



ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

TABLA DE CONTENIDO

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	7
5.2	MEDIO BIÓTICO	7
5.2.1	Ecosistemas	7
5.2.2	Ecosistemas terrestres	7
5.2.2.1	Ecosistemas acuáticos	7
5.2.2.1.1	Descripción de los puntos de muestreo	11
5.2.2.1.2	Comunidad Fitoplancton	45
5.2.2.1.3	Comunidad Zooplancton	63
5.2.2.1.4	Comunidad Perifiton	76
5.2.2.1.5	Comunidad Macroinvertebrados	92
5.2.2.1.6	Comunidad Peces	113
5.2.2.1.7	Correlación fisicoquímica e hidrobiológica	144

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.2.2.1.1 Puntos de muestreo de ecosistemas acuáticos	7
Tabla 5.2.2.1.2 Composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica registrada en los puntos de muestreo durante época seca y lluvia	47
Tabla 5.2.2.1.3 Índices de diversidad de la comunidad fitoplanctónica por punto y temporada de muestreo	56
Tabla 5.2.2.1.4 Composición y estructura de la comunidad zooplanctónica registrada durante época seca y lluvia.....	64
Tabla 5.2.2.1.5 Índices de diversidad de la comunidad zooplanctónica por punto y temporada de muestreo	70
Tabla 5.2.2.1.6 Composición y estructura de la comunidad perifítica registrada durante época seca y lluvia.....	77
Tabla 5.2.2.1.7 Índices de diversidad de la comunidad perifítica por puntos y temporada de muestreo	85
Tabla 5.2.2.1.8 Composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos registrados durante época seca y lluvia	93
Tabla 5.2.2.1.9 Índices de diversidad de la comunidad macroinvertebrados acuáticos en los puntos y temporadas de muestreo.....	104
Tabla 5.2.2.1.10 Índice BMWP/Col para la comunidad de macroinvertebrados en los puntos y temporadas de muestreo	111
Tabla 5.2.2.1.11 Composición y estructura de la comunidad de peces registrados durante época seca y lluvia.....	115
Tabla 5.2.2.1.12 Índices de diversidad de la comunidad de peces en los puntos y temporadas de muestreo	120
Tabla 5.2.2.1.13. Ecología de las especies de ictiofauna registradas para análisis toxicológico	125
Tabla 5.2.2.1.14. Categoría de amenaza y estado de la ictiofauna	127
Tabla 5.2.2.1.15. Caracterización ecológica, trófica y potencial de bioacumulación de las especies ícticas registradas en el área de estudio	134
Tabla 5.2.2.1.16. Categoría de amenaza y estado de la ictiofauna	136
Tabla 5.2.2.1.17 Parámetros fisicoquímicos obtenidos y evaluados en la correlación FQ-HB.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.2.2.1.1 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo de comunidades hidrobiológicas	10
Figura 5.2.2.1.2 Porcentaje de representatividad de las divisiones de la comunidad fitoplanctónica	52
Figura 5.2.2.1.3 Densidad de fitoplancton por división y temporada de muestreo ...	53
Figura 5.2.2.1.4 Riqueza de fitoplancton por división y temporada de muestreo	54
Figura 5.2.2.1.5 Distribución espacial y temporal de la comunidad de fitoplancton- parte 1	55
Figura 5.2.2.1.6 Distribución espacial y temporal de la comunidad de fitoplancton- parte 2	55
Figura 5.2.2.1.7 Índices de diversidad de la comunidad de fitoplancton por punto y temporada de muestreo – Parte 1	60
Figura 5.2.2.1.8 Índices de diversidad de la comunidad de fitoplancton por punto y temporada de muestreo – Parte 2	60
Figura 5.2.2.1.9 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de fitoplancton en los puntos muestreados	62
Figura 5.2.2.1.10 Porcentaje de representación por phylum en la comunidad zooplanctónica	66
Figura 5.2.2.1.11 Densidad de zooplancton por phylum y temporada de muestreo	67
Figura 5.2.2.1.12 Riqueza de zooplancton por phylum y temporada de muestreo ..	67
Figura 5.2.2.1.13 Distribución espacial y temporal de la comunidad de zooplancton- parte 1	69
Figura 5.2.2.1.14 Distribución espacial y temporal de la comunidad de zooplancton- parte 2	69
Figura 5.2.2.1.15 Índices de diversidad de la comunidad zooplanctónica por punto y temporada de muestreo – Parte 1	73
Figura 5.2.2.1.16 Índices de diversidad de la comunidad zooplanctónica por punto y temporada de muestreo – Parte 2	73
Figura 5.2.2.1.17 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de zooplancton en los puntos muestreados	75
Figura 5.2.2.1.18 Porcentaje de representatividad de las divisiones de la comunidad de perifiton	81
Figura 5.2.2.1.19 Densidad de perifiton por división y temporada de muestreo	82
Figura 5.2.2.1.20 Riqueza de perifiton por división y temporada de muestreo	82
Figura 5.2.2.1.21 Distribución espacial y temporal de la comunidad de perifiton- parte 1	84

Figura 5.2.2.1.22 Distribución espacial y temporal de la comunidad de perifiton-parte 2.....	84
Figura 5.2.2.1.23 Índices de diversidad de la comunidad perifítica por puntos y temporada de muestreo – Parte 1	89
Figura 5.2.2.1.24 Índices de diversidad de la comunidad perifítica por puntos y temporada de muestreo – Parte 2.....	89
Figura 5.2.2.1.25 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de perifiton en los puntos muestreados.....	91
Figura 5.2.2.1.26 Porcentaje de representación por phylum en la comunidad de macroinvertebrados	100
Figura 5.2.2.1.27 Densidad de macroinvertebrados por phylum y temporada de muestreo.....	101
Figura 5.2.2.1.28 Riqueza de macroinvertebrados por phylum y temporada de muestreo.....	101
Figura 5.2.2.1.29 Distribución espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados - parte 1	103
Figura 5.2.2.1.30 Distribución espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados-parte 2	103
Figura 5.2.2.1.31 Índices de diversidad de la comunidad macroinvertebrados acuáticos en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 1	107
Figura 5.2.2.1.32 Índices de diversidad de la comunidad macroinvertebrados acuáticos en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 2	107
Figura 5.2.2.1.33 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los puntos muestreados	109
Figura 5.2.2.1.34 Porcentaje de representación por orden en la comunidad de peces.....	114
Figura 5.2.2.1.35 Abundancia de peces por orden y temporada de muestreo	116
Figura 5.2.2.1.36 Riqueza de peces por orden y temporada de muestreo	117
Figura 5.2.2.1.37 Distribución espacial y temporal de ictiofauna - parte 1.....	118
Figura 5.2.2.1.38 Distribución espacial y temporal de ictiofauna - parte 2.....	119
Figura 5.2.2.1.39 Índices de diversidad de la comunidad de peces en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 1	122
Figura 5.2.2.1.40 Índices de diversidad de la comunidad de peces en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 2	122
Figura 5.2.2.1.41 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de peces en los puntos muestreados.....	123
Figura 5.2.2.1.42. Riqueza de ictiofauna entre puntos de muestreo en temporada seca.....	130
Figura 5.2.2.1.43. Abundancia de ictiofauna entre puntos de muestreo en temporada seca	130

Figura 5.2.2.1.44. Riqueza de ictiofauna entre puntos de muestreo en temporadas de lluvias	141
Figura 5.2.2.1.45. Abundancia de ictiofauna por punto de muestreo.....	141
Figura 5.2.2.1.46 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad Fitoplanctónica.....	150
Figura 5.2.2.1.47 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad Zooplanctónica.....	152
Figura 5.2.2.1.48 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad perifítica...	155
Figura 5.2.2.1.49 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.....	157
Figura 5.2.2.1.50 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad de peces..	159

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

5.2 MEDIO BIÓTICO

5.2.1 Ecosistemas

5.2.2 Ecosistemas terrestres

5.2.2.1 Ecosistemas acuáticos

En el marco de la modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote se realizó la caracterización de las comunidades hidrobiológicas a partir de muestreos de fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados y peces, durante dos periodos hidrológicos contrastantes (lluvia abril - mayo de 2025 y seco diciembre - enero de 2025) en 43 puntos dentro del área de influencia de este componente. De estos puntos, tres resultaron no efectivos al encontrarse secos durante las dos campañas de muestreo: AM01, AN06 y P09. El detalle de los monitoreos, en el que se presentan las técnicas, esfuerzos y registros fotográficos, se presenta en ANEXOS_CARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS

En la Tabla 5.2.2.1.1 se presenta la información geográfica y afluente asociado a cada punto de muestreo. También se puede consultar la ubicación de estos puntos en la Figura 5.2.2.1.1.

