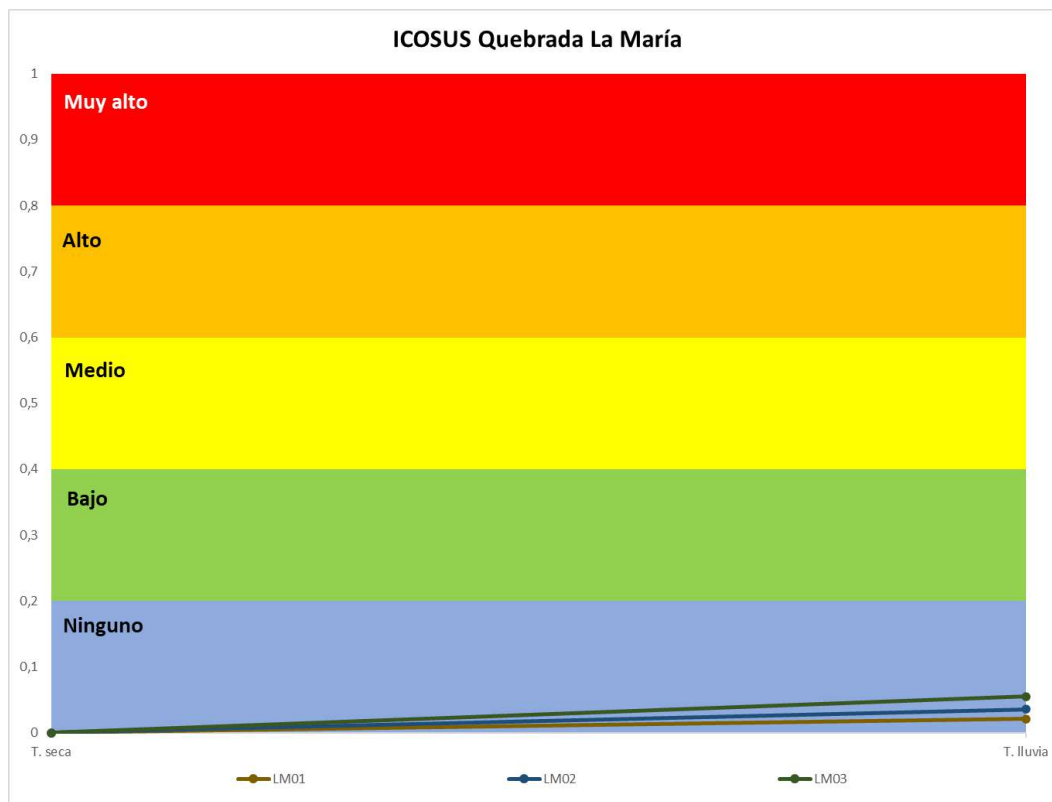


Figura 5.1.5.1.75 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada Guacas, según la Figura 5.1.5.1.76, para la época seca, los puntos G03 y G05 obtuvieron clasificación “ninguno”. Para la temporada de lluvia, G03 obtuvo clasificación “muy alto” y G05 permaneció en clasificación “ninguno”. Los resultados más altos fueron para la temporada de lluvias.

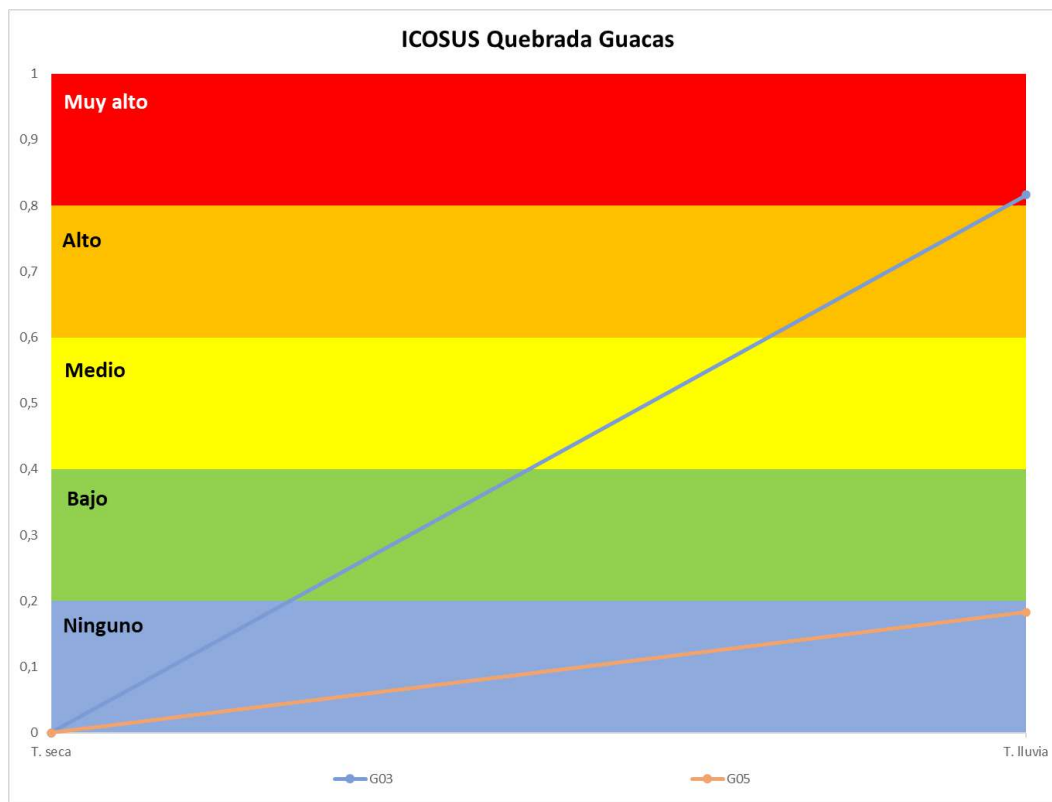


Figura 5.1.5.1.76 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOSUS en la quebrada La Palestina, según la Figura 5.1.5.1.77, para la época seca, los puntos P03, P04, P05, P06, P07, P08 y P10 obtuvieron clasificación “ninguno”. Para la temporada de lluvia, sólo P03 obtuvo clasificación “alto”, el resto de los puntos permanecieron en clasificación “ninguno”.

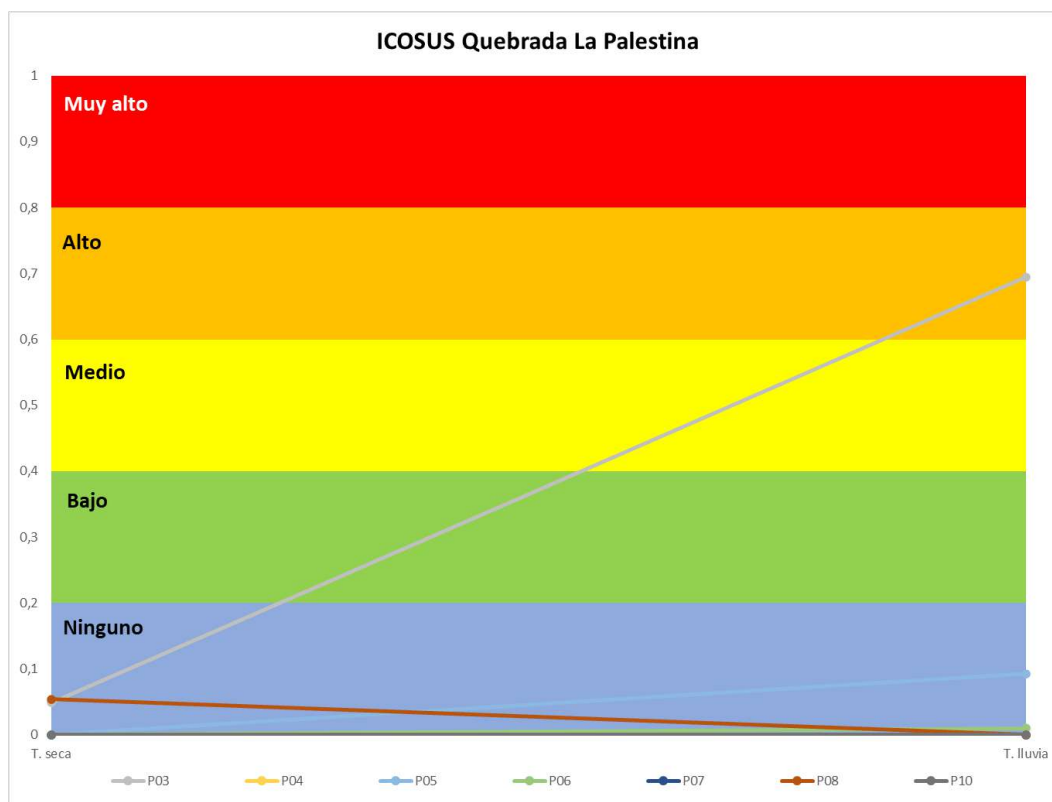


Figura 5.1.5.1.77 índice ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En la Figura 5.1.5.1.78 se presenta el consolidado comparativo de los resultados obtenidos para el ICOSUS en las dos campañas de monitoreo para las cuencas monitoreadas.

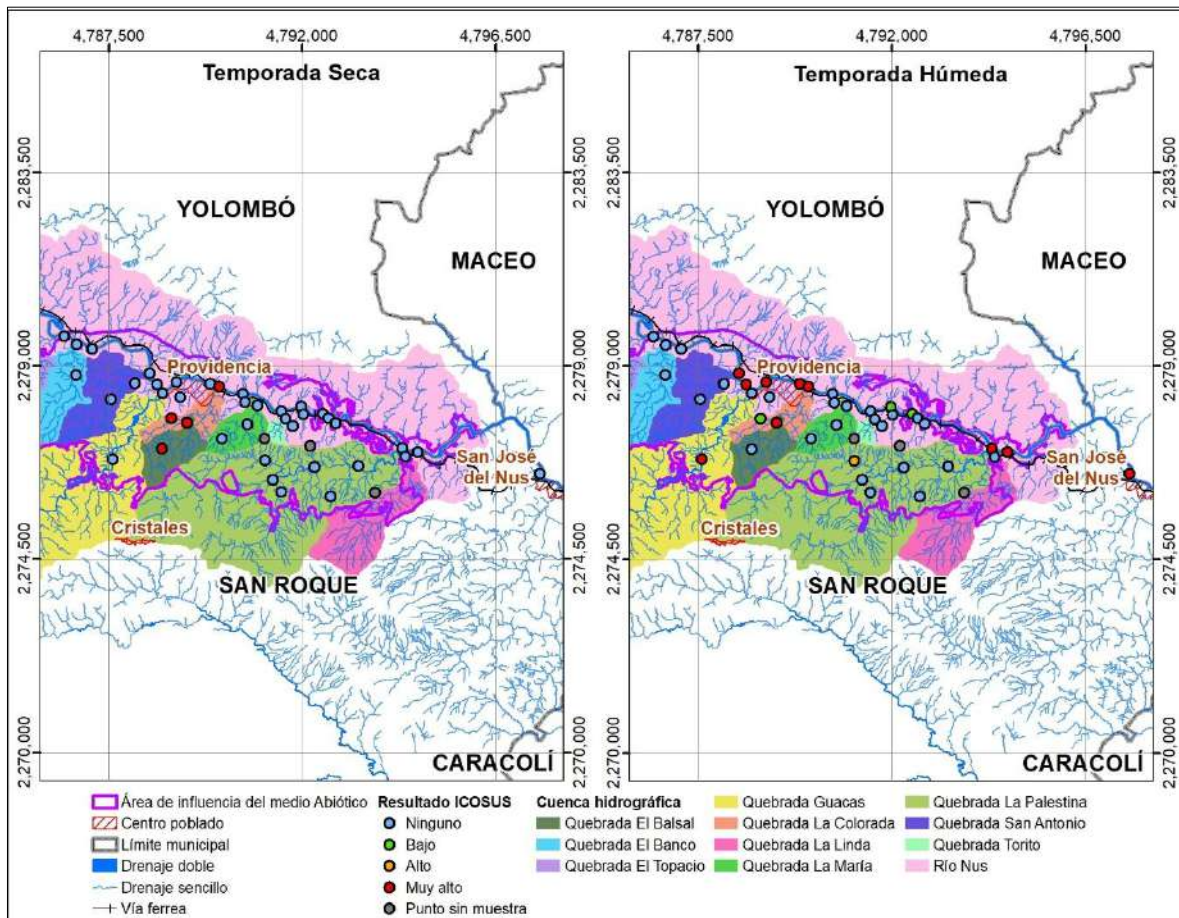


Figura 5.1.5.1.78 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOSUS: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

- **COpH**

En ambas temporalidades, el ICOpH se clasificó mayoritariamente como “ninguno”, evidenciando que el pH no representa un factor relevante de alteración en los puntos evaluados. En época seca todos los puntos registraron esta categoría, mientras que en época lluviosa la tendencia se mantuvo, con la única excepción de EB03, donde se presentó una clasificación “media”. A continuación, se presentan los resultados para cada uno de los cauces evaluados:

El índice ICOpH en la quebrada el Río Nus, según la Figura 5.1.5.1.79 tanto para Figura 5.1.5.1.61Figura 5.1.5.1.58la época seca y temporada de lluvia, se obtuvo una clasificación “ninguno”.

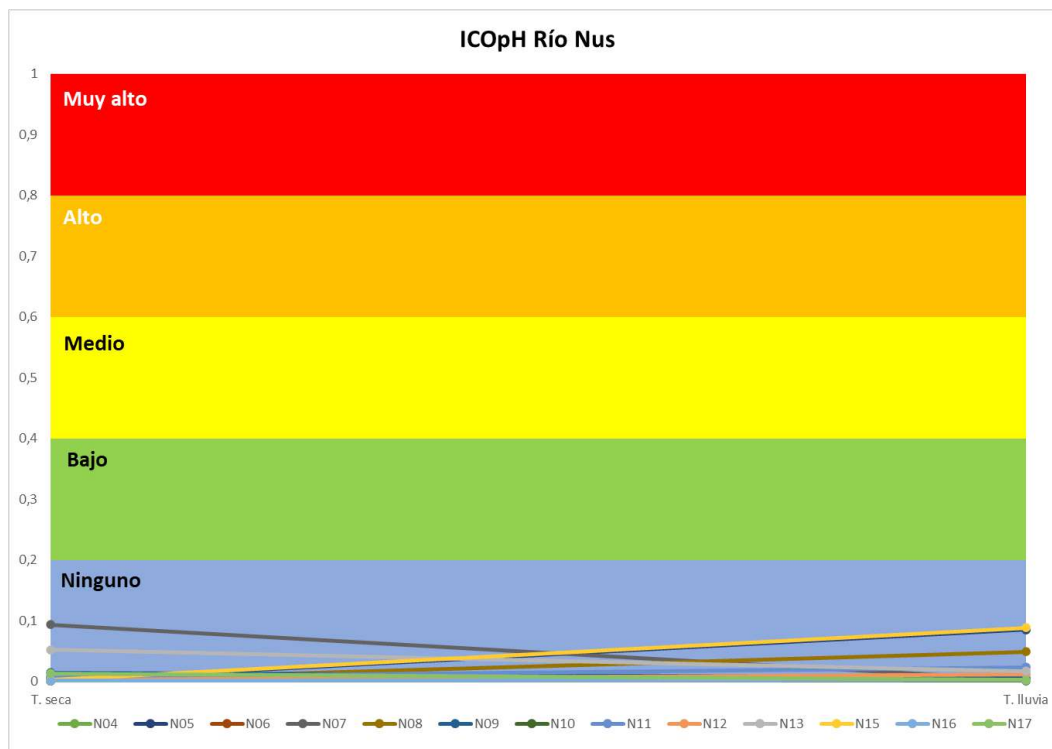


Figura 5.1.5.1.79 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en el cauce 5, según la Figura 5.1.5.1.80 tanto para la época seca y temporada de lluvia, el punto AN01 obtuvo una clasificación “ninguno”.

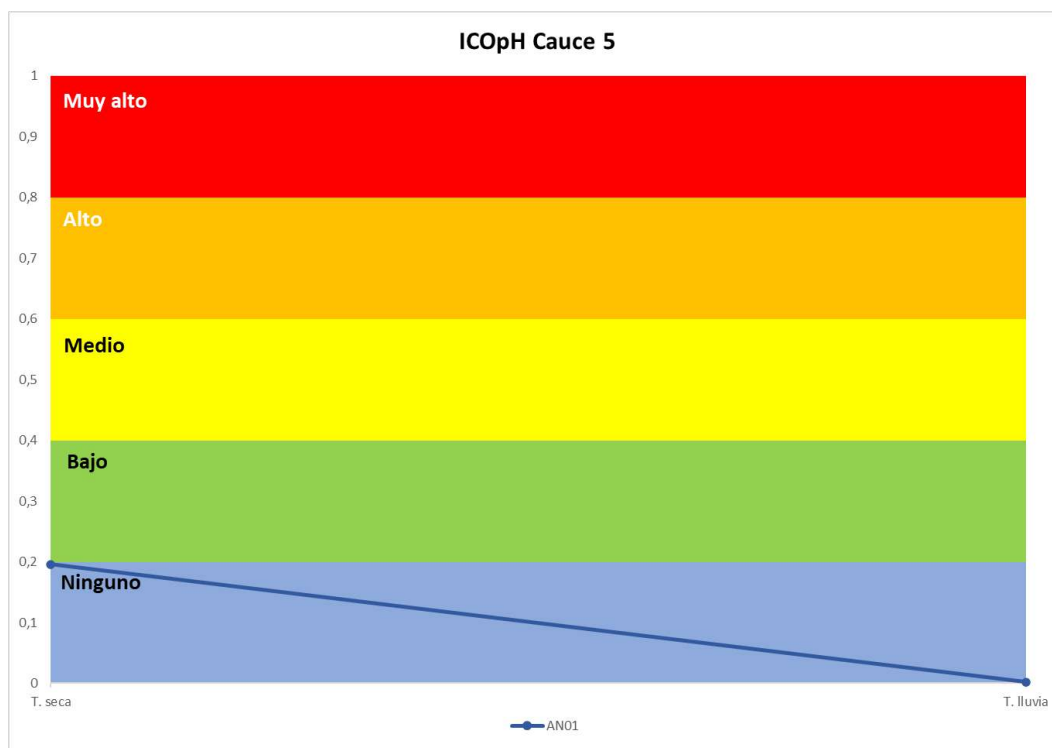


Figura 5.1.5.1.80 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en el cauce 8, según la Figura 5.1.5.1.81 tanto para la época seca y temporada de lluvia, el punto AN02 obtuvo una clasificación “ninguno”.