Tabla 5.2.2.1.1 Puntos de muestreo de ecosistemas acuáticos

Punto	Periodo	Fecha toma de muestra	Fuente	Municipio	Vereda	Cota	Coordenada Este	Coordenada Norte
AN01	Lluvia	2/05/2025	Afluente Nus 1	San Roque	Guacas Abajo	819,91	4789153,84	2278275,12
	Seca	24/01/2025						
AN02	Lluvia	7/05/2025	Afluente Nus 2	San Roque	Guacas Abajo	818,45	4790665,88	2278147,63
	Seca	22/01/2025						
AN03	Lluvia	27/04/2025	Afluente Nus 3	San Roque	La María	814,45	4791608,79	2277759,99
	Seca	11/01/2025						
AN04	Lluvia	4/05/2025		San Roque	La María	819,99	4791771,32	2277600,49

Punto	Periodo	Fecha toma de muestra	Fuente	Municipio	Vereda	Cota	Coordenada Este	Coordenada Norte
	Seca	11/01/2025	Afluente Nus 4					
AN05	Lluvia	4/05/2025	Afluente Nus 4	San Roque	La María	813,32	4792021,50	2277866,93
	Seca	22/01/2025						
AN07	Lluvia	8/05/2025	Afluente Nus 5	San Roque	El Diluvio	810,14	4792601,41	2277780,82
	Seca	21/01/2025						
AN08	Lluvia	9/05/2025	Afluente Nus 6	San Roque	El Diluvio	811,37	4792765,16	2277656,90
	Seca	21/01/2025						
B02	Lluvia	3/05/2025	Quebrada El Balsal	San Roque	Guacas Abajo	855,35	4788735,87	2277064,78
	Seca	25/01/2025						
B03	Lluvia	3/05/2025	Quebrada El Balsal	San Roque	Guacas Abajo	830,71	4789316,88	2277677,03
	Seca	12/01/2025						
C02	Lluvia	7/05/2025	Quebrada La Colorada	San Roque	Guacas Abajo	837,11	4788946,04	2277772,65
	Seca	13/01/2025						
C03	Lluvia	26/04/2025	Quebrada La Colorada	San Roque	Guacas Abajo	811,61	4790059,27	2278518,31
	Seca	13/01/2025						
EB02	Lluvia	2/05/2025	Quebrada El Banco	San Roque	Guacas Abajo	829,30	4786725,83	2278790,69
	Seca	12/01/2025						
EB03	Lluvia	2/05/2025	Quebrada El Banco	San Roque	Guacas Abajo	818,25	4786743,63	2279491,16
	Seca	12/01/2025						
G03	Lluvia	6/05/2025	Quebrada Guacas	San Roque	Peñas Azules	931,74	4787582,74	2276826,44
	Seca	20/01/2025						
G05	Lluvia	26/04/2025	Quebrada Guacas	San Roque	Guacas Abajo	813,61	4788745,54	2278366,20
	Seca	20/01/2025						
LM01	Lluvia	8/05/2025	Quebrada La María	San Roque	La María	840,05	4790124,50	2277306,82
	Seca	22/01/2025						
LM02	Lluvia	3/05/2025	Quebrada La María	San Roque	La María	829,04	4790712,09	2277633,27
	Seca	13/01/2025						
LM03	Lluvia	3/05/2025	Quebrada La María	San Roque	La María	814,12	4790946,94	2278073,43
	Seca	13/01/2025						
N04	Lluvia	22/04/2025	Río Nus	San Roque	Guacas Abajo	816,56	4786457,33	2279685,97
	Seca	15/01/2025						
N05	Lluvia	22/04/2025	Río Nus	San Roque	Guacas Abajo	815,57	4787101,53	2279395,78
	Seca	30/12/2024						
N06	Lluvia	23/04/2025	Río Nus	San Roque	Guacas Abajo	814,00	4788441,01	2278827,61
	Seca	3/01/2025						
N07	Lluvia	23/04/2025	Río Nus	San Roque	Guacas Abajo	813,91	4788615,34	2278568,00
	Seca	3/01/2025						

Punto	Periodo	Fecha toma de muestra	Fuente	Municipio	Vereda	Cota	Coordenada Este	Coordenada Norte
N08	Lluvia	23/04/2025	Río Nus	San Roque	Providencia	813,73	4789072,27	2278623,74
	Seca	4/01/2025						
N09	Lluvia	23/04/2025	Río Nus	San Roque	Providencia	811,51	4789859,29	2278580,73
	Seca	4/01/2025						
N10	Lluvia	24/04/2025	Río Nus	San Roque	Guacas Abajo	810,16	4790620,10	2278349,91
	Seca	5/01/2025						
N11	Lluvia	24/04/2025	Río Nus	San Roque	La María	808,92	4791501,99	2277949,66
	Seca	5/01/2025						
N12	Lluvia	24/04/2025	Río Nus	San Roque	La María	808,05	4791975,05	2278046,01
	Seca	10/01/2025						
N13	Lluvia	24/04/2025	Río Nus	San Roque	El Diluvio	808,22	4792469,79	2277882,78
	Seca	10/01/2025						
N15	Lluvia	25/04/2025	Río Nus	San Roque	La Linda	802,67	4794324,72	2277079,24
	Seca	11/01/2025						
N16	Lluvia	25/04/2025	Río Nus	San Roque	La Linda	802,09	4794682,11	2276996,64
	Seca	10/01/2025						
N17	Lluvia	25/04/2025	Río Nus	San Roque	La Linda	811,01	4797521,71	2276494,57
	Seca	10/01/2025						
P03	Lluvia	27/04/2025	Quebrada La Palestina	San Roque	El Iris	835,80	4791127,98	2276793,31
	Seca	23/01/2025						
P04	Lluvia	27/04/2025	Quebrada La Palestina	San Roque	El Iris	828,82	4791306,82	2276349,55
	Seca	23/01/2025						
P05	Lluvia	27/04/2025	Quebrada La Palestina	San Roque	El Diluvio	870,72	4791502,93	2276062,74
	Seca	17/01/2025						
P06	Lluvia	10/05/2025	Quebrada La Palestina	San Roque	El Diluvio	818,41	4792274,62	2276641,98
	Seca	23/01/2025						
P07	Lluvia	10/05/2025	Quebrada La Palestina	San Roque	El Diluvio	810,54	4793299,30	2276667,09
	Seca	23/01/2025						
P08	Lluvia	9/05/2025	Afluente Quebrada La Palestina 1	San Roque	El Diluvio	962,25	4792648,36	2275962,41
	Seca	19/01/2025						
P10	Lluvia	25/04/2025	Quebrada La Palestina	San Roque	La Linda	806,34	4794392,79	2276883,29
	Seca	19/01/2025						
SA02	Lluvia	26/04/2025	Quebrada San Antonio	San Roque	Guacas Abajo	826,60	4787545,08	2278219,94
	Seca	15/01/2025						
SA03	Lluvia	26/04/2025		San Roque	Guacas Abajo	818,96	4788093,94	2278589,64

Punto	Periodo	Fecha toma de muestra	Fuente	Municipio	Vereda	Cota	Coordenada Este	Coordenada Norte
	Seca	12/01/2025	Quebrada San Antonio					

Coordenadas en MAGNA-SIRGAS Origen Nacional

Fuente: Integral S.A., 2025

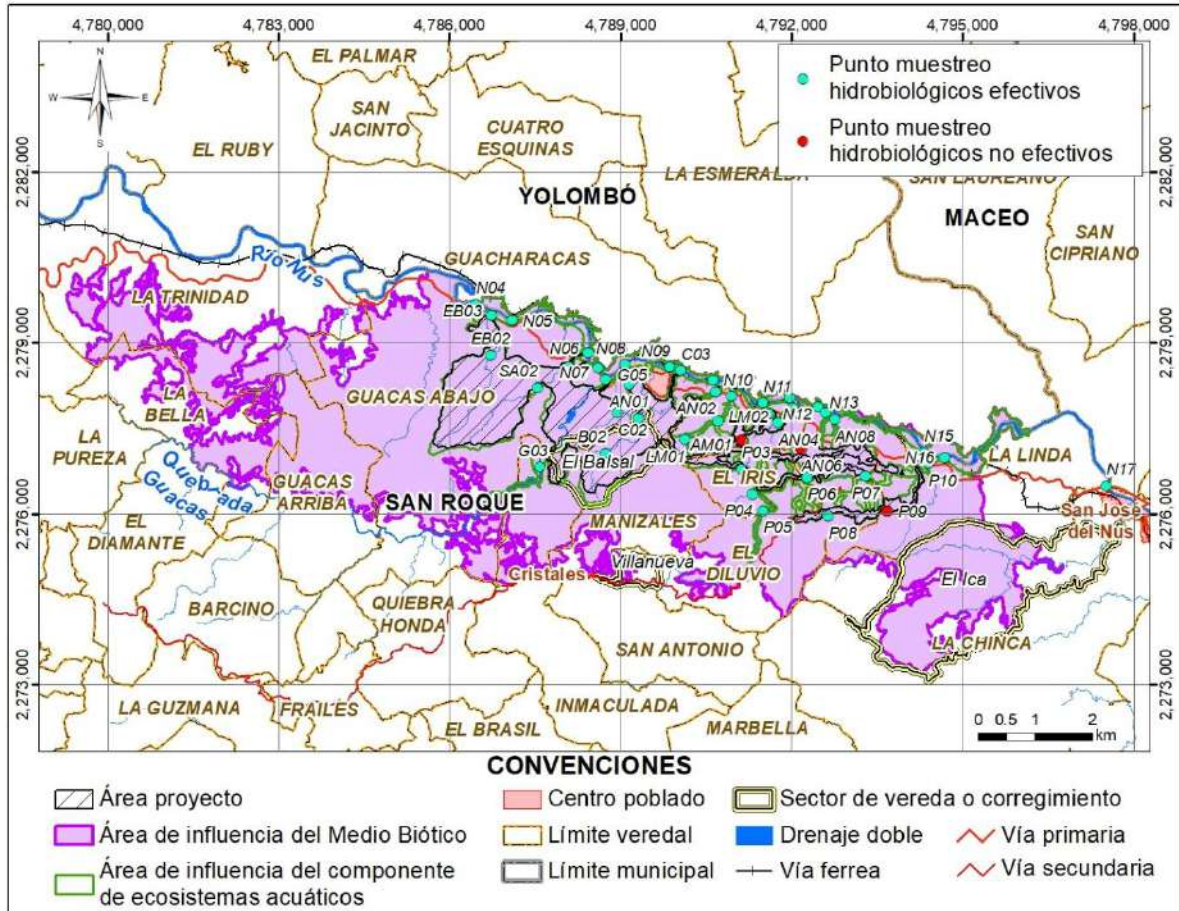


Figura 5.2.2.1.Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo de comunidades hidrobiológicas

Fuente: Integral S.A., 2026.

Es importante mencionar que, los puntos de monitoreo N04 y N17 se encuentran por fuera del área de influencia de ecosistemas acuáticos, debido a que en la planeación de las campañas de monitoreo se definió que podrían ser útiles para establecer las condiciones de frontera en los modelos de vertimiento, requiriéndose la caracterización de las comunidades hidrobiológicas. Estos modelos pueden abarcar una extensión mayor que el área de influencia delimitada aguas arriba en el río Nus, la cual se define por el primer cauce

con posible intervención y la longitud de mezcla de los vertimientos en este cuerpo de agua, tal como se detalla en el numeral 4.2.2.2.4 del Capítulo 4 de Área de Influencia.

Por su parte, los puntos P04 y P08 fueron monitoreados con el objetivo de caracterizar las condiciones aguas arriba de algunos cauces que, al inicio del proyecto, presentaban un alto potencial de intervención. Estos puntos se mantienen actualmente para contar con información de las comunidades hidrobiológicas presentes en dichos cauces, lo que ha permitido identificar drenajes que contribuyen al conocimiento regionalizado de la zona.

5.2.2.1.1 Descripción de los puntos de muestreo

Los muestreos en temporada seca se realizaron entre el 30 de diciembre de 2024 y el 25 de enero de 2025, mientras que en temporada lluviosa se efectuaron del 22 de abril al 10 de mayo de 2025. En cada temporada se identificaron las comunidades acuáticas (perifiton, fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados, peces y macrófitas) en 40 puntos distribuidos dentro del área de influencia biótica asociada a la presente modificación de la licencia ambiental. A continuación, se describe cada punto de muestreo junto con la información recolectada en ambas temporadas:

A. Punto AN01

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo				
			AN01				
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:				
Seca: 5,40	Seca: 105	Seca: 5,56	Afluente Nus 1				
Lluvia: 7,23	Lluvia: 30	Lluvia: 6,6					
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)	
Seca: 23,30	Seca: 60,3	Seca: 0,60	BO2500432	BO2502704	24/01/2025	2/05/2025	
Lluvia: 24,40	Lluvia: 64	Lluvia: 0,50	.001	.004			
Descripción							
Tipo de Vegetación	Temporada seca: bosque (50%), rastrojo alto (25%) y rastrojo bajo (25%) Temporada lluvia: bosque (40%), rastrojo alto (10%), pastos (30%), miscelánea (10%) y rastrojo bajo (10%)						
Impacto sobre el cuerpo de agua	Captación						
Características del lecho	Temporada seca: hojarasca (50%), lodo (30%) y arena (30%) Temporada Lluvia: hojarasca (30%) y arena (70%)						
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Unico Nacional	Este		Norte		
			4789153,84		2278275,12		

Observaciones Adicionales: Sistema tipo quebrada, de canal meándrico, con nivel del agua flujo base y corriente lenta.