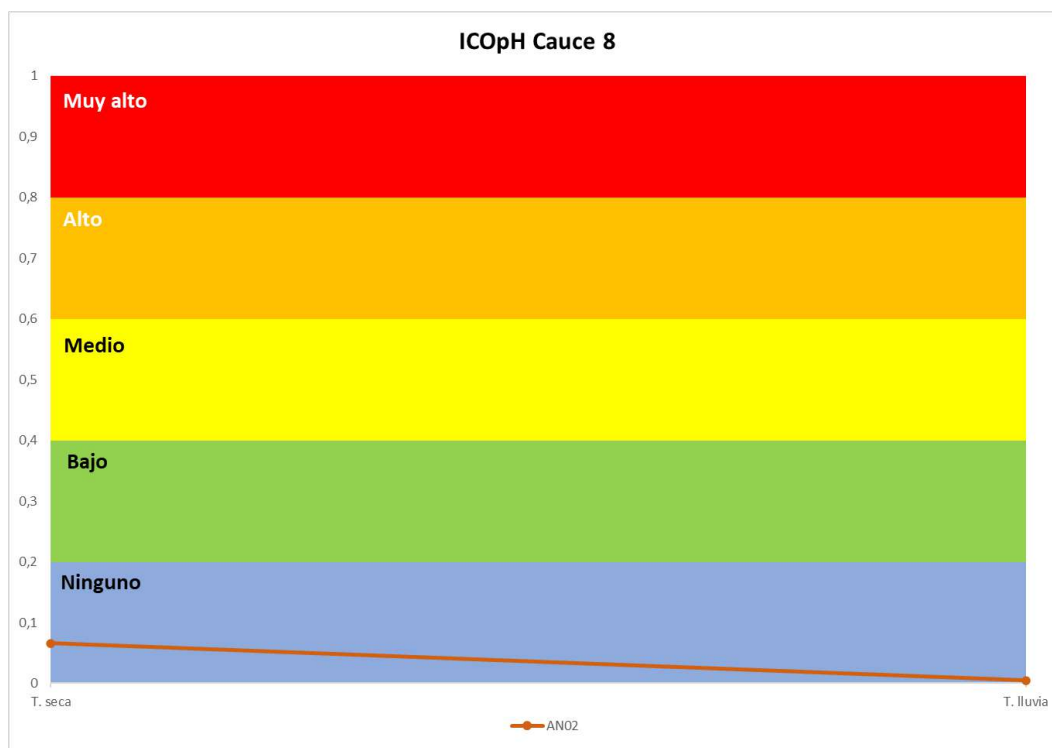


Figura 5.1.5.1.81 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada Torito, según la Figura 5.1.5.1.82 tanto para la época seca y temporada de lluvia, el punto AN03 obtuvo una clasificación “ninguno”.

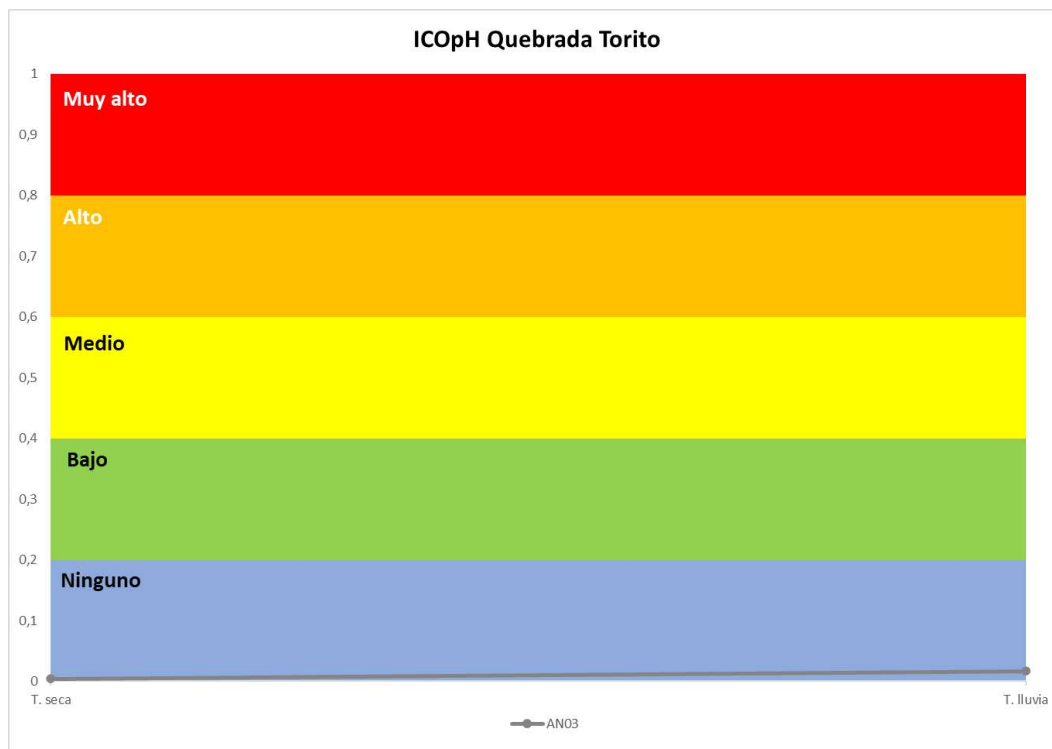


Figura 5.1.5.1.82 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en el Cauce 9, según la Figura 5.1.5.1.83 tanto para la época seca y temporada de lluvia, los puntos AN04 y AN05 obtuvieron una clasificación “ninguno”.

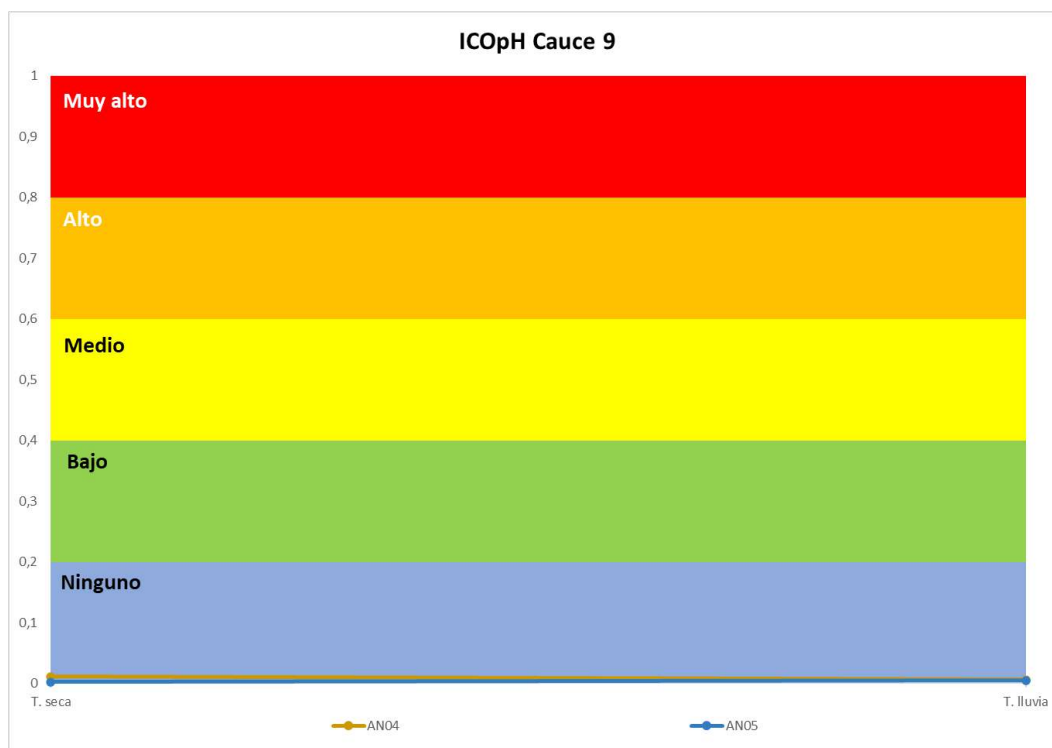


Figura 5.1.5.1.83 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en el Cauce 10, según la Figura 5.1.5.1.84 tanto para la época seca y temporada de lluvia, el punto AN07 obtuvo una clasificación “ninguno”.

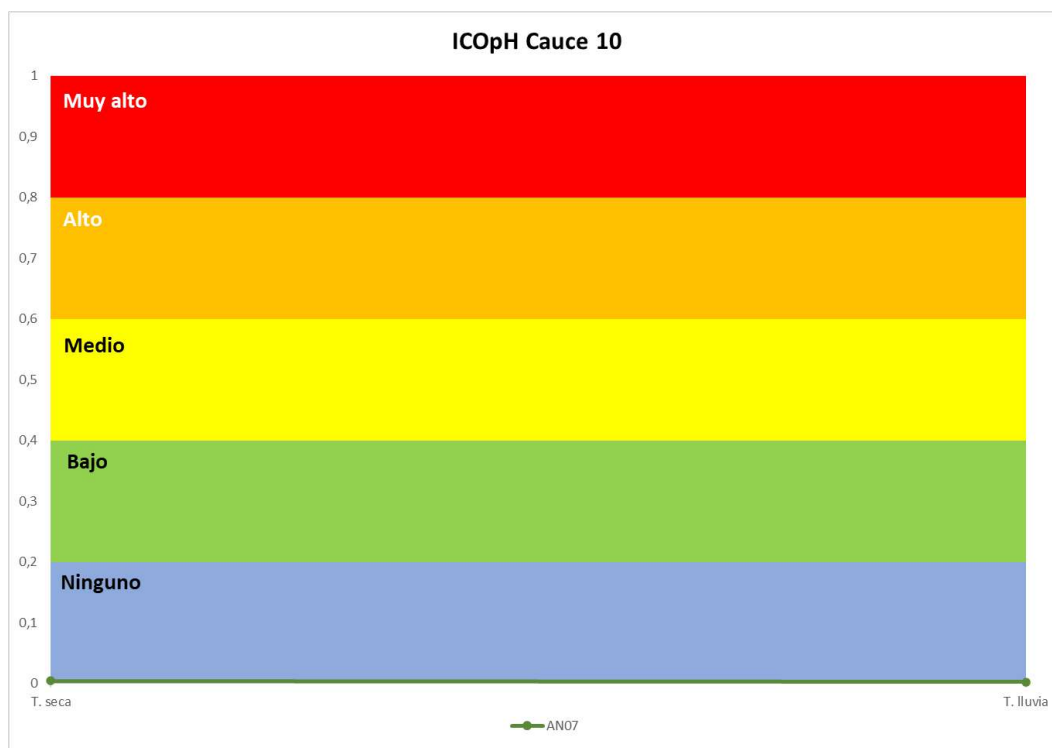


Figura 5.1.5.1.84 índice ICOPH: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOPH en el Cauce 11, según la Figura 5.1.5.1.85 para la época seca y temporada de lluvia, el punto AN08 obtuvo una clasificación “ninguno”.



Figura 5.1.5.1.85 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada El Banco, según la Figura 5.1.5.1.86 para la época seca los puntos EB02 y EB03, obtuvieron una clasificación “ninguno”. Para la temporada de lluvia, el punto EB02 permaneció en la clasificación “ninguno”, mientras que EB03 obtuvo una clasificación “medio”.

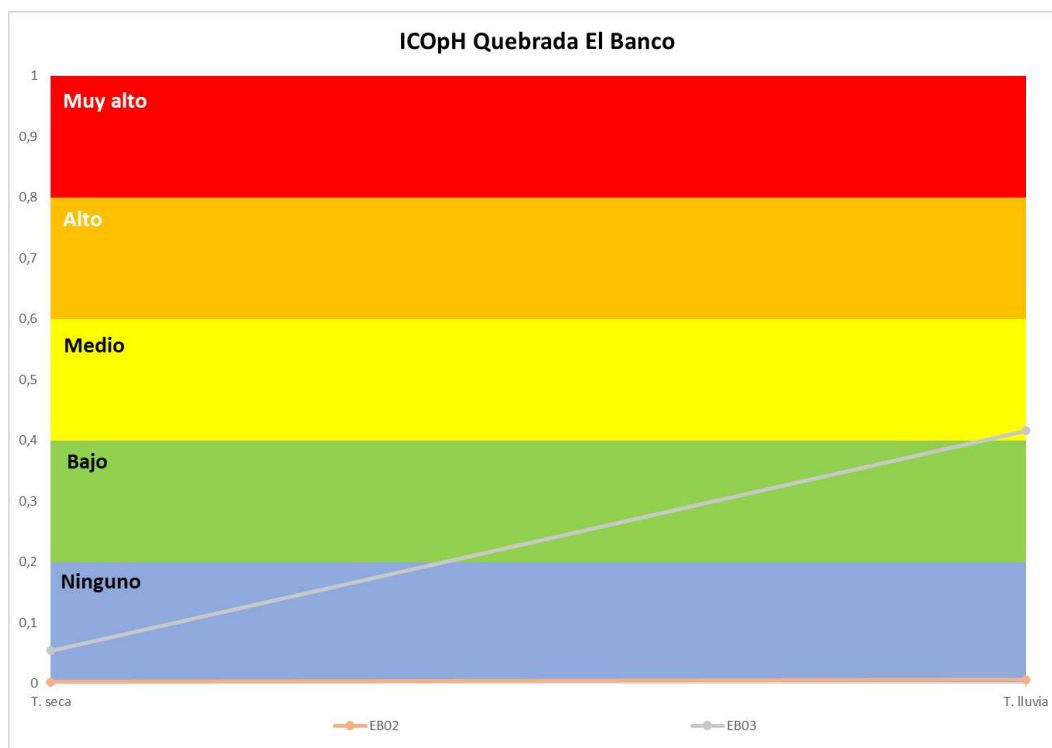


Figura 5.1.5.1.86 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada El Balsal, según la Figura 5.1.5.1.87 para las épocas seca y lluvia, los puntos B02 y B03, obtuvieron una clasificación “ninguno”.

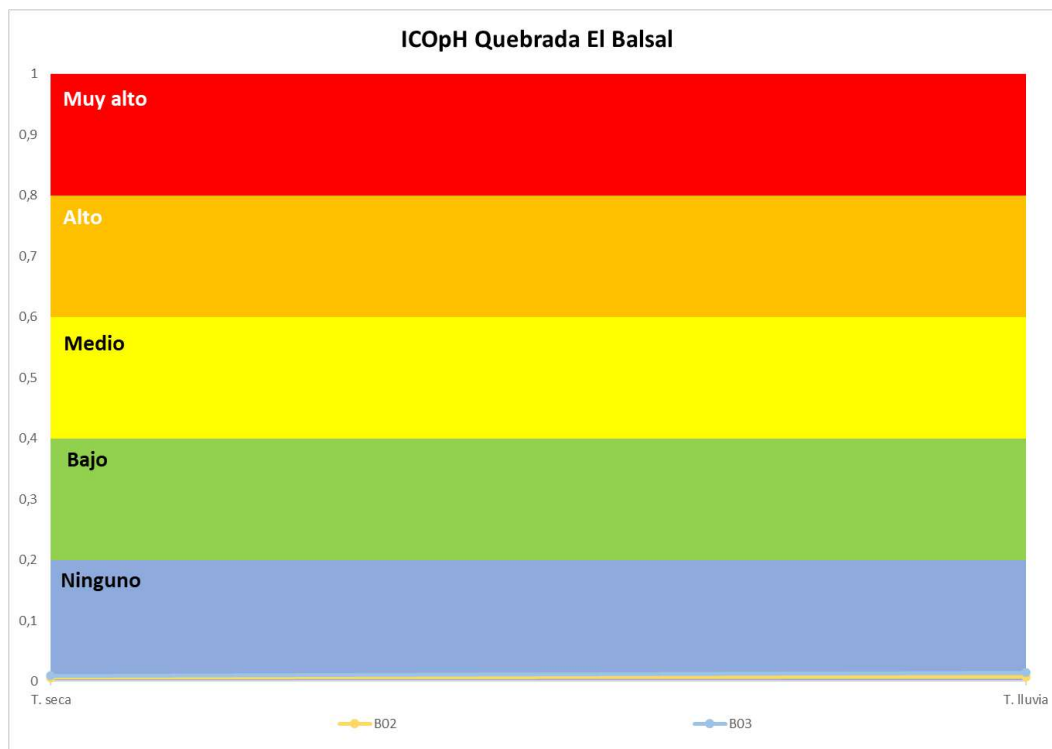


Figura 5.1.5.1.87 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada San Antonio, según la Figura 5.1.5.1.88 para la época seca y temporada de lluvia, los puntos SA02 y SA03 obtuvieron una clasificación “ninguno”.

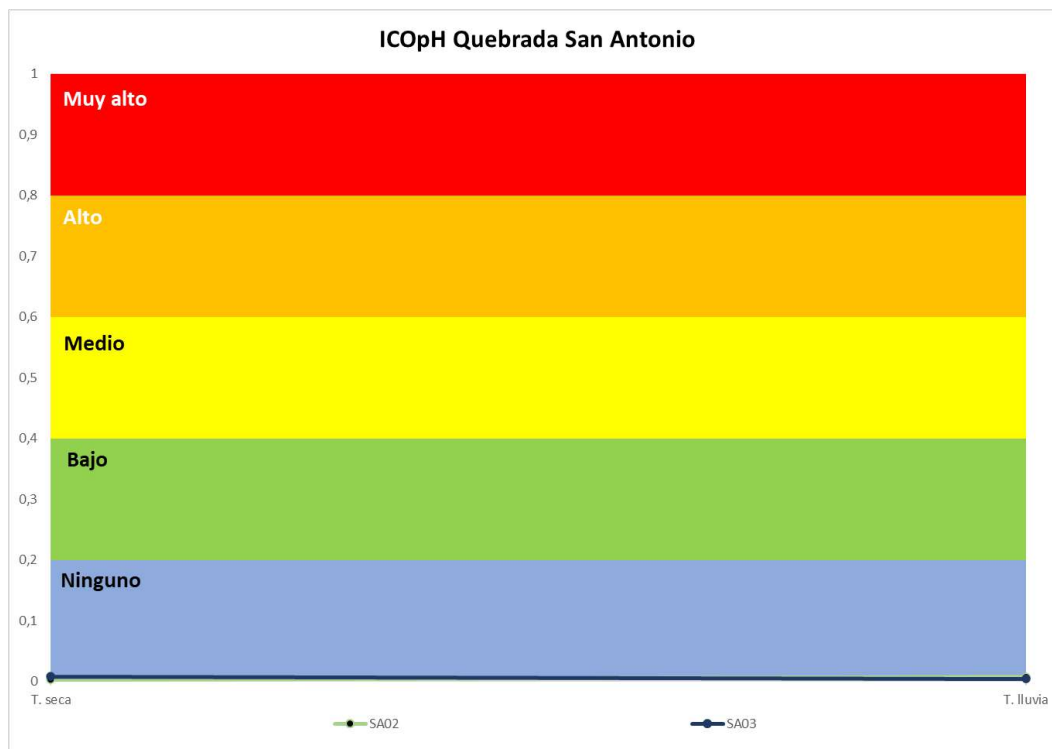


Figura 5.1.5.1.88 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada La Colorada, según la Figura 5.1.5.1.89 para la época seca y temporada de lluvias, los puntos C02 y C03, obtuvieron una clasificación “ninguno”.