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

B. Punto AN02

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			AN02			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 5,76	Seca: 103	Seca: 7,13	Afluente Nus 2			
Lluvia: 6,50	Lluvia: 102	Lluvia: 7,33				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 29,36	Seca: 76,9	Seca: 0,30	BO25004 23.004	BO2502790 .001	22/01/2025	7/05/2025
Lluvia: 23,99	Lluvia: 80,8	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: pastos (40%), rastrojo alto (30%) y rastrojo bajo (30%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Uso agropecuario. Se evidencian actividades de pastoreo alrededor al cuerpo de agua					
Características del lecho	Temporada seca: lodo (50%) y hojarasca (50%) Temporada lluvia: lodo (10%), arena (30%), canto rodado (30%) y hojarasca (30%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen único Nacional				
			4790665,88	2278147,63		

Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo arroyo, de canal recto, con nivel del agua bajo y corriente lenta a media, agua clara, inmerso en un suelo de uso agropecuario

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

C. Punto AN03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			AN03			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,62	Seca: 230	Seca: 7,77	Afluente Nus 3			
Lluvia: 6,14	Lluvia: 59	Lluvia: 5,89				

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			AN03			
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 25,29	Seca: 85,21	Seca: 0,25	BO2500167.00	BO2502610.00	11/01/2025	28/04/2025
Lluvia: 24,4	Lluvia: 65,5	Lluvia: 1	1	2	5	5
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (70%), rastrojo alto (15%) y rastrojo bajo (15%) Temporada lluvia: bosque (70%), rastrojo alto (10%) y cultivos (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Sistema inmerso en un suelo de uso agropecuario. Se evidencian impactos mineros y de pastoreo sobre el cuerpo de agua.					
Características del lecho	Temporada seca: lodo (40%), arena (30%) y hojarasca (30%) Temporada lluvia: arena (70%), grava (10%) y rocas grandes (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4791608,79		2277759,99	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto con agua clara en temporada seca y agua turbia en temporada lluvia; con un nivel de agua bajo en temporada seca y alto en temporada de lluvias, y con corriente media.						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

D. Punto AN04

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			AN04			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,30	Seca: 448	Seca: 6,44	Afluente Nus 4			
Lluvia: 7,55	Lluvia: 99	Lluvia: 4,47				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,69	Seca: 70,10	Seca: 0,15	BO2500167.002	BO2502716.002	11/01/2025	4/05/2025
Lluvia: 22,70	Lluvia: 46,6	Lluvia: 0,40				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: cultivos (30%), rastrojo alto (25%), rastrojo bajo (25%) y bosque (20%) Temporada lluvia: cultivos (20%), rastrojo alto (10%) y bosque (70%)					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			AN04	
Impacto sobre el cuerpo de agua	Se encuentra inmerso en un suelo de uso rural y se evidencian impactos sobre el cuerpo de agua para captación			
Características del lecho	Temporada seca: arena (60%), canto rodado (20%) y hojarasca (20%) Temporada lluvia: arena (80%) y grava (20%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4791771,32	2277600,49
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo caño, canal mixto (temporada seca) y canal meándrico (temporada lluvia), con nivel del agua bajo, corriente lenta y agua clara.				
Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025				

E. Punto AN05

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			AN05			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,82	Seca: 243	Seca: 5,32	Afluente Nus 4			
Lluvia: 6,54	Lluvia: 188	Lluvia: 4,46				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,72	Seca: 60,12	Seca: 0,15	BO2500423.003	BO2502716.001	22/01/2025	4/05/2025
Lluvia: 23,75	Lluvia: 48	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo alto (40%), rastrojo bajo (40%), bosque (10%) y pastos (10%) Temporada lluvia: rastrojo alto (45%), rastrojo bajo (45%) y bosque (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Afluente inmerso en un suelo de uso rural y con actividades de minería aledañas al cuerpo de agua					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			AN05	
Características del lecho	Temporada seca: arena (50%), canto rodado (40%) y hojarasca (10%) Temporada lluvia: arena (60%), canto rodado (20%) y hojarasca (20%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4792021,50	2277866,93
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua bajo y corriente media, agua opaca.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

F. Punto AN07

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			AN07			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,60	Seca: 137	Seca: 8,02	Afluente Nus 5			
Lluvia: 6,79	Lluvia: 79	Lluvia: 8,94				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 21,89	Seca: 84,2	Seca: 0,36	BO2500390.003	BO2502809.001	21/01/2025	8/05/2025
Lluvia: 24,83	Lluvia: 98,8	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: pastos (60%), rastrojo alto (20%) y rastrojo bajo (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de pastoreo sobre el cuerpo de agua					
Características del lecho	Temporada seca: arena (50%) y lodo (50%) Temporada lluvia: arena (40%), arcilla (20%), canto rodado (20%) y lodo (20%)					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			AN07	
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4792601,41	2277780,82
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo manantial. De canal recto en temporada seca y mixto en temporada de lluvias. Nivel del agua bajo en temporada seca y alto en temporada de lluvias. Corriente lenta con agua clara en temporada seca y corriente media con agua turbia en temporada de lluvias. Inmerso en un suelo de uso agropecuario.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

G. Punto AN08

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			AN08			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,39	Seca: 162	Seca: 7,77	Afluente Nus 6			
Lluvia: 6,83	Lluvia: 122	Lluvia: 6,99				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 21,99	Seca: 81,8	Seca: 0,30	BO2500423.001	BO2502854.002	21/01/2025	23/04/2025
Lluvia: 23,72	Lluvia: 76,5	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: pastos (70%), rastrojo alto (10%), rastrojo bajo (10%) y bosque (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de pastoreo sobre el cuerpo de agua					
Características del lecho	Temporada seca: arena (20%), lodo (20%), rocas grandes (20%), grava (20%) y hojarasca (20%) Temporada lluvia: arena (50%), lodo (30%), canto rodado (10%) y hojarasca (10%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional				
			4792765,16		2277656,90	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo manantial de canal recto en temporada seca y de tipo afluente con canal mixto en temporada de lluvias. Nivel del agua bajo, corriente lenta y agua clara. Inmerso en un suelo de uso agropecuario.						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

H. Punto B02

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			B02			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,51	Seca: 351	Seca: 4,37	Quebrada El Balsal			
Lluvia: 7,58	Lluvia: 297	Lluvia: 8,27				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,93	Seca: 50,6	Seca: 0,10	BO2500217.003	BO2502704.001	25/01/2025	3/05/2025
Lluvia: 23,51	Lluvia: 90,3	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: cultivos (50%), rastrojo alto (25%) y rastrojo bajo (25%) Temporada lluvia: cultivos (50%), rastrojo alto (25%) y rastrojo bajo (25%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividad minera, de pastoreo, descarga y desechos sólidos sobre el cuerpo de agua					
Características del lecho	Temporada seca: arena (50%), lodo (25%) y grava (25%) Temporada lluvia: arena (60%), canto rodado (20%) y grava (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Unico Nacional				
			4788735,87		2277064,78	

Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua medio (temporada seca) a bajo (temporada lluvias) y corriente media, agua clara (temporada seca) a turbia con coloración gris (temporada lluvias). Inmerso en un suelo de uso agropecuario.