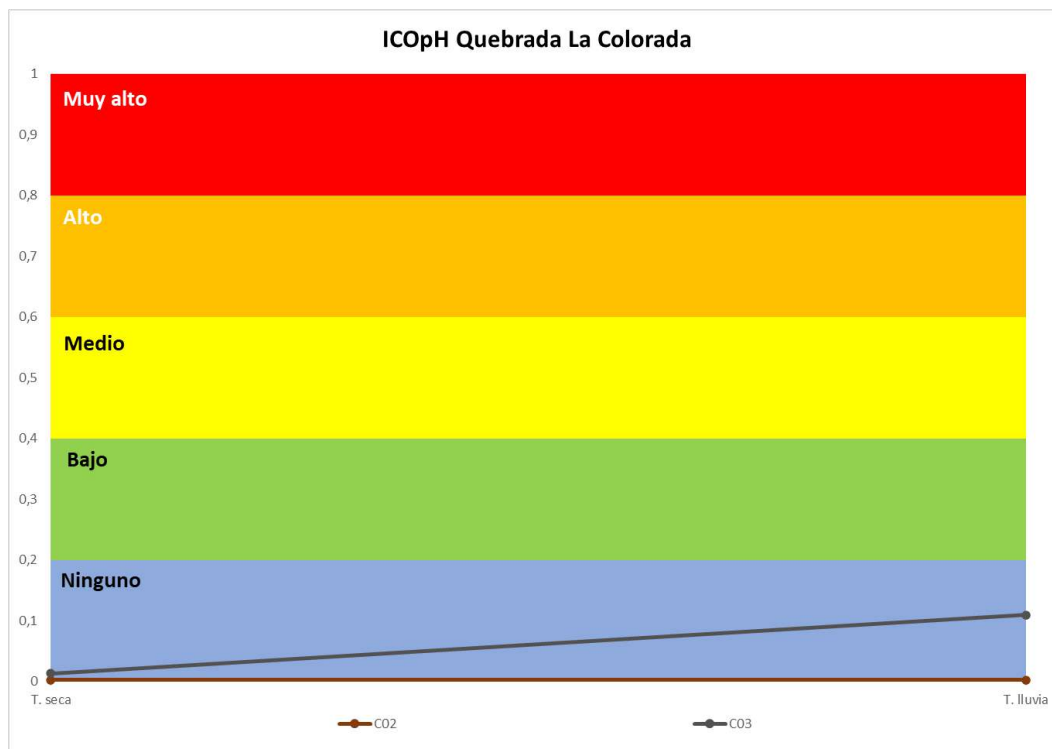


Figura 5.1.5.1.89 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada La María, según la Figura 5.1.5.1.90 para la época seca y temporada de lluvia, los puntos LM01, LM02 y LM03, obtuvieron una clasificación “ninguno”.

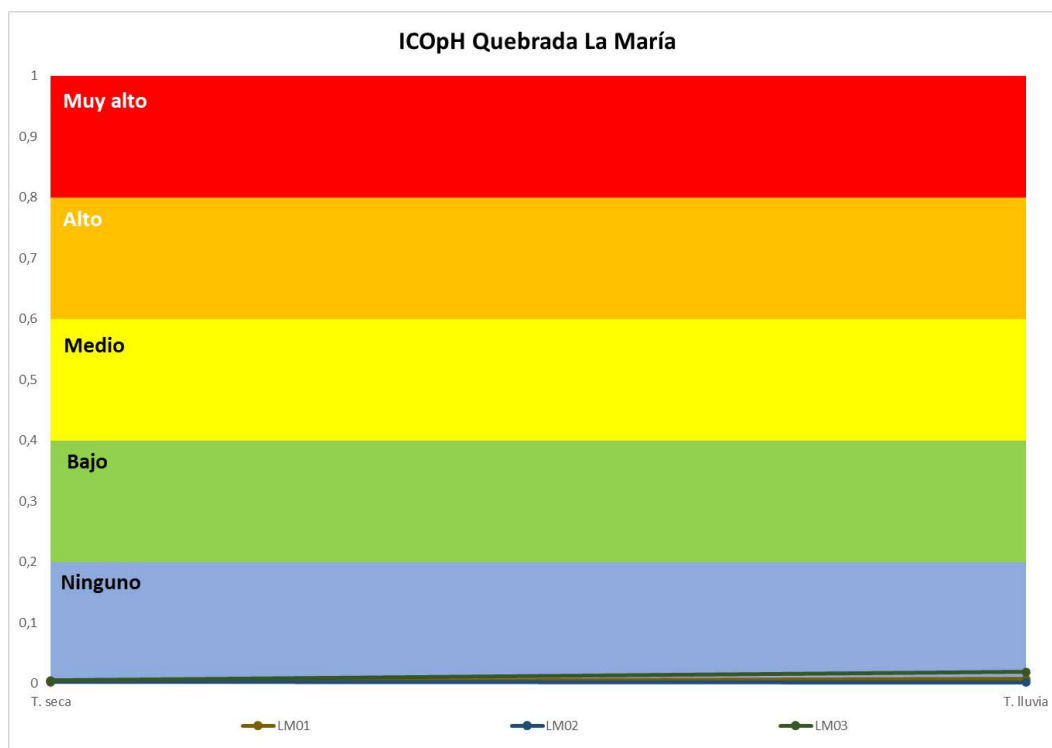


Figura 5.1.5.1.90 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada Guacas, según la Figura 5.1.5.1.91 para la época seca y temporada de lluvia, los puntos G03 y G05, obtuvieron una clasificación “ninguno”.



Figura 5.1.5.1.91 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOpH en la quebrada La Palestina, según la Figura 5.1.5.1.92 para la época seca y temporada de lluvia, los puntos P03, P04, P05, P06, P07, P08 y P10, obtuvieron una clasificación “ninguno”.

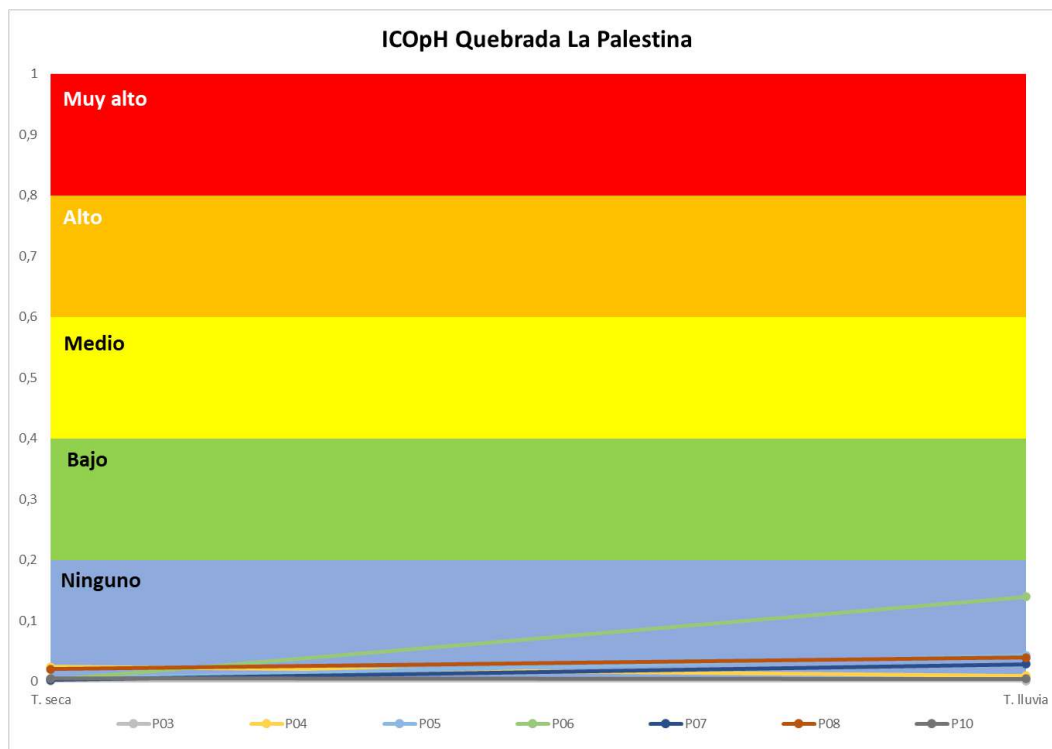


Figura 5.1.5.1.92 índice ICOpH: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En la Figura 5.1.5.1.93 se presenta el consolidado comparativo de los resultados obtenidos para el ICOpH en las dos campañas de monitoreo para las cuencas monitoreadas.

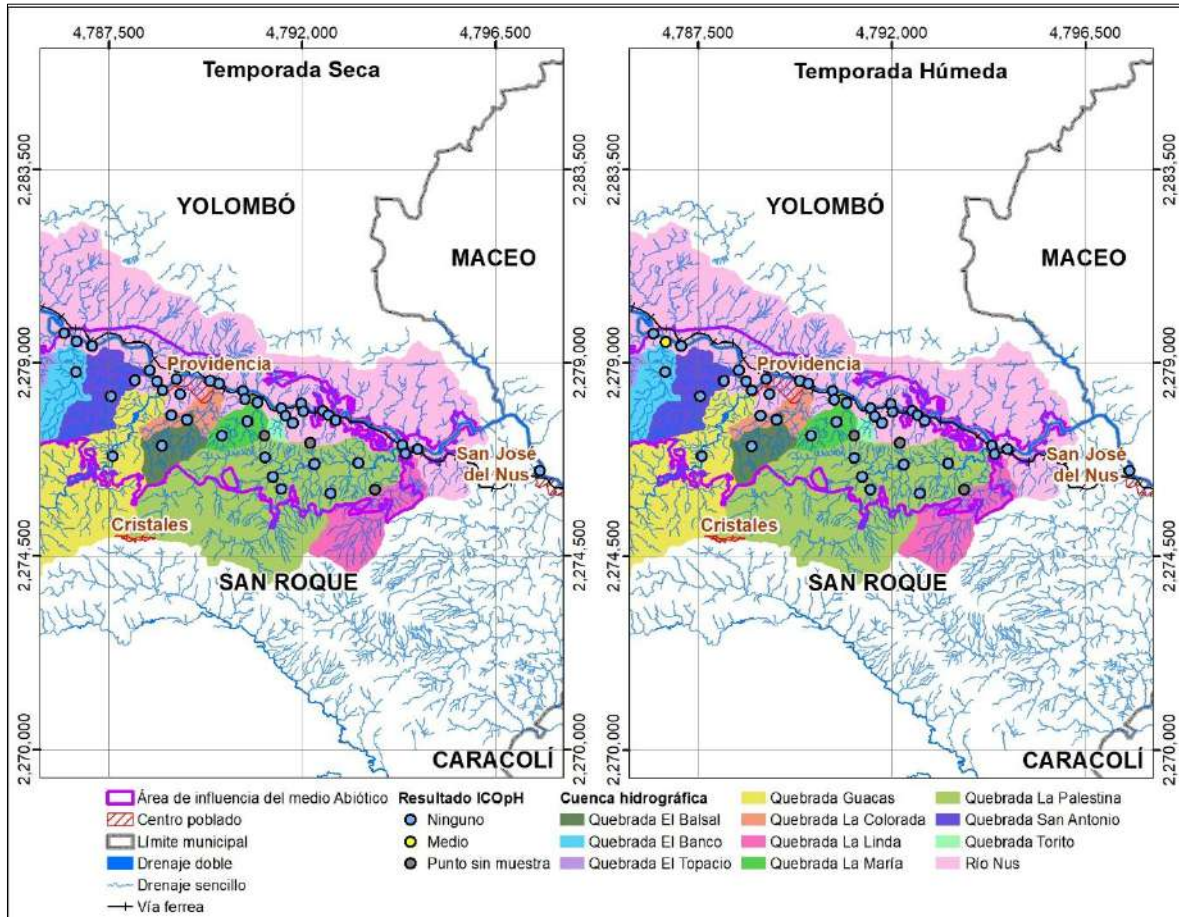


Figura 5.1.5.1.93 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOPH: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

• ICOMO

El ICOMO presentó un patrón similar en ambas épocas, con clasificaciones que oscilaron entre “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto”, variaciones asociadas directamente a las concentraciones de DBO_5 y a las poblaciones de coliformes registradas en cada punto. No se evidenciaron diferencias marcadas entre temporalidades, lo que indica que la carga orgánica mantiene una dinámica relativamente constante. A continuación, se presentan los resultados para cada uno de los cauces evaluados

El índice ICOMO en el Río Nus, según la Figura 5.1.5.1.94 para la época seca y temporada de lluvia, presentó clasificaciones entre “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto”, sin evidencias significativas entre época seca y temporada de lluvia.

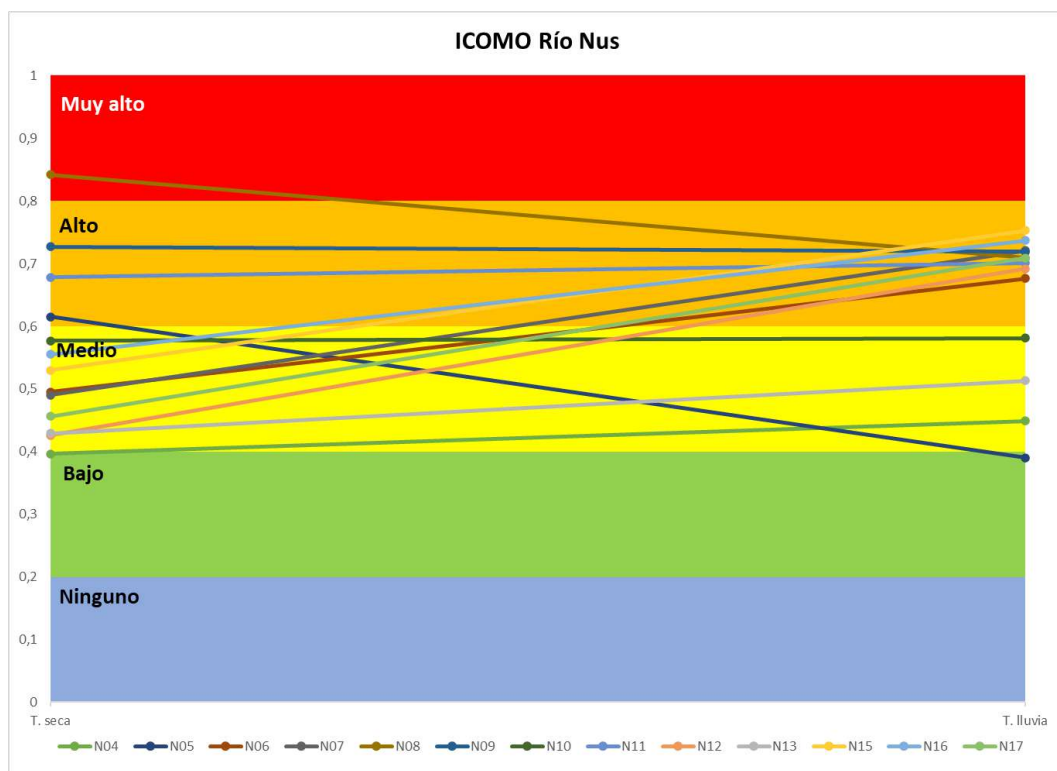


Figura 5.1.5.1.94 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Río Nus

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en el cauce 5, según la Figura 5.1.5.1.95 el punto AN01 presentó una clasificación “medio” para la época seca, mientras que para la temporada de lluvia la clasificación fue “alto”.

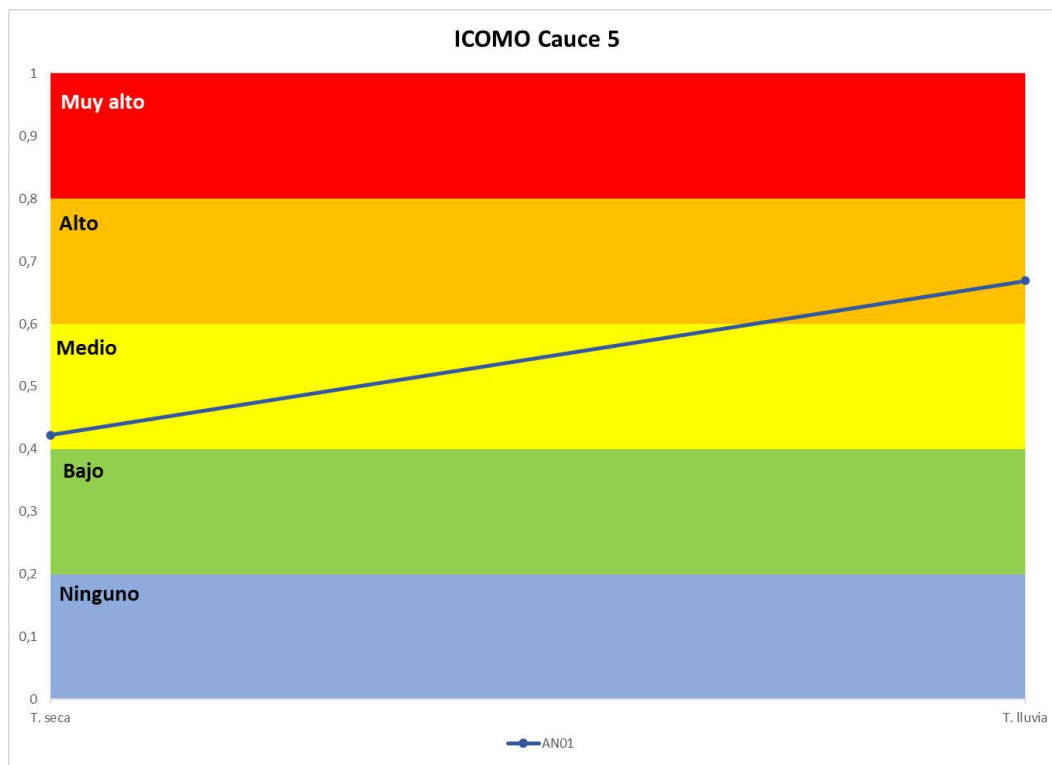


Figura 5.1.5.1.95 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 5

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en el cauce 8, según la Figura 5.1.5.1.96 el punto AN02 presentó una clasificación “medio” para la época seca y para la temporada de lluvia.

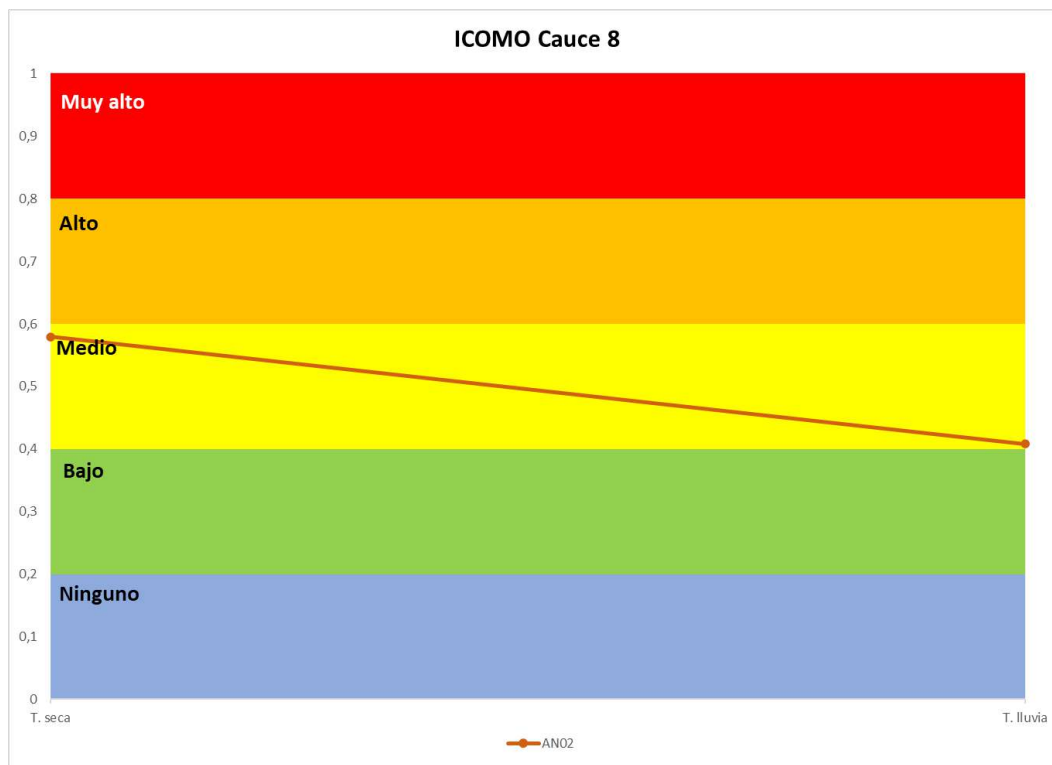


Figura 5.1.5.1.96 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 8

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada Torito, según la Figura 5.1.5.1.97 el punto AN03 presentó una clasificación “medio” para la época seca, mientras que para la temporada de lluvia la clasificación fue “alto”.

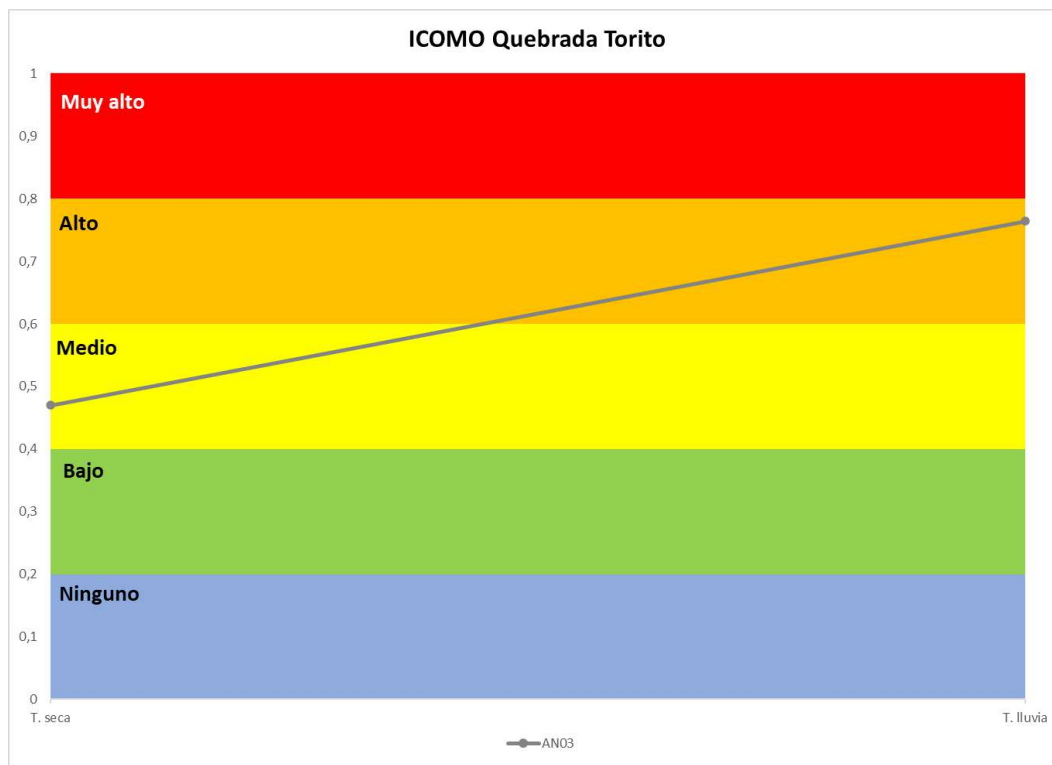


Figura 5.1.5.1.97 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Torito

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en el Cauce 9, según la Figura 5.1.5.1.98 para la época seca el punto AN04 presentó una clasificación “medio”, mientras que para el punto AN05 presentó una clasificación “alto”. Para la temporada de lluvia la clasificación fue “alto” para ambos puntos.

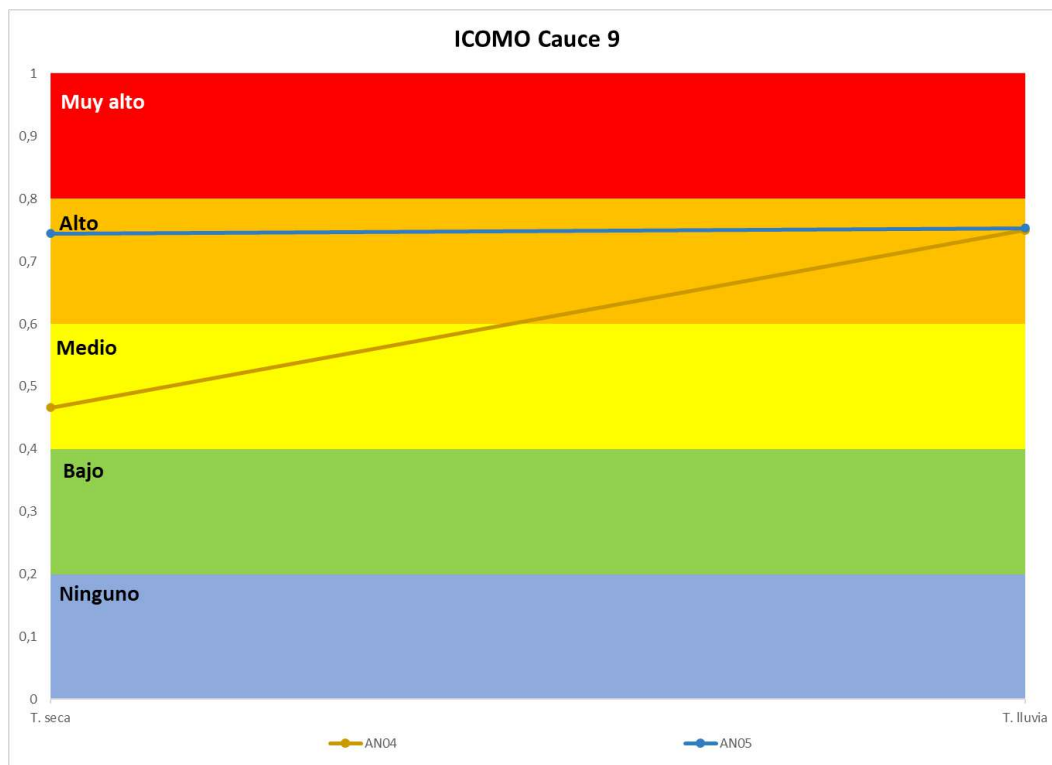


Figura 5.1.5.1.98 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 9

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en el Cauce 10, según la Figura 5.1.5.1.99 para la época seca y temporada de lluvia el punto AN07 presentó una clasificación “medio”.

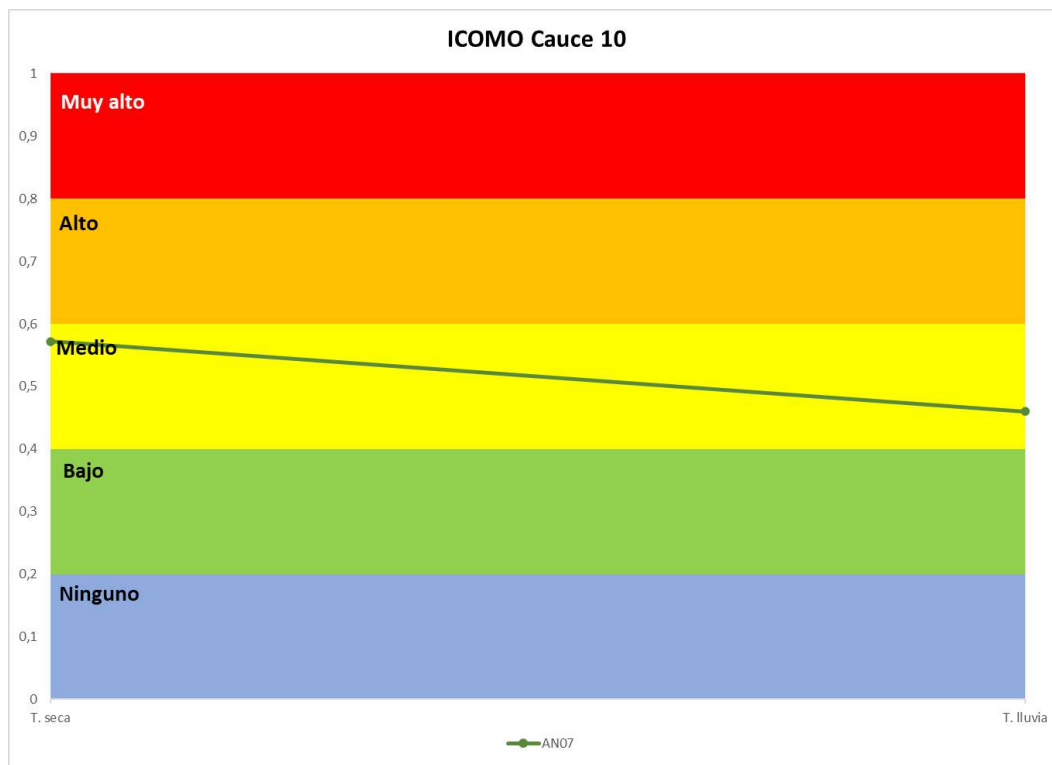


Figura 5.1.5.1.99 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 10

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en el Cauce 11, según la Figura 5.1.5.1.100 para la época seca y temporada de lluvia, el punto AN08 presentó una clasificación “medio”.

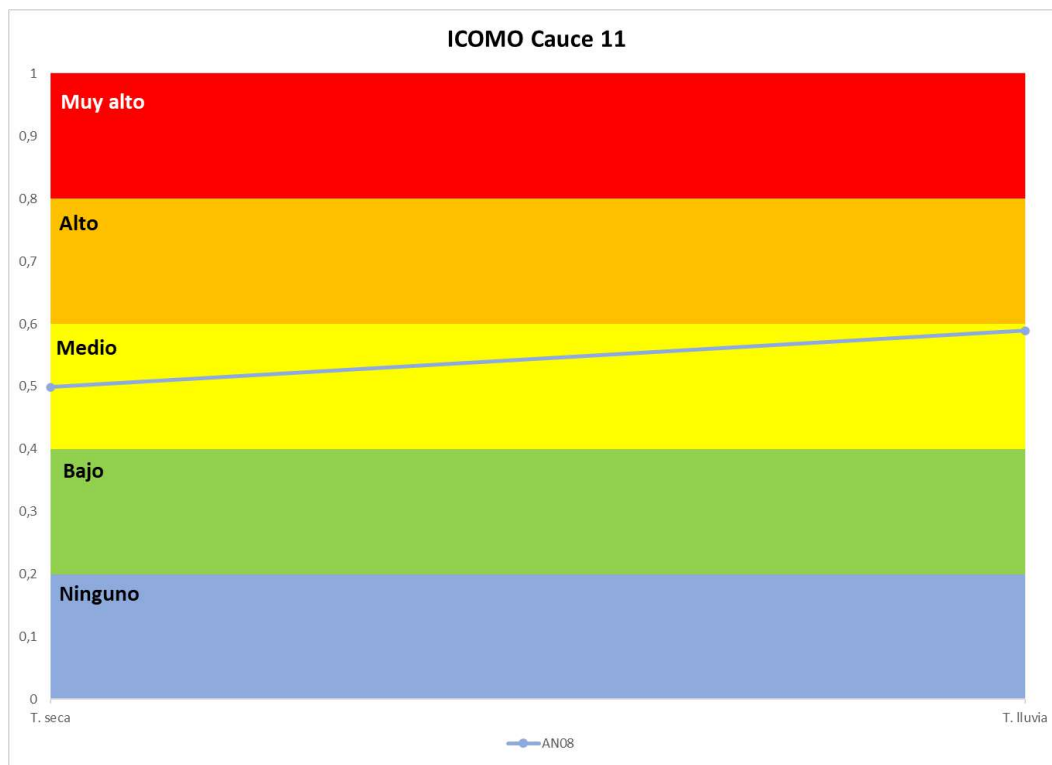


Figura 5.1.5.1.100 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias Cauce 11

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada El Banco, según la Figura 5.1.5.1.101 para la época seca el punto EB02 presentó una clasificación “bajo”, mientras que para el punto EB03 presentó una clasificación “medio”. Para la temporada de lluvia la clasificación fue “medio” para ambos puntos.

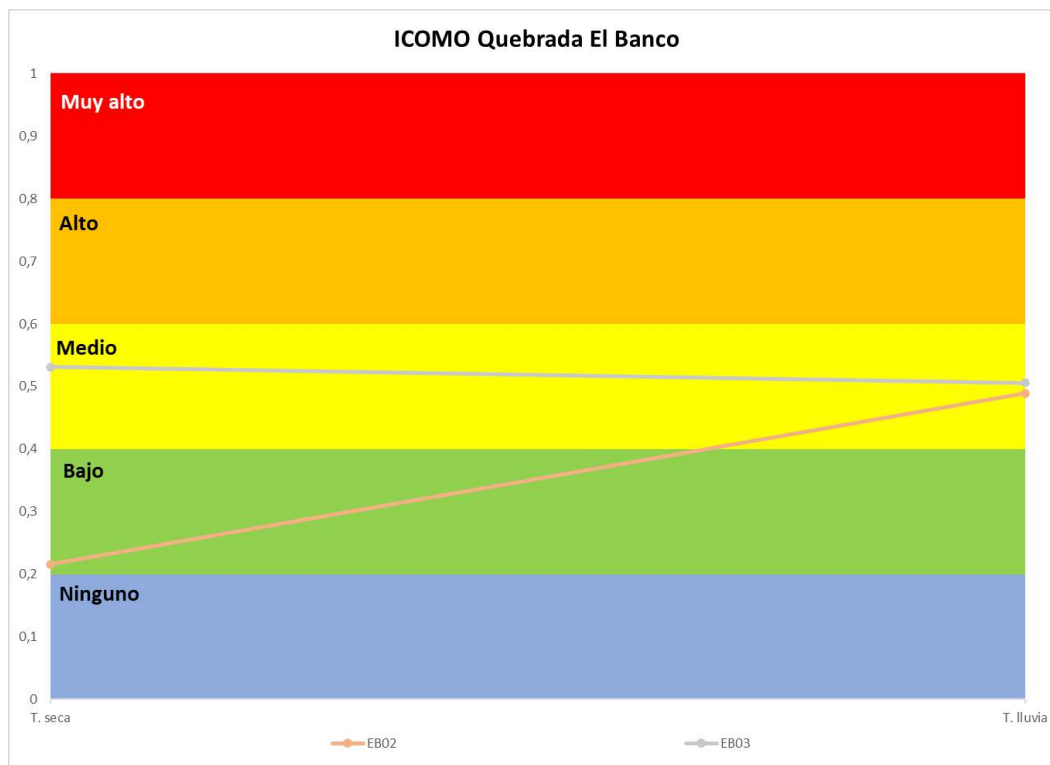


Figura 5.1.5.1.101 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Banco

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada El Balsal, según la Figura 5.1.5.1.102 para la época seca el punto B02 presentó una clasificación “alto”, mientras que para la el punto B03 presentó una clasificación “medio”. Para la temporada de lluvia la clasificación fue “alto” para B02 y B03 permaneció en “medio”.

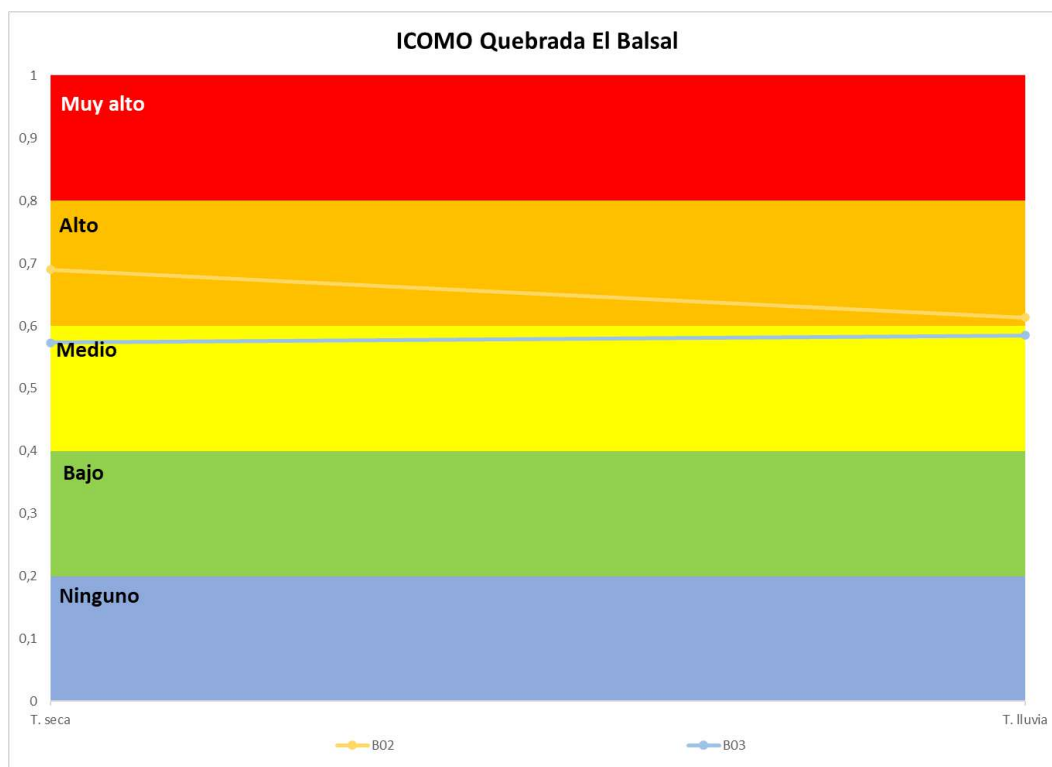


Figura 5.1.5.1.102 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada El Balsal

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada San Antonio, según la Figura 5.1.5.1.103 para la época seca el punto SA02 presentó una clasificación “medio”, mientras que para la el punto SA03 presentó una clasificación “alto”. Para la temporada de lluvia la clasificación fue “medio” para ambos puntos.