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

I. Punto B03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			B03			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,34	Seca: 299	Seca: 6,85	Quebrada El Balsal			
Lluvia: 7,78	Lluvia: 269	Lluvia: 8,78				

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			B03			
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 27,78	Seca: 80,7	Seca: 0,30	BO2500217 .002	BO2502717 .002	12/01/2025	3/05/2025
Lluvia: 22,83	Lluvia: 94,3	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: bosque (50%), rastrojo alto (25%) y rastrojo bajo (25%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades agropecuarias y mineras					
Características del lecho	Temporada seca: arena (40%), lodo (40%) y grava (10%) Temporada lluvia: arena (60%), canto rodado (20%) y grava (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Unico Nacional	Este		Norte	
			4789316,88		2277677,03	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal recto (temporada seca) a mixto (temporada lluvia), con nivel del agua bajo y corriente lenta (temporada seca) a media (temporada lluvia) y agua turbia de tonalidad grisácea.						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

J. Punto C02

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			C02			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,13	Seca: 385	Seca: 1,76	Quebrada La Colorada			
Lluvia: 6,81	Lluvia: 438	Lluvia: 7,68				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,80	Seca: 22,8	Seca: 0,15	BO2500194 .004	BO2502790 .002	13/01/2025	7/05/2025
Lluvia: 22,58	Lluvia: 82,1	Lluvia: 0,10				
Descripción						

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			C02	
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo alto (40%), rastrojo bajo (40%) y bosque (20%) Temporada lluvia: rastrojo alto (45%), rastrojo bajo (45%) y bosque (10%)			
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades agropecuarias y mineras			
Características del lecho	Arena (100%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenada s Origen Unico Nacional	Este	Norte
			4788946,04	2277772,65
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, canal mixto con nivel del agua bajo, agua turbia (temporada seca) a opaca (temporada lluvia), con corriente media.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

K. Punto C03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			C03			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,76	Seca: 285	Seca: 1,29	Quebrada La Colorada			
Lluvia: 6,70	Lluvia: 143	Lluvia: 6,10				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22.98	Seca: 16,7	Seca:0,15	BO2500194.003	BO2502587.001	13/01/2025	26/04/2025
Lluvia: 25,4	Lluvia: 73,4	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Rastrojo alto (50%) y rastrojo bajo (50%).					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades rurales					
Características del lecho	Arena (100%)					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			C03	
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4790059,27	2278518,31

Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua bajo (temporada seca) a alto (temporada lluvia) y agua opaca (temporada seca) a turbia (temporada lluvia)

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

L. Punto EB02

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			EB02			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,80	Seca: 93	Seca: 8,23	Quebrada El Banco			
Lluvia: 6,46	Lluvia: 60	Lluvia: 8,69				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,02	Seca: 87	Seca:0,50	BO2500217.003	BO2502704.001	12/01/2025	2/05/2025
Lluvia: 23,69	Lluvia: 94,8	Lluvia: 0,20				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: rastrojo alto (20%), rastrojo bajo (20%) y pastos (60%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Pastoreo					
Características del lecho	Temporada seca: lodo (70%) y arena (60%) Temporada lluvia: arena (50%), rocas grandes (25%) y canto rodado (25%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4786725,83		2278790,69	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal recto (temporada seca) a mixto (temporada lluvia). Nivel del agua bajo y corriente lenta (temporada seca) a corriente media (temporada lluvia). Agua clara traslúcida.						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

M. Punto EB03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			EB03			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 5,82	Seca: 88	Seca: 7,88	Quebrada El Banco			
Lluvia: 5,09	Lluvia: 42	Lluvia: 8,45				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 25,06	Seca: 88,1	Seca: 0,50	BO2500217.001	BO2502704.002	12/01/2025	2/05/2025
Lluvia: 27,03	Lluvia: 98,2	Lluvia: 0,15				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: pastos (80%), rastrojo alto (10%) y rastrojo bajo (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades agropecuarias					
Características del lecho	Temporada seca: lodo (40%), arena (40%) y grava (20%) Temporada lluvia: arena (80%) y canto rodado (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4786743,63		2279491,16	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, con nivel del agua bajo y corriente lenta (temporada seca) a corriente media (temporada lluvia)						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

N. Punto G03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			G03			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,55	Seca: 85	Seca: 8,27	Quebrada Guacas			
Lluvia: 6,57	Lluvia: 14	Lluvia: 9,49				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,17	Seca: 90,03	Seca: 0,40	BO2500364.002	BO2502759.001	20/01/2025	6/05/2025
Lluvia: 21,59	Lluvia: 101	Lluvia: 0,50				

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
Descripción			G03	
Tipo de Vegetación	Pastos (100%)			
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de pastoreo sobre el cuerpo de agua			
Características del lecho	Temporada seca: canto rodado (50%) y arena (50%) Temporada lluvia: canto rodado (30%), arena (50%) y rocas grandes (20)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4787582,74	2276826,44
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo arroyo, de canal mixto, con nivel del agua y corriente medios, agua clara (temporada seca) a turbia (temporada lluvia)				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

O. Punto G05

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			G05			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,62	Seca: 69	Seca: 8,41	Quebrada Guacas			
Lluvia: 7,39	Lluvia: 33	Lluvia: 8,84				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,29	Seca: 90	Seca: 0,50	BO2500390.001	BO2502587.002	20/01/2025	26/04/2025
Lluvia: 22,34	Lluvia: 93,3	Lluvia: 0,80				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: rastrojo alto (50%) y rastrojo bajo (50%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades agropecuarias e industriales					
Características del lecho	Temporada seca: arena (50%), lodo (20%), grava (20%) y hojarasca (10%) Temporada lluvia: arena (80) y canto rodado (20%)					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			G05	
Tipo de corriente	Lótico	Coordenada s Origen Único Nacional	Este	Norte
			4788745,54	2278366,20
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal recto (temporada seca) a mixto (temporada lluvia), con nivel del agua bajo (temporada seca) a alto (temporada lluvia) y corriente lenta (temporada seca) a media (temporada lluvia). Agua clara (temporada seca) a turbia (temporada lluvia).				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

P. Punto LM01

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			LM01			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,75	Seca: 188	Seca: 7,83	Quebrada La María			
Lluvia: 7,58	Lluvia: 83	Lluvia: 7,44				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 21,65	Seca: 82,3	Seca: 0,50	BO2500423.002	BO2502809.003	22/01/2025	8/05/2025
Lluvia: 24,23	Lluvia: 79,9	Lluvia: 1				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: cultivos (100%) Temporada lluvia: bosque (60%), rastrojo alto (20%) y pastos (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Agricultura					
Características del lecho	Temporada seca: lodo (80%) y arena (20%) Temporada lluvia: grava (10%), rocas grandes (20%) y arena (70%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional				
			Este		Norte	
			4790124,50		2277306,82	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto (temporada seca) a meándrico (temporada lluvia). Nivel del agua flujo base y corriente lenta (temporada seca) a media (temporada lluvia). Agua clara.						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

Q. Punto LM02

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			LM02			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,92	Seca: 242	Seca: 17,78	Quebrada La María			
Lluvia: 7,23	Lluvia: 80	Lluvia: 5,9				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 31,32	Seca: -	Seca: 0,5	BO2500194.001	BO2502717.004	19/02/2025	3/05/2025
Lluvia: 24,40	Lluvia: 64	Lluvia: 1				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Pastos 100%					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Se presenta actividad de pastoreo alrededor al cuerpo de agua, así como también se observó abundante excremento de aves que cae al cuerpo de agua.					
Características del lecho	Temporada seca: lodo (100%) Temporada lluvia: arena (50%), canto rodado (10%) y roca grande (40%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4790712,09		2277633,27	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, con nivel del agua flujo base, agua opaca (temporada lluvia) a turbia (temporada seca). Corriente media						

Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, con nivel del agua flujo base, agua opaca (temporada lluvia) a turbia (temporada seca). Corriente media

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

R. Punto LM03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			LM03			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,51	Seca: 292	Seca: 7,48	Quebrada La María			
Lluvia: 7,86	Lluvia: 182	Lluvia: 7,35				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 23,7	Seca: 81,4	Seca: 0,30	BO2500194.002	BO2502717.003	13/01/2025	3/05/2025
Lluvia: 23,77	Lluvia: 78,1	Lluvia: 1				