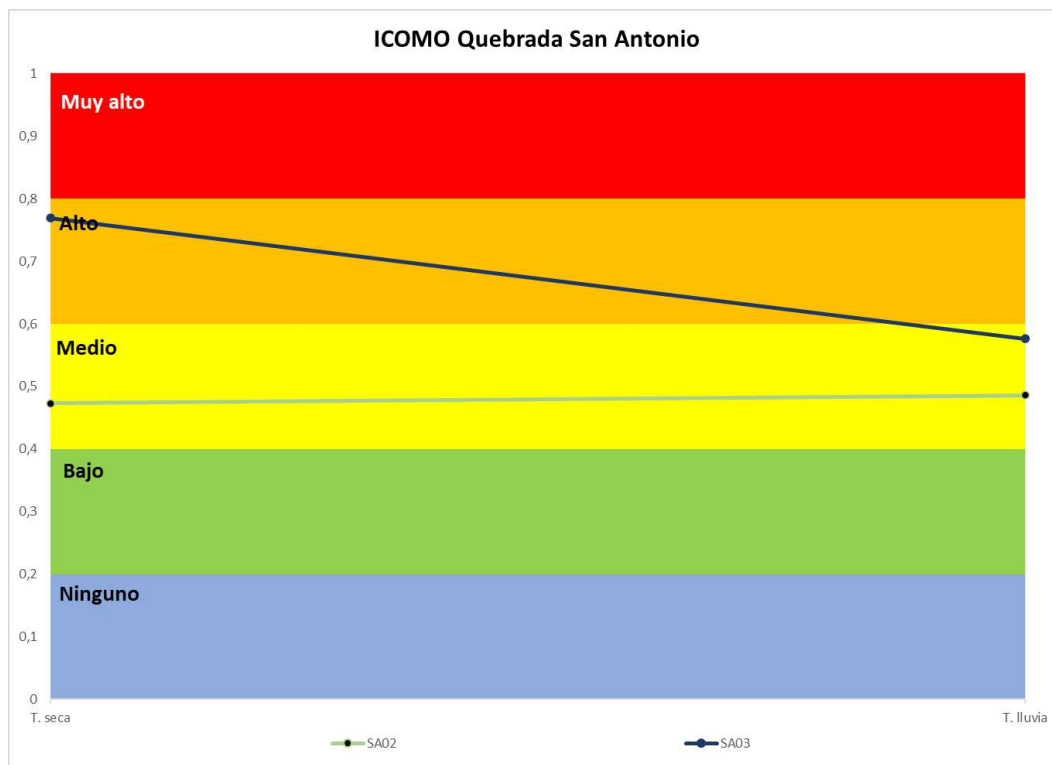


Figura 5.1.5.1.103 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada San Antonio

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada La Colorada, según la Figura 5.1.5.1.104 para la época seca el punto C02 presentó una clasificación “alto”, mientras que para el punto C03 presentó una clasificación “muy alto”. Para la temporada de lluvia la clasificación fue “alto” para ambos puntos.

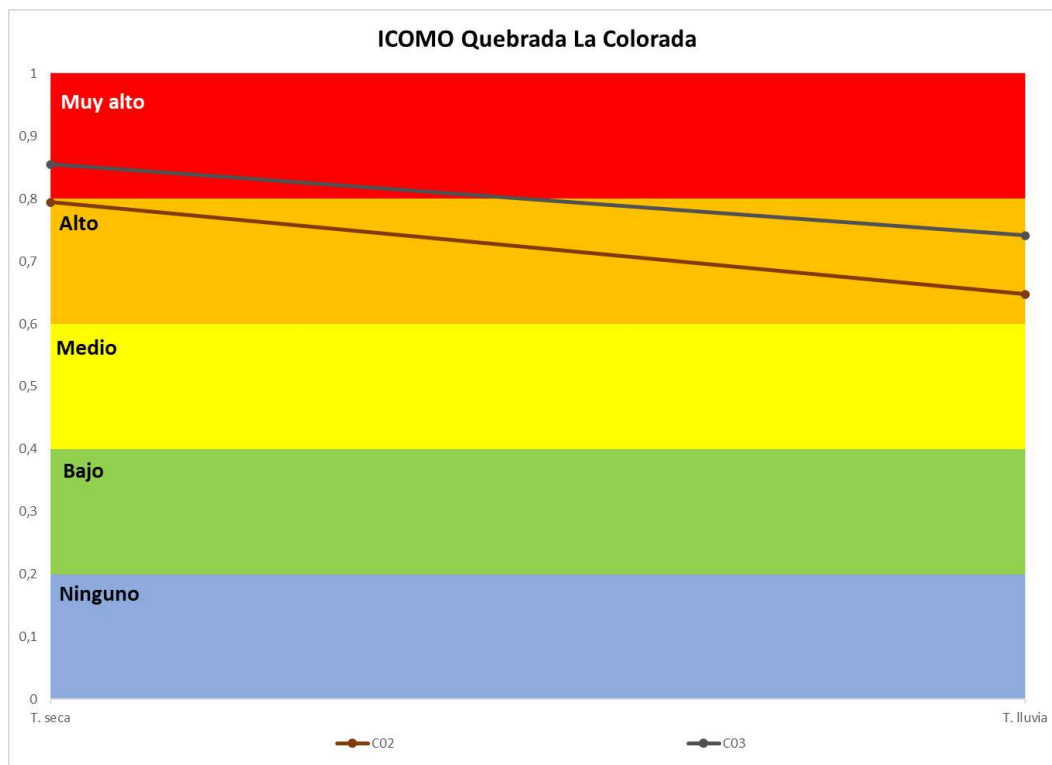


Figura 5.1.5.1.104 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Colorada

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada La María, según la Figura 5.1.5.1.105 para la época seca los puntos LM01, LM02 y LM03, presentaron una clasificación “medio”. Para la temporada de lluvia LM01, LM02 permaneció en “medio” y para LM03 la clasificación fue “alto”.

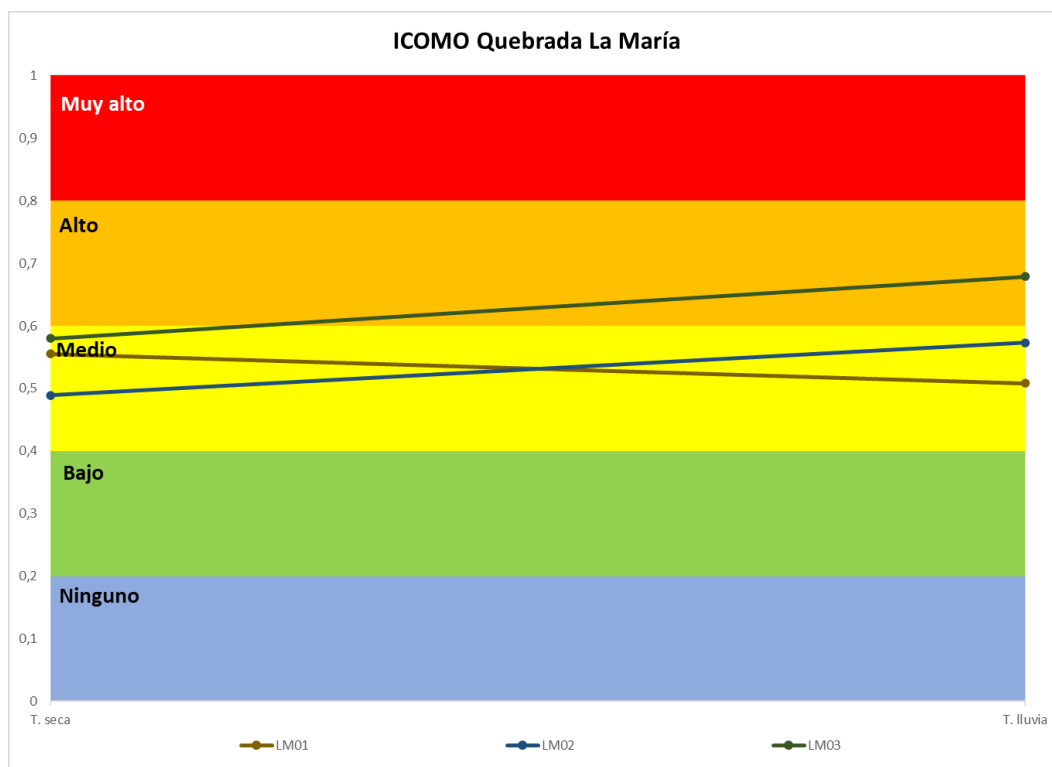


Figura 5.1.5.1.105 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La María

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada Guacas, según la Figura 5.1.5.1.106 para la época seca los puntos G03 y G05, presentaron una clasificación “medio”. Para la temporada de lluvia ambos puntos presentaron una clasificación fue “alto”.

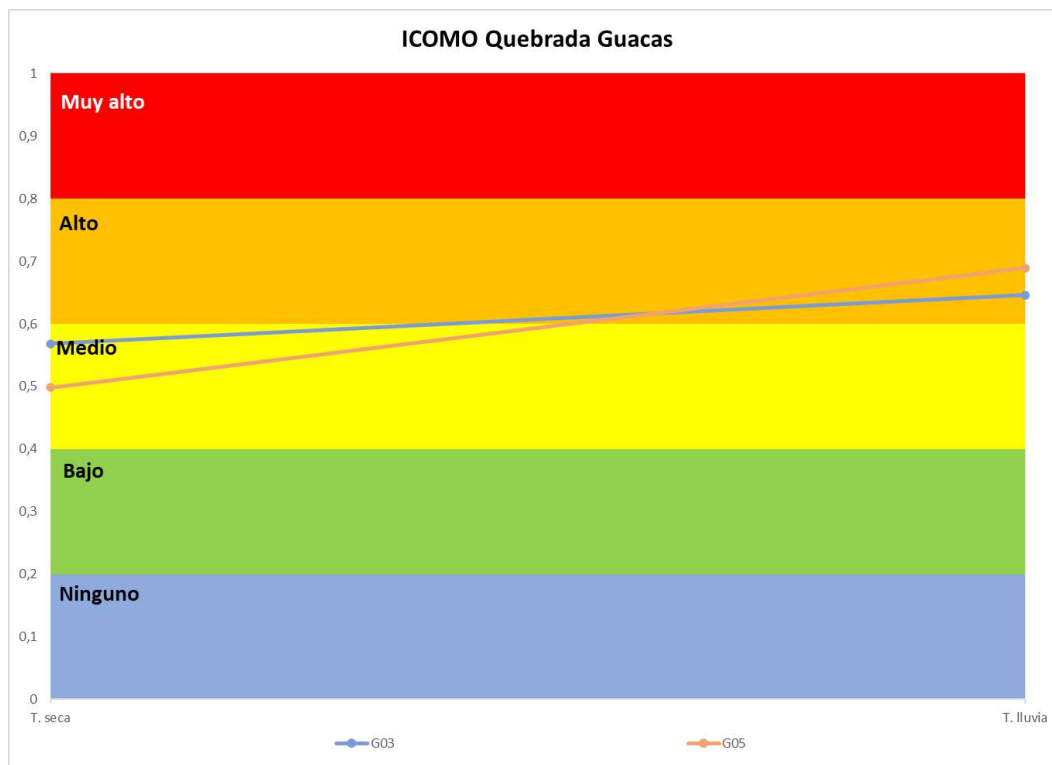


Figura 5.1.5.1.106 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada Guacas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El índice ICOMO en la quebrada La Palestina, según la Figura 5.1.5.1.107 para la época seca y temporada de lluvia, presentó clasificaciones entre “bajo”, “medio” y “alto”, sin evidencias significativas entre época seca y temporada de lluvia.

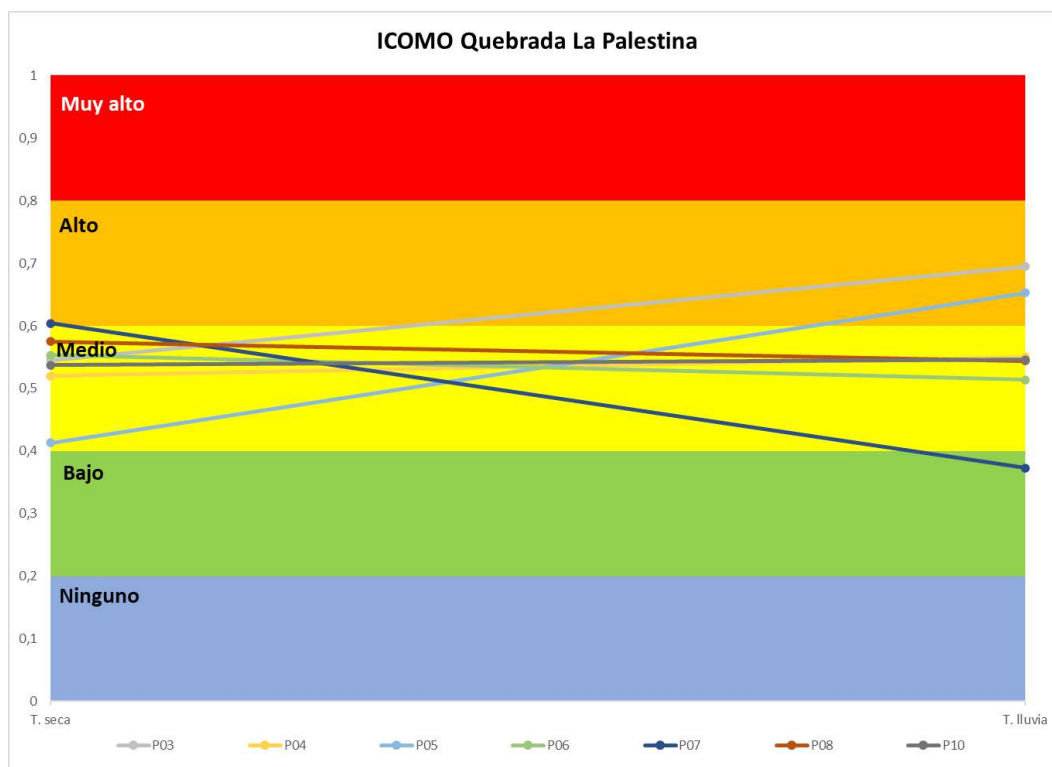


Figura 5.1.5.1.107 índice ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias quebrada La Palestina

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

En la Figura 5.1.5.1.63 se presenta el consolidado comparativo de los resultados obtenidos para el ICOMO en las dos campañas de monitoreo para las cuencas monitoreadas.

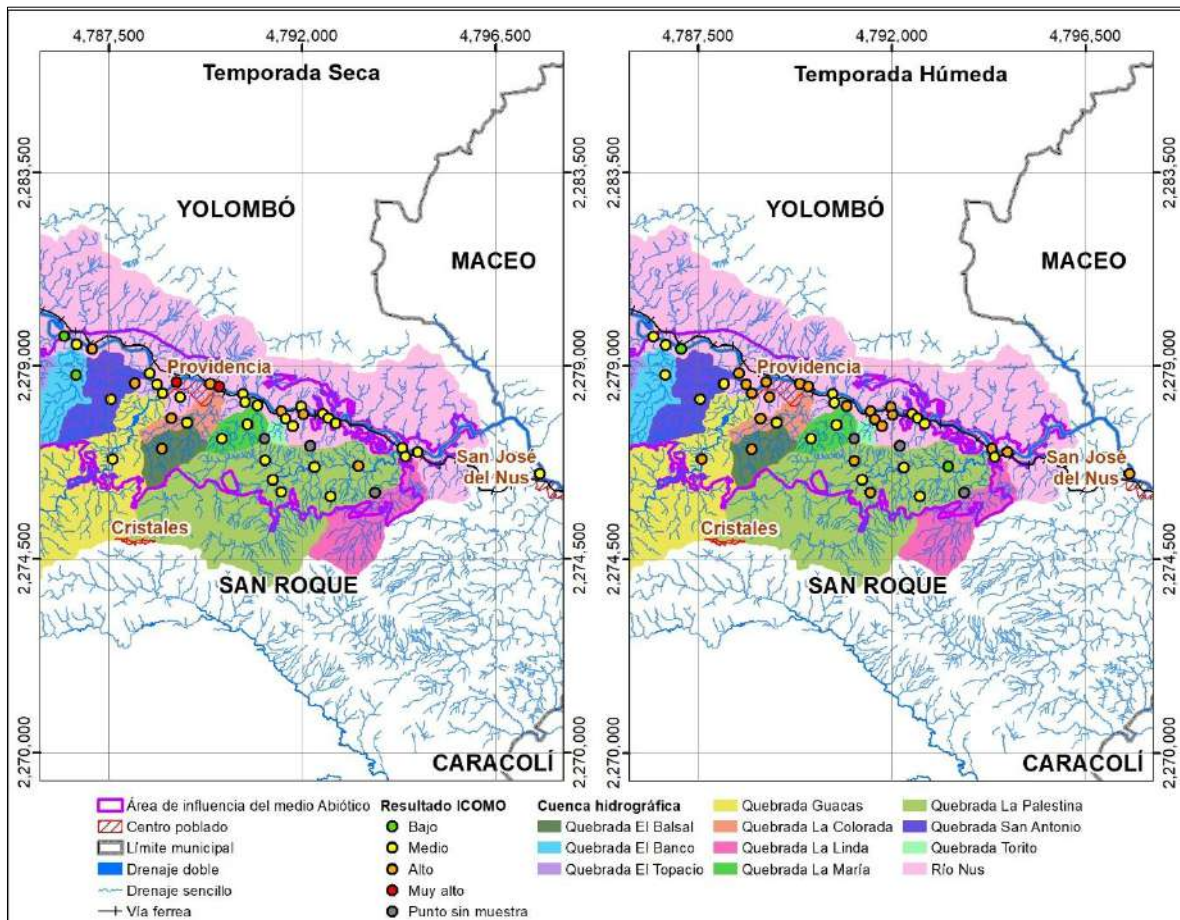


Figura 5.1.5.1.108 Representación espacial de los resultados obtenidos para el ICOMO: temporada seca vs. temporada de lluvias para las cuencas monitoreadas

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Finalmente, en la Tabla 5.1.5.1.6 se presenta la consolidación y localización de los resultados de los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICOs) del agua, correspondientes al muestreo de calidad del agua superficial.

Tabla 5.1.5.1.6 Resumen de resultados Índices de calidad (ICA) y contaminación (ICOs) del agua

ID Punto	Cuerpo de agua	ICA		ICOSUS		ICOMO		ICOpH		ICOMI	
		T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia
N04	Río Nus	0,71	0,87	0	0,05	0,396	0,449	0,008	0,003	0,068	0,047
N05	Río Nus	0,65	0,78	0,033	0,01	0,615	0,39	0,001	0,085	0,237	0,039
N06	Río Nus	0,77	0,56	0	1	0,495	0,676	0,001	0,003	0,187	0,083
N07	Río Nus	0,67	0,56	0	1	0,49	0,721	0,093	0,002	0,144	0,047
N08	Río Nus	0,63	0,54	0	0,93	0,842	0,709	0,001	0,049	0,144	0,02
N09	Río Nus	0,65	0,56	0	1	0,727	0,719	0,014	0,006	0,134	0,008
N10	Río Nus	0,73	0,86	0,136	0,152	0,577	0,581	0,004	0,001	0,209	0,041
N11	Río Nus	0,77	0,71	0,154	0,139	0,678	0,701	0,006	0,023	0,134	0,03
N12	Río Nus	0,81	0,74	0,016	0,285	0,426	0,692	0,002	0,012	0,136	0,046
N13	Río Nus	0,72	0,79	0,028	0,234	0,429	0,513	0,052	0,017	0,142	0,027
N15	Río Nus	0,75	0,46	0,139	1	0,53	0,753	0,002	0,088	0,144	0,026
N16	Río Nus	0,84	0,53	0,08	1	0,555	0,737	0,001	0,002	0,087	0,092
N17	Río Nus	0,78	0,56	0,032	1	0,456	0,709	0,013	0,002	0,082	0,019
AN01	Cauce 5	0,71	0,86	0,036	0	0,422	0,669	0,196	0,002	0,095	0,017
AN02	Cauce 8	0,55	0,8	0	0	0,579	0,408	0,066	0,005	0,102	0,111
AN03	quebrada Torito	0,69	0,65	0,039	0,038	0,47	0,764	0,004	0,017	0,349	0,042
AN04	Cauce 9	0,63	0,75	0,022	0,181	0,466	0,75	0,011	0,006	0,425	0,183
AN05	Cauce 9	0,59	0,63	0	0,021	0,744	0,753	0,002	0,005	0,47	0,278
AN06*	Cauce 10	Sin toma de muestra									
AN07	Cauce 10	0,53	0,88	0	0	0,572	0,46	0,004	0,002	0,162	0,081
AN08	Cauce 11	0,58	0,81	0	0,012	0,499	0,589	0,008	0,002	0,239	0,156
EB02	quebrada El Banco	0,63	0,82	0	0	0,216	0,489	0,002	0,006	0,08	0,044

ID Punto	Cuerpo de agua	ICA		ICOSUS		ICOMO		ICOpH		ICOMI	
		T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia	T. seca	T. lluvia
EB03	quebrada El Banco	0,76	0,8	0	0	0,531	0,506	0,054	0,416	0,074	0,029
B02	quebrada El Balsal	0,35	0,66	0,924	0,1	0,69	0,613	0,006	0,007	0,725	0,727
B03	quebrada El Balsal	0,44	0,49	1	1	0,573	0,585	0,009	0,014	0,74	0,728
SA02	quebrada San Antonio	0,88	0,9	0	0,034	0,473	0,486	0,003	0,007	0,098	0,067
SA03	quebrada San Antonio	0,65	0,8	0	0	0,769	0,576	0,008	0,004	0,094	0,048
C02	quebrada La Colorada	0,39	0,59	0,803	0,31	0,794	0,647	0,002	0,002	0,667	0,721
C03	quebrada La Colorada	0,34	0,53	1	1	0,855	0,741	0,013	0,109	0,744	0,593
LM01	quebrada La María	0,59	0,86	0	0,021	0,555	0,508	0,002	0,007	0,373	0,149
LM02	quebrada La María	0,73	0,88	0	0,036	0,489	0,573	0,003	0,002	0,337	0,117
LM03	quebrada La María	0,65	0,73	0	0,055	0,58	0,679	0,005	0,019	0,762	0,422
G03	quebrada Guacas	0,69	0,64	0	0,816	0,568	0,646	0,006	0,004	0,071	0,006
G05	quebrada Guacas	0,62	0,84	0	0,183	0,498	0,689	0,004	0,007	0,053	0,02
P03	quebrada La Palestina	0,7	0,64	0,049	0,695	0,545	0,695	0,001	0,001	0,238	0,033
P04	quebrada La Palestina	0,6	0,76	0	0	0,52	0,55	0,024	0,009	0,636	0,259
P05	quebrada La Palestina	0,79	0,79	0	0,093	0,413	0,653	0,004	0,043	0,244	0,135
P06	quebrada La Palestina	0,8	0,91	0	0,01	0,553	0,514	0,003	0,139	0,25	0,073
P07	quebrada La Palestina	0,74	0,89	0	0	0,604	0,373	0,002	0,028	0,248	0,124
P08	quebrada Sin nombre	0,84	0,91	0,054	0	0,575	0,544	0,02	0,039	0,153	0,026
P09*	quebrada Sin nombre	Sin toma de muestra									
P10	quebrada La Palestina	0,61	0,87	0	0	0,537	0,546	0,005	0,004	0,238	0,084
AM01*	quebrada Sin nombre	Sin toma de muestra									

Fuente: Integral S.A., 2025

5.1.5.1.4 Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)

El Índice de Alteración de la Calidad del Agua (IACAL) es un indicador diseñado por el IDEAM para evaluar el grado de modificación que experimenta la calidad del recurso hídrico en relación con condiciones de referencia o estados esperados, integrando variables fisicoquímicas y presiones antrópicas que pueden deteriorarla.

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua 2022², el IACAL calculado para la subzona hidrográfica del río Nare, tanto bajo condiciones hidrológicas de año medio como de año seco, se ubicó en categoría alta. Este resultado evidencia que la calidad del agua presenta un nivel significativo de alteración incluso en escenarios de variabilidad natural del caudal, lo que refleja una presión sostenida sobre el sistema hídrico.

5.1.5.1.5 Resultados y análisis muestreo de sedimentos

La caracterización de los sedimentos se desarrolló a partir de muestreos realizados en zonas de acumulación dentro de los cuerpos de agua. La recolección se efectuó mediante equipos manuales y dispositivos específicos, como dragas, seleccionados de acuerdo con la profundidad y la granulometría del material. Las muestras obtenidas fueron acondicionadas, preservadas y transportadas bajo estrictas condiciones de control para su posterior análisis en laboratorio, donde se aplicaron metodologías estandarizadas para la cuantificación de contaminantes orgánicos e inorgánicos. La descripción detallada de las técnicas, equipos, métodos analíticos se encuentra consignada en el capítulo 2. Generalidades

En la Figura 5.1.5.1.109 se presenta la localización de los puntos de muestreo de sedimentos para la caracterización del área de influencia de la modificación de licencia.

² IDEAM. Estudio Nacional del Agua (2022).

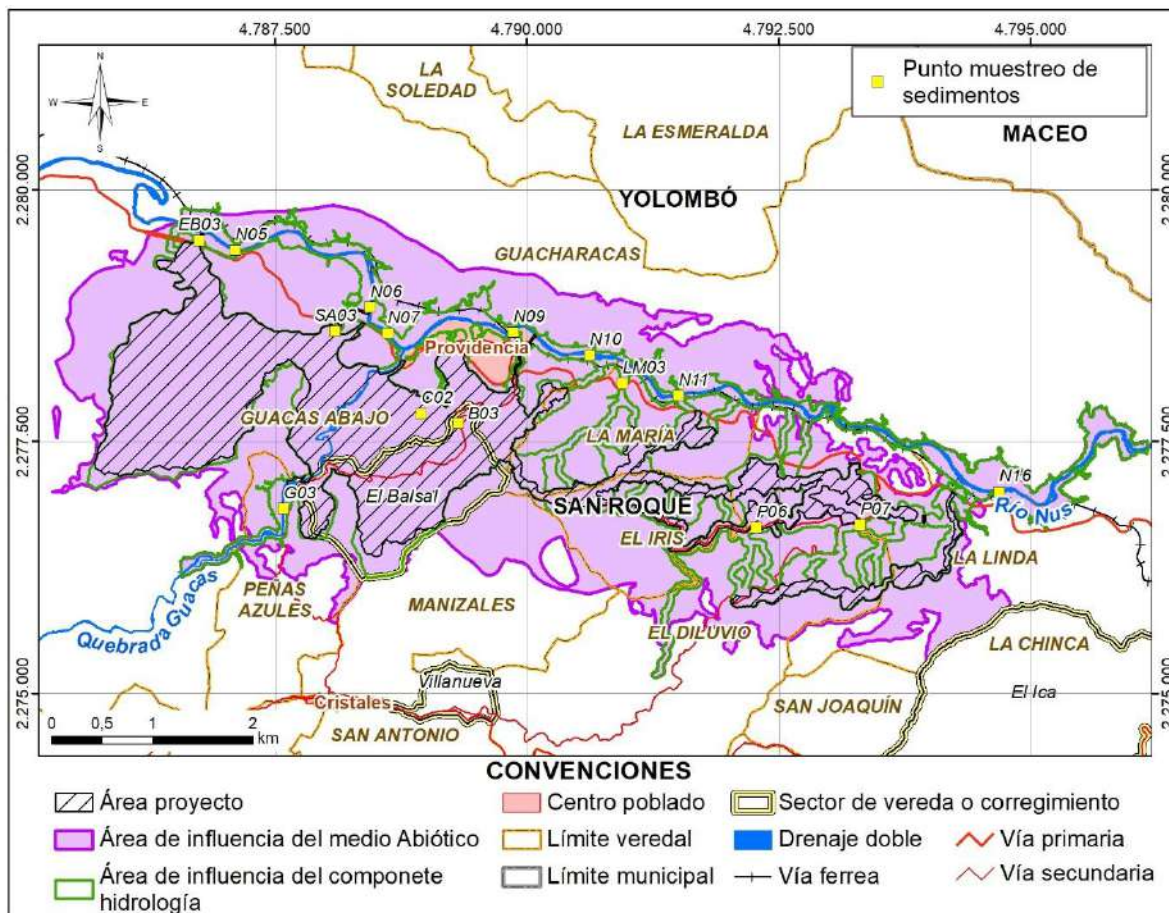


Figura 5.1.5.1.109 Localización de los puntos de muestreo de sedimentos

Fuente: Integral S.A., 2025

A. Cianuros

En ambas temporalidades, los análisis de sedimentos evidenciaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación para los tres tipos de cianuro evaluados (total, libre y WAD). El cianuro total, el cianuro libre y el cianuro WAD presentaron valores inferiores a los límites de cuantificación de la técnica analítica (<1,000 mg CN/kg, <0,5 mg/kg y <0,2 mg/kg, respectivamente), indicando niveles no detectables o muy bajos en todas las muestras analizadas. Al comparar estos resultados con las *Canadian Sediment Quality Guidelines*, se observa que dichas guías no establecen valores ISQG o PEL para el cianuro en sedimentos, por lo que no existe un criterio normativo específico para su evaluación.

B. Fenoles

La determinación de fenoles totales en sedimentos mostró en época seca una variabilidad moderada, con concentraciones entre 0,42 mg/kg y 1,33 mg/kg, lo que sugiere que en la mayor parte del área de estudio no se presenta una contaminación significativa por estos

compuestos (véase Figura 5.1.5.1.110). En contraste, durante la época lluviosa todos los valores se encontraron por debajo del límite de cuantificación de la técnica analítica (<0,157 mg/kg), indicando ausencia o niveles no detectables de fenoles en esta temporalidad (véase Figura 5.1.5.1.110).

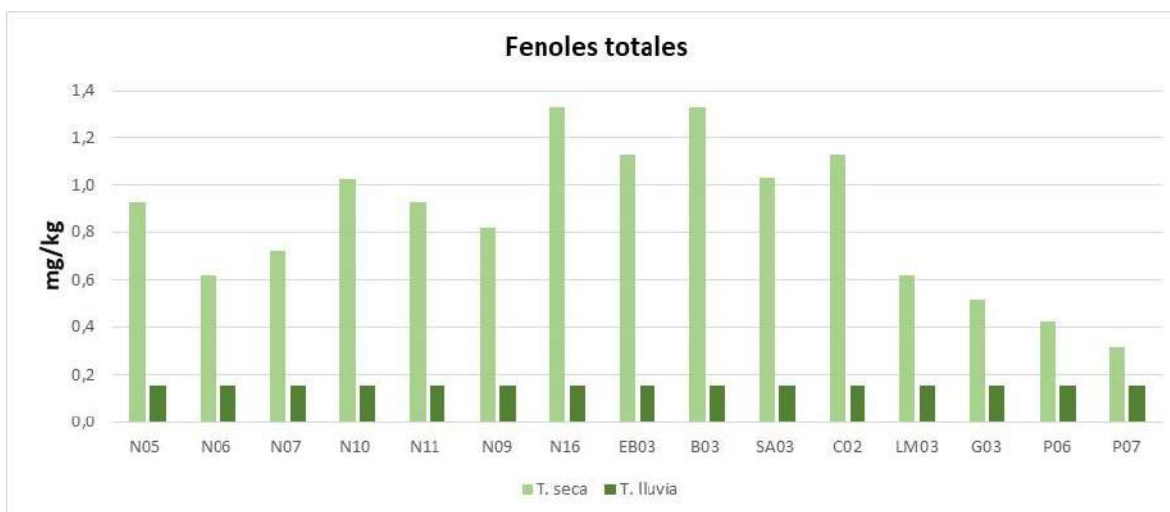


Figura 5.1.5.1.110 Comportamiento fenoles totales: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

C. Grasas y aceites e hidrocarburos

En ambas temporalidades, los contaminantes orgánicos como grasas y aceites e hidrocarburos totales mostraron en general concentraciones bajas en los sedimentos analizados, registrándose en la mayoría de los puntos valores por debajo del límite de cuantificación de las técnicas analíticas empleadas. En época seca todos los resultados fueron inferiores a dicho límite, excepto en el punto G03, donde se detectó una concentración ligeramente superior (0,0235 mg/kg) de grasas y aceites. Durante la época lluviosa se mantuvo esta tendencia de baja presencia; sin embargo, algunos puntos como N09 (2,2762 mg/kg), N06 (10,1659 mg/kg) y LM03 (2,9104 mg/kg) presentaron concentraciones detectables de grasas y aceites, indicando aportes puntuales de estos compuestos en determinados sitios.

D. Sulfuros

Tanto en época seca como en época lluviosa, los sulfuros registraron en todos los puntos de monitoreo valores iguales al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada (<4 mg S²⁻/kg), lo que indica una presencia mínima o nula de este compuesto en los sedimentos. Dado que no existen límites normativos establecidos para este parámetro, no es posible emitir un criterio de juicio frente a su cumplimiento.

E. Haluros orgánicos extraíbles

Tanto en época seca como en época lluviosa, los haluros orgánicos extraíbles registraron concentraciones por debajo de los límites de detección, con valores reportados entre <96 mg/kg y <140 mg/kg. Esta tendencia indica que no se detectaron niveles medibles de compuestos halogenados orgánicos en las muestras evaluadas, evidenciando la ausencia de contaminación significativa por este tipo de sustancias.

F. Dióxido de silicio

Tanto en época seca como en época lluviosa, el contenido de dióxido de silicio (SiO_2) en los sedimentos mostró una variabilidad natural entre los puntos de muestreo, con valores que oscilaron entre 59,54 % (N05) y 84,88 % (EB03) en temporada seca, y entre 50,42 % (N16) y 86,86 % (EB03) en temporada húmeda. Estas variaciones reflejan diferencias inherentes en la composición mineralógica de los sedimentos de cada sitio. Es importante señalar que las *Canadian Sediment Quality Guidelines* no establecen valores guía (ISQG o PEL) para el SiO_2 , dado que se trata de un componente natural, no tóxico y sin relación directa con riesgos para la vida acuática.

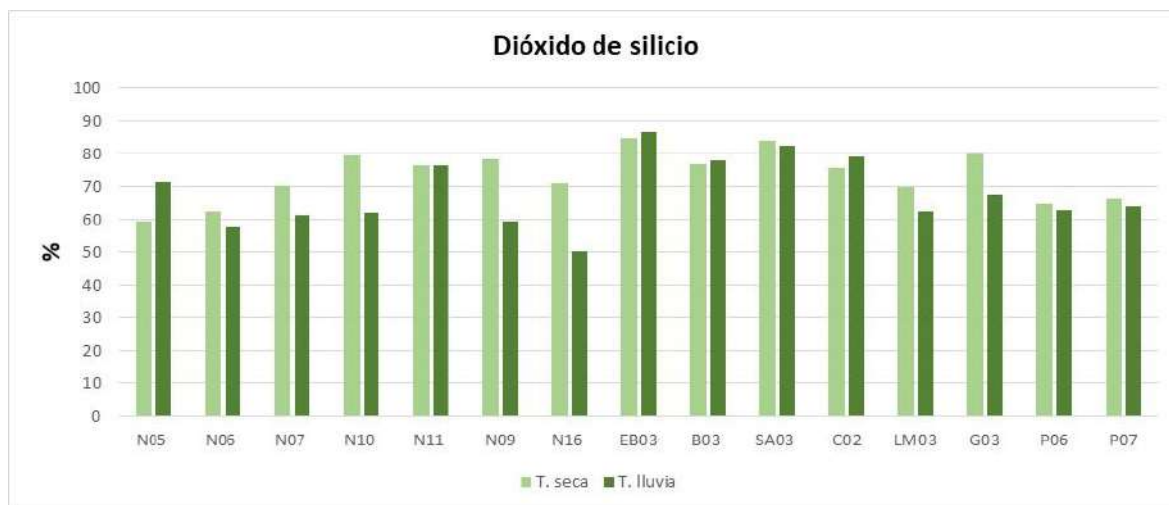


Figura 5.1.5.1.111 Comportamiento dióxido de silicio: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

G. Cloruros

En la Figura 5.1.5.1.112 se representan los resultados obtenidos para cloruros en los sedimentos muestran una amplia variabilidad en ambas temporalidades, con concentraciones que en época seca oscilan entre valores por debajo del límite de cuantificación (<1,8 mg/kg en C02, LM03, SA03, B03, EB03, N10 y N07) y un máximo de 180 mg/kg (G03), mientras que en época lluviosa fluctúan entre <1,8 mg/kg (N05, N06, N09, N10, N11, C02 y P06) y un valor máximo de 126 mg/kg (EB03). Esta variación sugiere la

existencia de condiciones locales diferenciadas, posiblemente influenciadas por aportes salinos de origen puntual.