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
Descripción			LM03	
Tipo de Vegetación	Temporada seca: cultivos (100%)			
	Temporada lluvia: bosque (50%), rastrojo rojo (10%), pastos (20%) y miscelánea (20%)			
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades agropecuarias y mineras			
Características del lecho	Temporada seca: arena (40%), lodo (30%) y grava (10%)			
	Temporada lluvia: arena (50%), grava (40%) y rocas grandes (10%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenada s Origen Unico Nacional	Este	Norte
			4790946,94	2278073,43
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, con nivel del agua flujo base (temporada lluvias) a medio (temporada seca), presenta zonas de rápidos. Corriente media. Agua turbia con tonalidad grisácea				



13/01/2025 9:57:54 a. m.
6°30'47,92824"N 74°53'29,22216"W ±30,40m
#LM03

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

S. Punto N04

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N04			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,41	Seca: 83	Seca: 8,50	Río Nus			
Lluvia: 7,34	Lluvia: 63	Lluvia: 7,47				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 24,23	Seca: 92,9	Seca: -	BO2500285.002	BO2502478.001	13/01/2025	22/04/2025
Lluvia: 23,07	Lluvia: 81,5	Lluvia: 0,50				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo alto (50%), rastrojo bajo (40%) y bosque (10%) Temporada lluvia: rastrojo alto (30%), rastrojo bajo (30%) y pastos (40%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de captación y pastoreo en el cuerpo de agua					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N04	
Características del lecho	Temporada seca: arena (70%), grava (20%) y lodo (10%) Temporada lluvia: arena (50%) y canto rodado (50%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4786457,33	2279685,97
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal recto (temporada seca) a medio (temporada lluvia). Nivel del agua medio y zonas de rápidos. Corriente tipo media. Agua opaca de tonalidad verdosa (temporada seca) a turbia de tonalidad café (temporada lluvia).				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

T. Punto N05

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N05			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,99	Seca: 4,18	Seca: 3,74	Río Nus			
Lluvia: 5,68	Lluvia: 55	Lluvia: 7,49				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,78	Seca: 48,4	Seca: -	BO2500006.001	BO2502478.002	30/12/2024	22/04/2025
Lluvia: 24,06	Lluvia: 82,3	Lluvia: 0,80				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: bosque (60%), rastrojo alto (20%) y rastrojo bajo (20%) Temporada lluvia: pastos (40%), rastrojo alto (30%) y rastrojo bajo (30%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	-					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N05	
Características del lecho	<p>Temporada seca: arena (40%), rocas grandes (20%), hojarasca (20%), lodo (10%) y arcilla (10%)</p> <p>Temporada lluvia: arena (60%), rocas grandes (20%) y canto rodado (20%)</p>		 <p>2025-04-22 6°31'29.73879" N 74°55'34.42796" W Altitud: 831.6m Velocidad: 0.0km/h Río nus N05</p>	
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4787101,53	2279395,78
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto con corriente media. Agua clara y traslúcida durante la temporada seca y con coloración café en la temporada de lluvias. Nivel medio del caudal.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

U. Punto N06

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N06			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,93	Seca: 176	Seca: 4,60	Río Nus			
Lluvia: 6,71	Lluvia: 25	Lluvia: 7,89				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,66	Seca: 59,3	Seca: -	BO2500077.001	BO2502496.002	3/01/2025	23/04/2025
Lluvia: 21,95	Lluvia: 80,6	Lluvia: 5				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo alto (40%), rastrojo bajo (30%) y bosque (30%) Temporada lluvia: rastrojo alto (20%), pastos (60%) y bosque (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	-					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N06	
Características del lecho				
			<p>6°31'14.703"N 74°54'50.107"W San Roque Altitud: 871.6m N06 Gramalote Colombia Limited</p>	
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4788441,01	2278827,61
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto (temporada seca) a recto (temporada lluvia), con corriente media (temporada seca) a rápida (temporada lluvia), nivel del agua bajo (temporada seca) a alto (temporada lluvia).				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

V. Punto N07

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N07			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 5,65	Seca: 145	Seca: 5,66	Río Nus			
Lluvia: 6,78	Lluvia: 26,1	Lluvia: 7,92				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 23,87	Seca: 74,9	Seca: 1,10	BO2500077.002	BO2502496.004	3/01/2025	23/04/2025
Lluvia: 22,70	Lluvia: 81,2	Lluvia: 0,4				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo bajo (40%), rastrojo alto (30%) y bosque (30%) Temporada lluvia: rastrojo alto (20%), pastos (60%) y bosque (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Puente					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N07	
Características del lecho	Temporada seca: rocas canto rodado (60%), arena (30%) y hojarasca (10%) Temporada lluvia: arena (70%) y grava (30%)			
				
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4788615,34	2278568,00
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto (temporada seca) a meándrico (temporada lluvia). Corriente media (temporada seca) a corriente rápida (temporada lluvia). Agua clara (temporada seca) a marrón (temporada lluvia). Nivel del caudal medio (temporada seca) a nivel del caudal inundado (temporada lluvia).				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

W. Punto N08

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N08			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,93	Seca: 145	Seca: 3,69	Río Nus			
Lluvia: 5,85	Lluvia: 33	Lluvia: 8,08				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,86	Seca: -	Seca: -	BO2500090.001	BO2502496.003	4/01/2025	23/04/2025
Lluvia: 23,42	Lluvia: 87,4	Lluvia: 0,80				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Pastos (30%), rastrojo alto (35%) y rastrojo bajo (35%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	-					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N08	
Características del lecho	Arena (80%) y lodo (20%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4789072,27	2278623,74
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto, con nivel del agua alto y corriente de tipo rápidos, con coloración café, agua turbia; inmerso en un suelo de uso agropecuario				
Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025				

X. Punto N09

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N09			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,23	Seca: 137	Seca: 5,44	Río Nus			
Lluvia: 6,46	Lluvia: 16	Lluvia: 7,14				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 23,21	Seca: -	Seca: -	BO2500090.002	BO2502496.001	4/01/2025	23/04/2025
Lluvia: 25,15	Lluvia: 80,3	Lluvia: 0,70				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Rastrojo alto (50%) y rastrojo bajo (50%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Puente					
Características del lecho	Arena (70%) y lodo (30%)					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N09	
Tipo de corriente	Lótico	Coordenada s Origen Único Nacional	Este	Norte
			4789859,29	2278580,73
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto, con nivel del agua alto y corriente de tipo rápidos, con una coloración café, agua turbia; inmerso en un suelo de uso agropecuario				
Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025				

Y. Punto N10

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N10			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,40	Seca: 141	Seca: 3,43	Río Nus			
Lluvia: 6,97	Lluvia: 18	Lluvia: 8,27				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,91	Seca: 44,4	Seca: 0,30	BO2500080 .001	BO2502524 .003	5/01/2025	24/04/2025
Lluvia: 23,6	Lluvia: 86,1	Lluvia: 4				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo bajo (60%) y rastrojo alto (60%) Temporada lluvia: rastrojo bajo (20%), bosque (50%), cultivos (10%), pastos (10) y rastrojo alto (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Pastoreo y minería					
Características del lecho	Temporada seca: arena (80%) y grava (20%) Temporada lluvia: arena (70%), rocas grandes (10%) y grava (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4790620,10		2278349,91	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal medio (temporada seca) a meándrico (temporada lluvia), con corriente media (temporada seca) a rápida (temporada lluvia), agua turbia y nivel del caudal medio (temporada seca) a caudal inundado (temporada lluvia).						