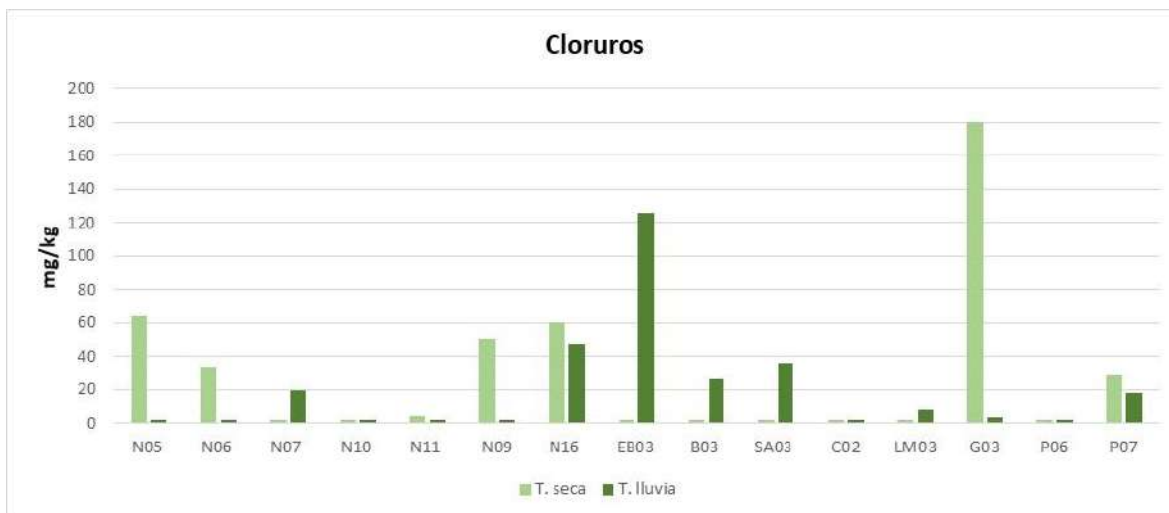


Figura 5.1.5.1.112 Comportamiento cloruros: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

H. Sulfatos

Los niveles de sulfatos en los sedimentos presentan un comportamiento mayoritariamente homogéneo en ambas temporalidades (véase Figura 5.1.5.1.113). En época seca, las concentraciones oscilan entre 21,3 mg/kg (P07) y 46,1 mg/kg (N16), excepto en dos puntos que registran valores más elevados: 112 mg/kg (B03) y 114 mg/kg (LM03). En época lluviosa, las concentraciones se mantienen bajas y uniformes entre 20 y 25 mg/kg, coherentes con condiciones naturales del lecho fluvial; no obstante, se observa un valor atípico de 338 mg/kg (LM03), notablemente mayor que el resto, que podría reflejar la influencia de una fuente local de aporte externo.

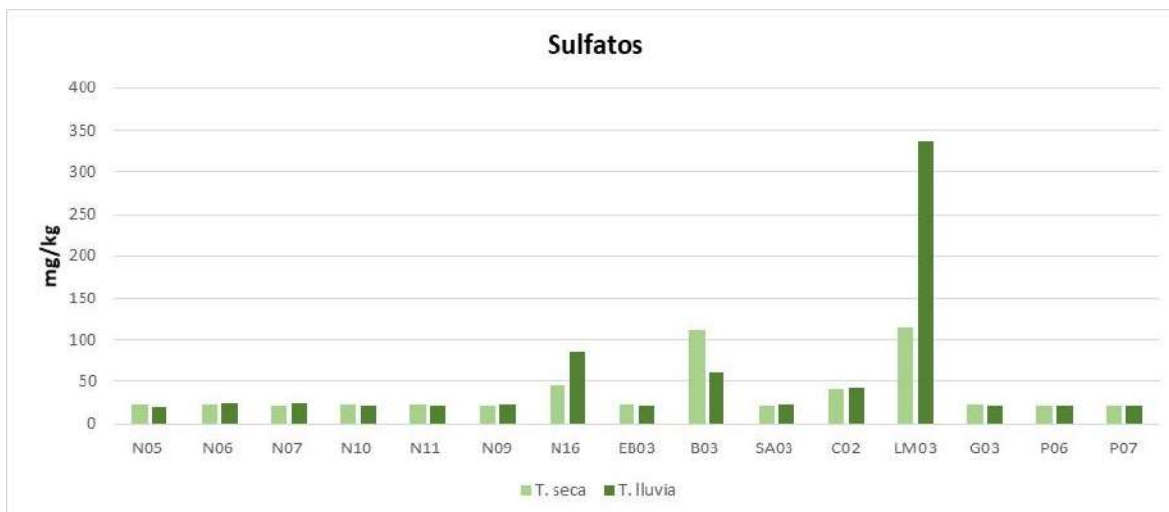


Figura 5.1.5.1.113 Comportamiento sulfatos: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

I. Metales

En el caso del cobre, de acuerdo con los resultados presentados en la Figura 5.1.5.1.114, durante la época seca se identificaron dos puntos que superan el valor guía ISQG: N11 y B03. Este último resulta particularmente relevante, ya que presentó una concentración de 223,04 mg/kg, valor que excede también el umbral PEL, indicando una posible afectación de mayor significancia ecológica en este tramo del cuerpo de agua. En cuanto a la época lluviosa, las concentraciones de cobre superaron el valor de referencia ISQG en dos puntos de muestreo: y G03. No obstante, en este periodo los valores no superan el umbral PEL.

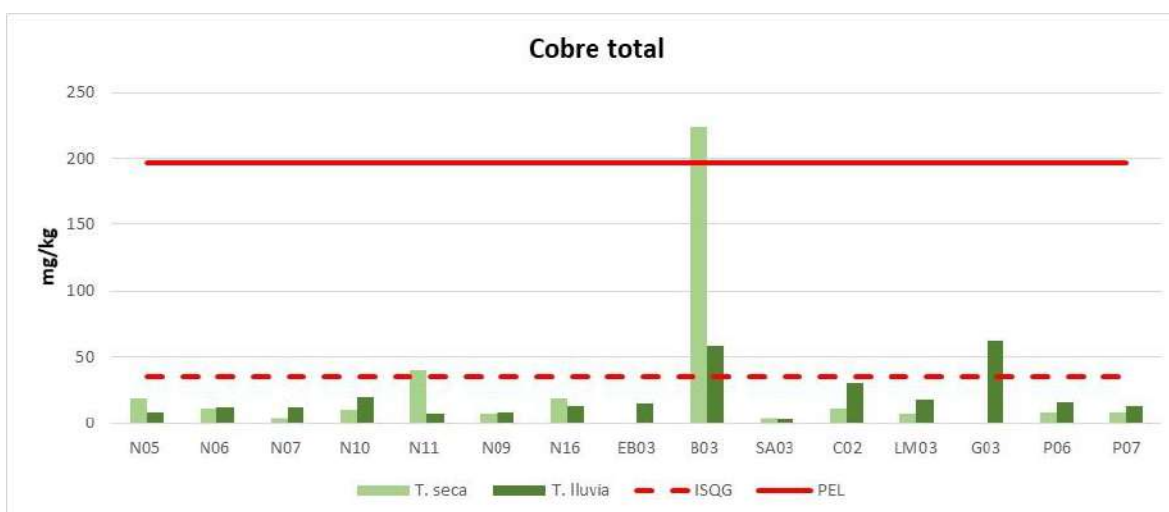


Figura 5.1.5.1.114 Comportamiento cobre total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Los niveles de mercurio total en los sedimentos muestran un comportamiento crítico en ambas temporalidades, con varios puntos que exceden los valores guía establecidos. En época seca, las concentraciones superan el ISQG en N06, N07, N11, B03, G03, P06 y P07, y en estos tres últimos también sobrepasan el PEL, evidenciando un riesgo ecotoxicológico alto debido a la elevada toxicidad y capacidad de bioacumulación del mercurio. En época lluviosa, los resultados oscilan entre <0,15 mg/kg y 1,24 mg/kg; prácticamente todos los puntos superan el ISQG, excepto P07 que se mantiene por debajo y EB03, cuyo valor coincide con el límite. Adicionalmente, en N09, N06, LM03, G03 y P06 se excede el PEL, lo que refuerza la presencia de condiciones de riesgo ambiental significativo. La Figura 5.1.5.1.115 confirma esta situación, mostrando barras de ambas temporadas que sobrepasan las líneas de referencia del ISQG y del PEL, lo que evidencia una presión contaminante recurrente y de magnitudes relevantes en varios de los sitios evaluados.

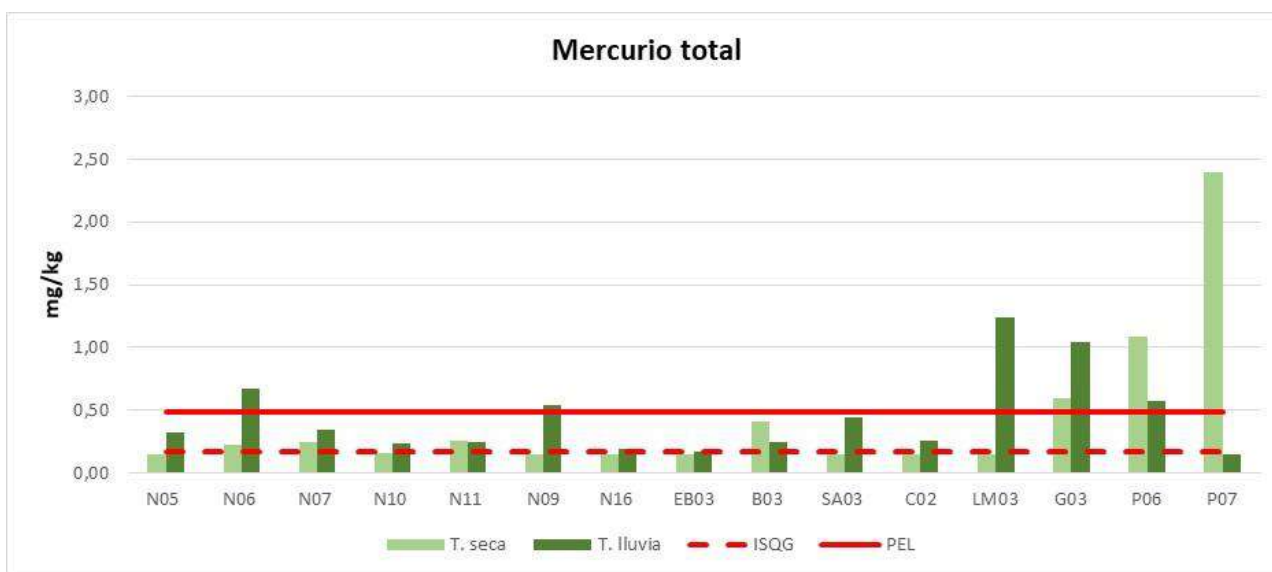


Figura 5.1.5.1.115 Comportamiento mercurio total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Los niveles de cromo total en los sedimentos muestran una variabilidad moderada en ambas temporalidades, con concentraciones que en época seca fluctúan entre valores <1,5 mg/kg y 16,032 mg/kg, mientras que en época lluviosa oscilan entre 1,520 mg/kg y 17,045 mg/kg, registrándose en esta última los valores más altos, especialmente en LM03 y P07, tal como se aprecia en la Figura 5.1.5.1.116). En todos los casos, las barras correspondientes a las concentraciones medidas se sitúan muy por debajo de las líneas de

referencia del ISQG (37,3 mg/kg) y del PEL (90 mg/kg), lo que confirma que no se anticipa riesgo ambiental significativo ni efectos adversos sobre los organismos bentónicos en los sitios evaluados.

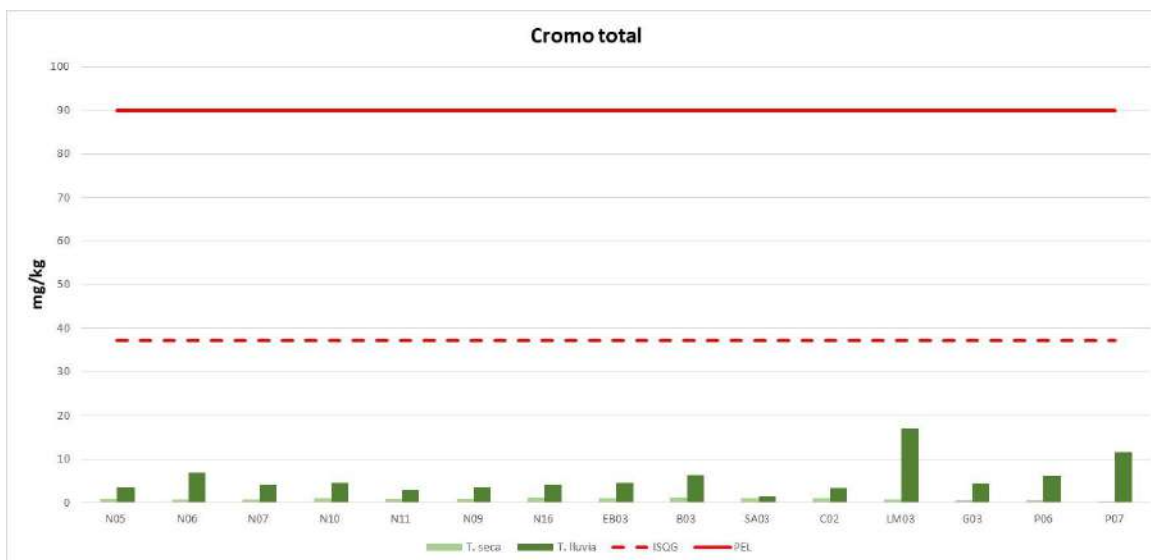


Figura 5.1.5.1.116 Comportamiento cromo total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

A partir de la información presentada en la Figura 5.1.5.1.117, se evidencia que, durante la época seca, las concentraciones de este metal son bajas en la mayoría de los puntos muestreados, con valores generalmente inferiores a 1,5 mg/kg, registrándose únicamente un valor más elevado en el punto B03 (10,8 mg/kg), el cual, no obstante, se mantiene ampliamente por debajo de los valores de referencia ISQG (35 mg/kg) y PEL (91,3 mg/kg), por lo que no se identifica un riesgo ecotoxicológico relevante asociado a este metal en las áreas evaluadas; de manera concordante, en la época lluviosa las concentraciones de plomo oscilaron aproximadamente entre 1,55 mg/kg y 6,75 mg/kg, sin que ningún punto supere los límites establecidos por ISQG ni el umbral PEL, lo que confirma una baja presencia de plomo y un adecuado cumplimiento de los criterios de calidad para sedimentos en el área de estudio.

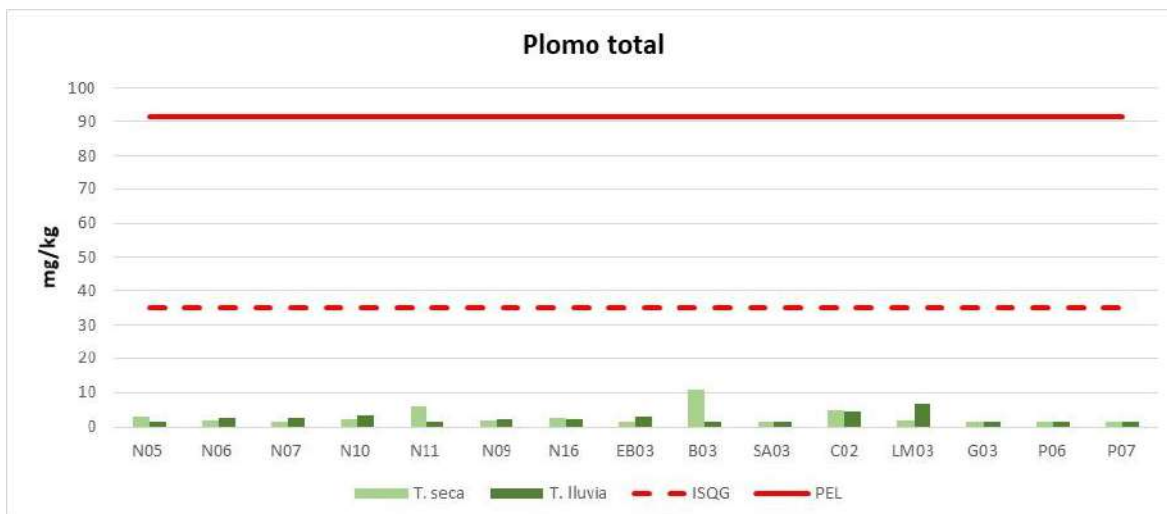


Figura 5.1.5.1.117 Comportamiento plomo total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El magnesio presenta concentraciones notablemente altas (véase Figura 5.1.5.1.118), con valores que en época seca oscilan entre 311 y 8.351 mg/kg, mientras que en época lluviosa los valores se sitúan entre 679 y 6.699 mg/kg. En términos generales, se observa una tendencia a registrar concentraciones más elevadas durante la época de lluvias, lo cual podría estar asociado a una mayor movilización y aporte de minerales debido al incremento en el caudal y a los procesos de arrastre de sedimentos propios de esta temporada.