Z. Punto N11

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N11			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,55	Seca: 137	Seca: 3,19	Río Nus			
Lluvia: 6,08	Lluvia: 45	Lluvia: 8,30				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 23,42	Seca: 41,8	Seca: 1,80	BO2500080.002	BO2502524.004	5/01/2025	24/04/2025
Lluvia: 23,51	Lluvia: 89,7	Lluvia: 1				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo bajo (40%), rastrojo alto (30%) y bosque (30%) Temporada lluvia: rastrojo bajo (25%), rastrojo alto (25%), pastos (40%) y bosque (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	-					
Características del lecho	Temporada seca: arena (100%) Temporada lluvia: arena (80%) y hojarasca (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4791501,99		2277949,66	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto con corriente media y nivel del agua medio, con una coloración café						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

AA. Punto N12

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N12			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,27	Seca: 139	Seca: 7,52	Río Nus			
Lluvia: 7,73	Lluvia: 12	Lluvia: 8,36				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 26,03	Seca: 81,7	Seca: 0,40			10/01/2025	24/04/2025

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N12			
Lluvia: 23,4	Lluvia: 86,2	Lluvia: 4	BO2500153.001	BO2502524.001		
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: rastrojo bajo (30%), rastrojo alto (30%) y bosque (20%) Temporada lluvia: rastrojo bajo (10%), rastrojo alto (10%), pastos (30%), cultivo (10%) y bosque (40%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Sistema inmerso en un suelo de uso agropecuario e industrial					
Características del lecho	Temporada seca: arena (90%) y canto rodado (10%) Temporada lluvia: arena (60%), grava (30%) y rocas grandes (10%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4791975,05		2278046,01	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río. Canal mixto en temporada seca y meándrico temporada lluvia. Corriente media en temporada seca y rápida en temporada lluvia. Nivel del agua medio en temporada seca a inundado en temporada lluvia. Agua opaca de coloración café (temporada seca) a turbia de coloración marrón (temporada lluvia).						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

BB. Punto N13

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N13			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 5,83	Seca: 143	Seca: 7,66	Río Nus			
Lluvia: 6,17	Lluvia: 42	Lluvia: 8,61				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 27,79	Seca: 81,9	Seca: 0,50	BO2500153.002	BO2502524.002	10/01/2025	24/04/2025
Lluvia: 22,99	Lluvia: 91,9	Lluvia: 0,70				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (70%), rastrojo alto (15%) y rastrojo bajo (15%) Temporada lluvia: pastos (80%), rastrojo alto (10%) y rastrojo bajo (10%)					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N13	
Impacto sobre el cuerpo de agua	Pastoreo aledaño al cuerpo de agua			
Características del lecho	Temporada seca: arena (90%) y canto rodado (10%) Temporada lluvia: arena (80%), lodo (10%) y hojarasca (10 %)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4792469,79	2277882,78
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal mixto con corriente media, agua opaca a turbia de coloración café y nivel del caudal medio.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

CC. Punto N15

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N15			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,84	Seca: 145	Seca: 7,14	Río Nus			
Lluvia: 5,67	Lluvia: 50	Lluvia: 6,88				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,56	Seca: 80,68	Seca: 0,40	BO2500153.003	BO2502551.004	10/01/2025	25/05/2025
Lluvia: 23,06	Lluvia: 74	Lluvia: 0,70				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (40%), rastrojo bajo (25%), rastrojo alto (25%) y bosque (10%) Temporada lluvia: pastos (30%), rastrojo bajo (25%), rastrojo alto (25%) y bosque (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	-					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N15	
Características del lecho	Temporada seca: arena (80%) y canto rodado (20%) Temporada lluvia: arena (50%), lodo (25%), y hojarasca (25%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenada s Origen Único Nacional	Este	Norte
			4794324,72	2277079,24
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, con canal mixto y nivel del agua medio (temporada seca) a alto (temporada lluvias), agua opaca (temporada seca) a turbia (temporada lluvia) de tonalidad café				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

DD. Punto N16

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N16			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,07	Seca: 99	Seca: 7,76	Río Nus			
Lluvia: 7,16	Lluvia: 23	Lluvia: 7,72				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,48	Seca: 82,5	Seca: 1	BO2500154.001	BO2502551.001	10/01/2025	25/04/2025
Lluvia: 22,02	Lluvia: 79,1	Lluvia: 5				
Descripción						
Tipo de Vegetación	-					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Pastoreo, minería, recreación y captación. También se observaron desechos sólidos					
Características del lecho	-					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			N16	
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4794682,11	2276996,64
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, canal recto con nivel del agua bajo (temporada seca) a inundado (temporada lluvia) y corriente lenta (temporada seca) a rápida (temporada lluvia). Agua turbia con tonalidad marrón.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

EE. Punto N17

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			N17			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,25	Seca: 95	Seca: 7,97	Río Nus			
Lluvia: 6,74	Lluvia: 32	Lluvia: 8,21				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 23,14	Seca: 85,6	Seca: 2	BO2500154.002	BO2502551.002	10/01/2025	25/04/2025
Lluvia: 22,54	Lluvia: 87,6	Lluvia: 0,70				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: miscelánea (100%) Temporada lluvia: rastrojo alto (50%) y rastrojo bajo (50%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de recreación, captación y descargas. También se evidenciaron desechos sólidos					
Características del lecho	Temporada seca: lodo (50%) y arena (50%) Temporada lluvia: arena (70%), lodo (10%) y hojarasca (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Unico Nacional				
			4797521,71		2276494,57	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo río, de canal recto (temporada seca) a mixto (temporada lluvia), con nivel del agua bajo (temporada seca) a alto (temporada lluvia), agua turbia de corriente lenta (temporada seca) a corriente rápida (temporada lluvia). Inmerso en un suelo de uso agropecuario e industrial						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

FF. Punto P03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P03			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,99	Seca: 167	Seca: 8,47	Quebrada La Palestina			
Lluvia: 6,94	Lluvia: 47	Lluvia: 8,58				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 21,28	Seca: 88,5	Seca: 0,20	BO2500426.002	BO2502610.001	23/01/2025	27/04/2025
Lluvia: 22,36	Lluvia: 91,4	Lluvia: 1,5				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: pastos (20%), bosque (60%) y rastrojo alto (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de pastoreo y minería aledaño al cuerpo de agua					
Características del lecho	Temporada seca: arena (20%), canto rodado (20%), lodo (20%), rocas grandes (20%) y grava (20%) Temporada lluvia: arena (50%), canto rodado (20%) y rocas grandes (30%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este		Norte	
			4791127,98		2276793,31	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal recto (temporada seca) a meándrico (temporada lluvia), con nivel del agua medio (temporada seca) a alto (temporada lluvia) y zonas de rápidos. Agua clara durante la temporada seca y de color marrón durante la temporada de lluvias. Inmerso en un suelo de uso agropecuario e industrial						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

GG. Punto P04

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P04			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,94	Seca: 213	Seca: 7,89	Quebrada La Palestina			
Lluvia: 6,36	Lluvia: 175	Lluvia: 8,23				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P04			
Seca: 22,56	Seca: 89,15	Seca: 0,20	BO2500426. 001	BO2502588 .001	23/01/2025	27/04/2025
Lluvia: 24,96	Lluvia: 91,6	Lluvia: 0,20				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (80%), bosque (10%), rastrojo alto (5%) y rastrojo bajo (5%) Temporada lluvia: pastos (80%), rastrojo alto (10%) y rastrojo bajo (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de pastoreo aledaño al cuerpo de agua					
Características del lecho	Arena (80%) y canto rodado (20%)					
Tipo de corriente	Lótico	Coordenada s Origen Único Nacional				
			Este		Norte	
			4791306,82		2276349,55	
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua bajo a medio y corriente media. Agua clara. inmerso en un suelo de uso agropecuario.						