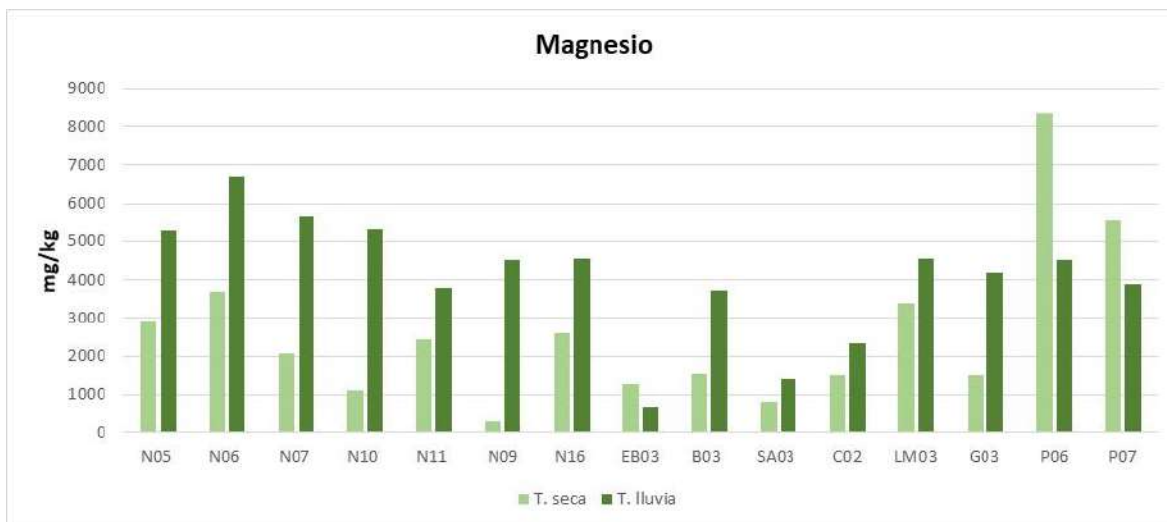


Figura 5.1.5.1.118 Comportamiento magnesio: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El contenido de aluminio en los sedimentos presenta una variabilidad marcada entre los puntos de muestreo y entre épocas hidrológicas (véase Figura 5.1.5.1.119), con concentraciones que, en época seca, oscilan aproximadamente entre 253 mg/kg y 15899 mg/kg, mientras que en época lluviosa se incrementan de forma significativa, alcanzando valores entre 4879 mg/kg y 50741 mg/kg. Este comportamiento evidencia un aumento generalizado de las concentraciones durante la temporada de lluvias, particularmente en puntos como N16, N10, LM03, G03 y N05.

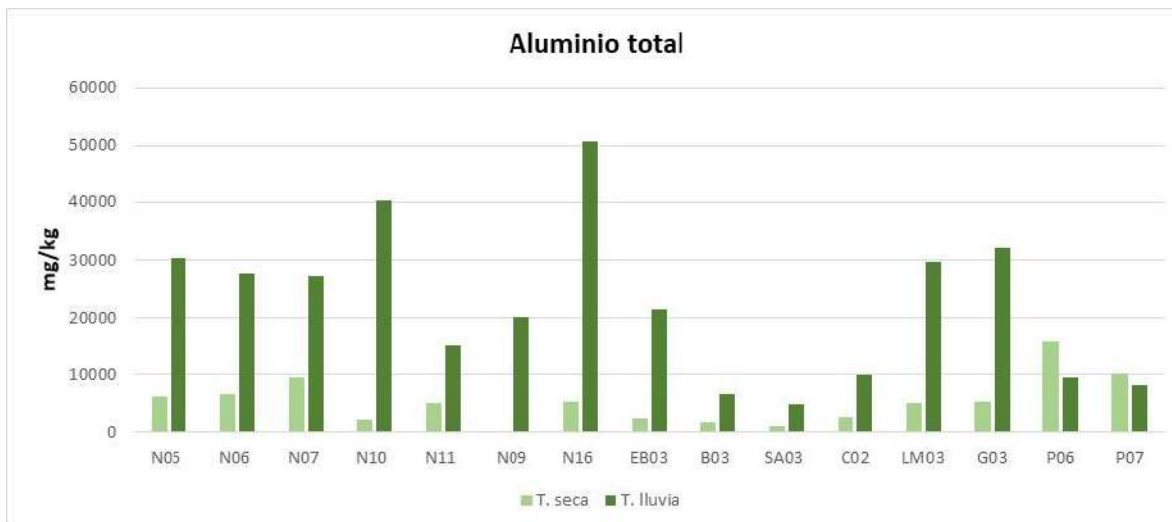


Figura 5.1.5.1.119 Comportamiento aluminio total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Las concentraciones de bario total en los sedimentos analizados oscilaron entre valores inferiores al límite de cuantificación (<45,000 mg/kg) y 80,685 mg/kg durante la época seca, mientras que en época lluviosa alcanzaron hasta 104,726 mg/kg. En el caso del vanadio, las concentraciones variaron entre 10 y 71 mg/kg en época seca y entre 9 y 282 mg/kg (P07) en época lluviosa, evidenciando una mayor variabilidad en esta última temporalidad. De acuerdo con la Figura 5.1.5.1.120, los valores más altos en la temporada de lluvias se registraron en la quebrada La Palestina (P06 y P07), mientras que las concentraciones más bajas, tanto en época seca como lluviosa, se observaron en la quebrada El Banco (EB03), la quebrada El Balsal (B03) y la quebrada San Antonio (SA03). Dado que no existen valores guía específicos para estos metales en las *Canadian Sediment Quality Guidelines*, no es posible realizar una evaluación directa del riesgo ambiental basándose únicamente en estos parámetros.

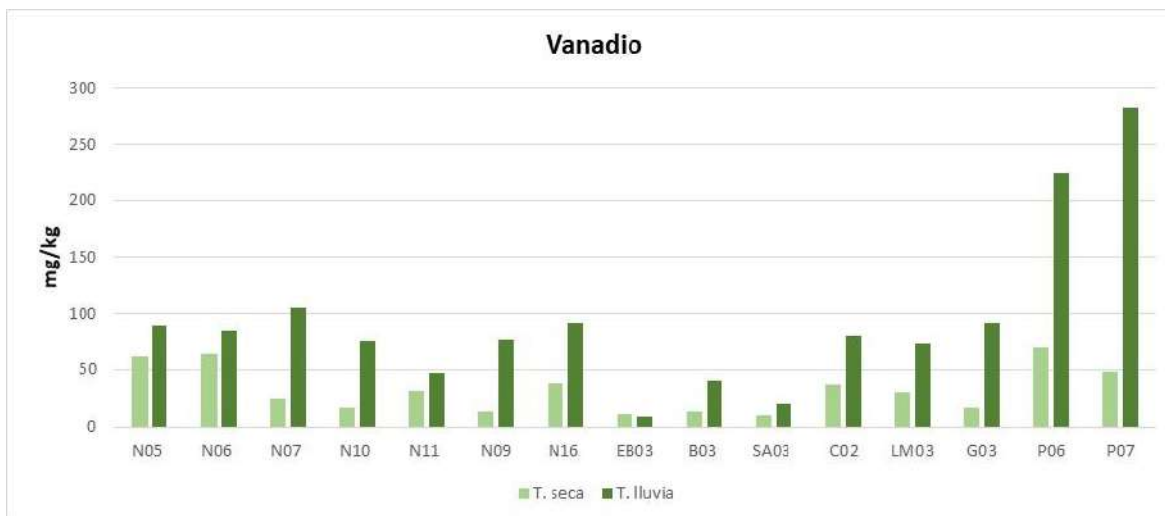


Figura 5.1.5.1.120 Comportamiento vanadio: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El sodio total presenta un rango amplio de concentraciones, que en época seca oscila entre valores inferiores al límite de cuantificación (<75 mg/kg) y 485,246 mg/kg, mientras que en época lluviosa varía desde 102,022 mg/kg hasta 1.268,157 mg/kg. La marcada variabilidad sugiere la influencia conjunta de la salinidad natural del área, los procesos de meteorización de minerales sódicos y posibles aportes externos. En términos generales, en la Figura 5.1.5.1.121 se observan concentraciones de sodio más elevadas durante la época lluviosa, lo cual podría estar relacionado con un mayor arrastre de materiales y un aumento en la entrada de escorrentías superficiales en este periodo.

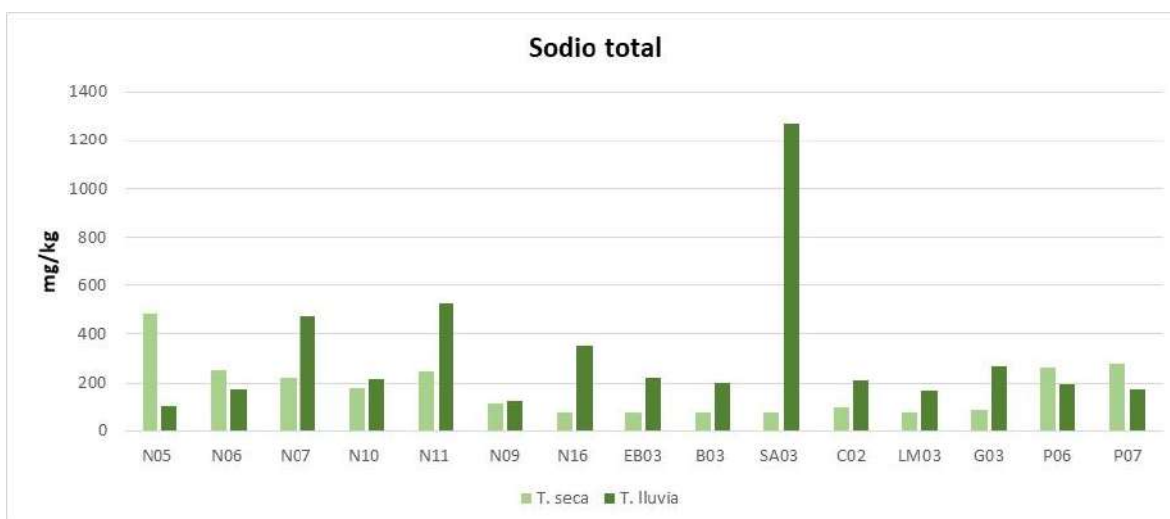


Figura 5.1.5.1.121 Comportamiento sodio total: temporada seca vs. temporada de lluvias

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO
DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE

I-I-10719-HIDROLOGÍA-00-V2

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Los niveles de níquel total varían entre valores por debajo del límite de detección (<1,500 mg/kg) y 10,266 mg/kg en época seca, mientras que en época lluviosa oscilan entre <1,5 mg/kg y un máximo de 4,899 mg/kg. Esta variabilidad podría estar asociada a aportes puntuales provenientes tanto de fuentes naturales, como la composición mineralógica local, como de fuentes antropogénicas relacionadas con actividades industriales o urbanas. En cuanto a la plata total, las concentraciones se mantienen mayoritariamente por debajo del límite de detección (<1,5 mg/kg), aunque algunos puntos alcanzan valores de hasta 2,878 mg/kg en época seca y 3,564 mg/kg en época lluviosa, lo que sugiere una presencia baja pero posiblemente localizada de este metal.

Las concentraciones de calcio en sedimentos oscilaron entre 338 y 6479 mg/kg en época seca y entre 205 y 2827 mg/kg en época lluviosa, evidenciando, en términos generales, valores más elevados durante la temporada lluviosa en la mayoría de los puntos como se observa en la Figura 5.1.5.1.122; no obstante, se destaca particularmente el punto B03 localizado en la quebrada El Balsal en época seca, donde se registró el valor máximo de 6479 mg/kg, lo que puede asociarse a una mayor presencia local de materiales carbonatados y a condiciones específicas de deposición y concentración de sedimentos en este sector.

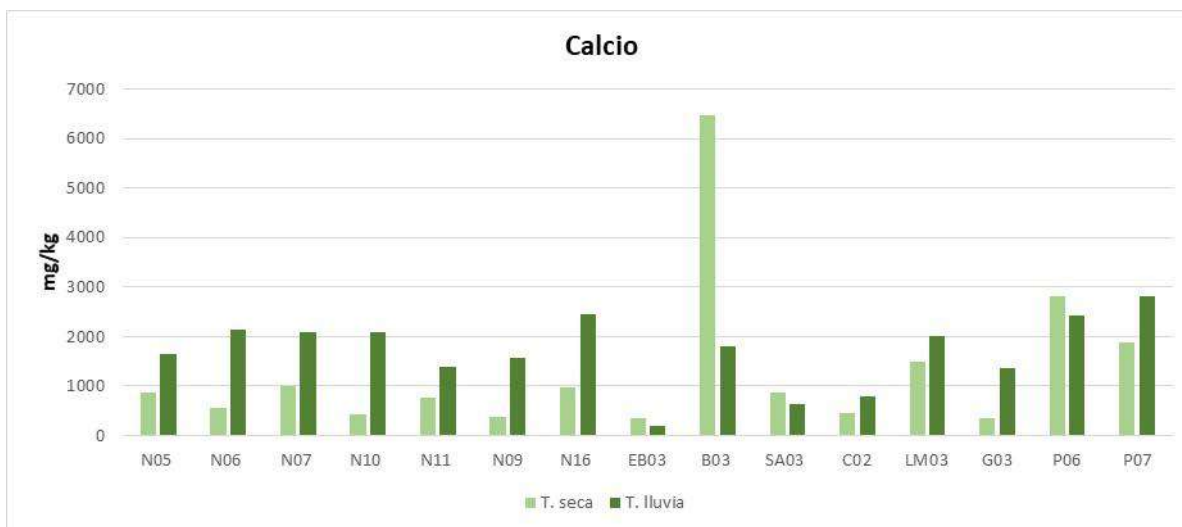


Figura 5.1.5.1.122 Comportamiento calcio: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

El hierro total en sedimentos presenta concentraciones elevadas y alta variabilidad espacial (véase Figura 5.1.5.1.123), con valores en época seca entre 3.976 y 70.134 mg/kg y en época lluviosa entre 2.988 y 51.846 mg/kg. Las mayores concentraciones se registran en

puntos como N05, G03 y P06. En general, el comportamiento observado responde principalmente a un origen geogénico natural, sin evidenciar un riesgo ambiental directo.

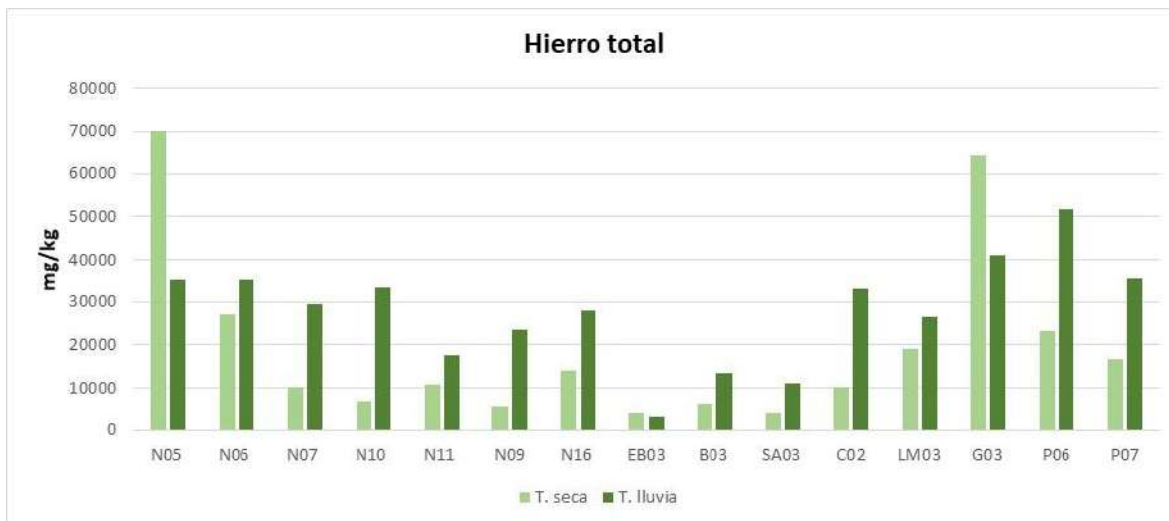


Figura 5.1.5.1.123 Comportamiento hierro total: temporada seca vs. temporada de lluvias

Fuente: Integral S.A., 2025 con base en la información de SGS Colombia S.A.S., 2025

Para el cadmio, en ambas temporalidades y en todos los puntos evaluados, las concentraciones se registraron por debajo del límite de detección (<1,5 mg/kg). Esto genera una condición indeterminada frente al valor ISQG, dado que el límite de detección es superior al umbral establecido por la guía de referencia. No obstante, ninguno de los resultados supera el nivel PEL, por lo que no se anticipan efectos adversos sobre la biota.

Finalmente, los resultados obtenidos para zinc total en las muestras de sedimentos analizadas, en ambas temporalidades, muestran concentraciones inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<45,000 mg/kg) en todos los puntos evaluados. Estos valores se encuentran por debajo del umbral establecido, lo que indica una baja presencia de zinc en el entorno evaluado. Asimismo, los resultados cumplen con los lineamientos de las Guías de Calidad de Sedimentos (ISQG) y no superan los niveles de Probable Efecto (PEL), lo que sugiere un riesgo ecológico bajo asociado a la presencia de zinc en los puntos monitoreados. De igual manera, el selenio total en ambas temporalidades se mantuvo consistentemente por debajo del límite de detección (<1,5 mg/kg) en todas las muestras analizadas, lo que evidencia una presencia mínima de este elemento y sugiere que no representa una preocupación relevante en términos de contaminación ambiental en los puntos monitorizados.

J. BTEX (Benceno. Tolueno. Etilbenceno. Xilenos) y Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's o HAP's)

Tanto en época seca como lluviosa, los compuestos del grupo BTEX y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) presentaron concentraciones por debajo de los límites de

detección de las técnicas analíticas empleadas, con valores $<0,25$ mg/kg para benceno, tolueno, etilbenceno y o-xileno, $<0,5$ mg/kg para m+p-xileno, y para hidrocarburos aromáticos policíclicos se reportaron para todos los analitos concentraciones inferiores al límite de detección de la técnica analítica empleada en el laboratorio. Esto indica ausencia de aportes recientes o activos de estos compuestos en las muestras de sedimentos. Para los BTEX no existen valores guía disponibles para comparación; en contraste, para los HAP, al comparar con las Canadian Sediment Quality Guidelines (CSQG), los analitos con valores guía se encuentran por debajo de sus respectivos ISQG y muy por debajo del PEL, mientras que el fluoranteno cumple con su valor ISQG sin exceder niveles de preocupación.

BIBLIOGRAFIA

- Allan, J. D. (2007). Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Springer.
- ANLA. (2016). Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA Proyectos de Explotación Minera. Bogotá: ANLA.
- IDEAM. (2017). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de Tiempo y Clima: <https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/temas/tiempo-y-clima/documentos/atlas/ATLAS-CLIMATOLOGICO-DE-COLOMBIA.pdf>
- MADS; ANLA. (2018). Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales. Bogotá: MADS, ANLA.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (4 de Noviembre de 2015). Acuerdo Ministerial No. 097-A: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (Anexo 2, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria). Registro Oficial Edición Especial No. 387. Quito, Ecuador: Ministerio de Ambiente.
- Romero Rojas, J. (2009). Calidad del agua (2.^a ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems. (3rd ed.). Academic Press.