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

HH. Punto P05

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P05			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,57	Seca: 173	Seca: 8,04	Quebrada La Palestina			
Lluvia: 8,11	Lluvia: 104	Lluvia: 7,99				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 21,46	Seca: 87,12	Seca: 0,30	BO2500300.002	BO2502588.002	17/01/2025	27/04/2025
Lluvia: 23,02	Lluvia: 84,8	Lluvia: 1,5				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: cultivos (100%) Temporada lluvia: bosque (50%), rastrojo alto (20%), pastos (20%) y miscelanea (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Cultivos, minería y pastoreo sobre el cuerpo de agua					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			P05	
Características del lecho				
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4791502,93	2276062,74
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua bajo y corriente lenta (temporada seca) a media (temporada lluvia), agua clara (temporada seca) a opaca de color gris claro (temporada lluvia), inmerso en un suelo de uso agropecuario.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

II. Punto P06

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P06			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 6,69	Seca: 169	Seca: 8,35	Quebrada La Palestina			
Lluvia: 7,71	Lluvia: 43	Lluvia: 8,91				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,31	Seca: 88,5	Seca: 0,50	BO2500426.003	BO2502861.001	23/01/2025	10/05/2025
Lluvia: 22,69	Lluvia: 93,2	Lluvia: 0,20				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: cultivos (30%), rastrojo alto (30%) y rastrojo bajo (40%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de pastoreo y minería aledaño al cuerpo de agua					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			P06	
Características del lecho	Temporada seca: arena (100%) Temporada lluvia: arena (50%) y canto rodado (50%)			
	Tipo de corriente	Lótico	Este	Norte
		Coordenadas Origen Único Nacional	4792274,62	2276641,98
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal recto (temporada seca) a mixto (temporada lluvia), con nivel del agua medio (temporada seca) a bajo (temporada lluvia) y corriente lenta (temporada seca) a media (temporada lluvia). Agua clara. Inmerso en un suelo de uso agropecuario.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

JJ. Punto P07

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P07			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,73	Seca: 172	Seca: 8,18	Quebrada La Palestina			
Lluvia: 7,98	Lluvia: 88	Lluvia: 8,97				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 22,28	Seca: 89,9	Seca: 0,25	BO2500426.004	BO2502861.002	23/01/2025	10/05/2025
Lluvia: 23,76	Lluvia: 95,6	Lluvia: 0,20				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: bosque (50%), rastrojo alto (25%) y rastrojo bajo (25%) Temporada lluvia: bosque (30%), rastrojo alto (35%) y rastrojo bajo (35%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	-					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			P07	
Características del lecho	Temporada seca: arena (50%), rocas grandes (25%) y canto rodado (25%) Temporada lluvia: arena (50%) y canto rodado (50%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenada s Origen Único Nacional	Este	Norte
			4793299,30	2276667,09
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua bajo y corriente media, agua clara.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

KK. Punto P08

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P08			
pH	Conductividad [µS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,50	Seca: 139	Seca: 8,06	Afluente Quebrada La Palestina 1			
Lluvia: 8,08	Lluvia: 31	Lluvia: 8,48				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 21,06	Seca: 92,3	Seca: 0,05	BO2500349	BO2502854	19/01/2025	9/05/2025
Lluvia: 22,43	Lluvia: 89,9	Lluvia: 1	.002	.003		
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: bosques (90%), rastrojo bajo (5%) y rastrojo alto (5%) Temporada lluvia: bosques (70%), cultivos (20%) y pastos (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Pastoreo sobre el cuerpo de agua					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			P08	
Características del lecho	Temporada seca: rocas grandes (80%), canto rodado (10%) y arena (10%) Temporada lluvia: rocas grandes (40%), hojarasca (20%) y arena (40%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4792648,36	2275962,41
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto (temporada seca) a meándrico (temporada lluvia), con nivel del agua flujo base y corriente lenta (temporada seca) a media (temporada lluvia). Agua clara. Inmerso en un suelo de uso agropecuario				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

LL. Punto P10

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			P10			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,50	Seca: 177	Seca: 8,06	Quebrada La Palestina			
Lluvia: 7,41	Lluvia: 25,5	Lluvia: 8,06				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 25,06	Seca: 92,3	Seca: 0,40	BO2500349.003	BO2502551.003	19/01/2025	25/04/2025
Lluvia: 25,16	Lluvia: 82	Lluvia: 3				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: bosques (70%), rastrojo bajo (15%) y rastrojo alto (15%) Temporada lluvia: bosques (60%), rastrojo bajo (20%) y pastos (20%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Puente y minería					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			P10	
Características del lecho				
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4794392,79	2276883,29
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto (temporada seca) a meándrico (temporada lluvia), con nivel del agua medio (temporada seca) a inundado (temporada lluvia), y corriente media (temporada seca) a corriente con rápidos (temporada lluvia). Agua clara (temporada seca) a turbia (temporada lluvia), inmerso en un suelo de uso industrial y agropecuario.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

MM. Punto SA02

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			SA02			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,34	Seca: 109	Seca: 8,03	Quebrada San Antonio			
Lluvia: 7,58	Lluvia: 32	Lluvia: 8,16				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 23,18	Seca: 85,88	Seca: 0,15	BO2500267.001	BO2502587.004	15/01/2025	26/04/2025
Lluvia: 24,22	Lluvia: 87,3	Lluvia: 0,25				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (100%) Temporada lluvia: pastos (80%), rastrojo alto (10%) y rastrojo bajo (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Actividades de pastoreo					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			SA02	
Características del lecho	Temporada seca: arena (50%) y canto rodado (50%) Temporada lluvia: arena (80%), hojarasca (10%) y canto rodado (10%)			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4787545,08	2278219,94
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua bajo (temporada seca) a medio (temporada lluvia) y corriente media, agua clara (temporada seca) a opaca (temporada lluvia), inmerso en un suelo de uso agropecuario.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

NN. Punto SA03

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo			
			SA03			
pH	Conductividad [μS/cm]	Oxígeno Disuelto [mg/L]	Nombre del cuerpo de agua:			
Seca: 7,60	Seca: 105	Seca: 7,95	Quebrada San Antonio			
Lluvia: 7,31	Lluvia: 24	Lluvia: 7,29				
T. Muestra [°C]	% Saturación de oxígeno	Profundidad (m)	ID muestra (Seca)	ID muestra (Lluvia)	Fecha de muestreo (Seca)	Fecha de muestreo (Lluvia)
Seca: 23,49	Seca: 88,73	Seca: 0,15	BO2500194.004	BO2502587.003	12/01/2025	26/04/2025
Lluvia: 25,76	Lluvia: 80,1	Lluvia: 0,25				
Descripción						
Tipo de Vegetación	Temporada seca: pastos (50%), rastrojo alto (25%) y rastrojo bajo (25%) Temporada lluvia: pastos (30%), rastrojo alto (30%), rastrojo bajo (30%) y bosque (10%)					
Impacto sobre el cuerpo de agua	Pastoreo y puente vehicular					

Parámetros <i>in situ</i>			Nombre punto de muestreo	
			SA03	
Características del lecho				
	<p>Temporada seca: arena (100%)</p> <p>Temporada lluvia: arena (80%), canto rodado (10%), hojarasca (10%)</p>			
Tipo de corriente	Lótico	Coordenadas Origen Único Nacional	Este	Norte
			4788093,94	2278589,64
Observaciones Adicionales: Sistema lótico tipo quebrada, de canal mixto, con nivel del agua bajo (temporada seca) a medio (temporada lluvia) y corriente media. Agua clara (temporada seca) a opaca (temporada lluvia). Inmerso en un suelo de uso agropecuario.				

Fuente: Integral S.A., tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

5.2.2.1.2 Comunidad Fitoplancton

El fitoplancton es un conjunto de organismos fotosintéticos que flotan en aguas dulces y marinas, constituyendo la base de la cadena alimentaria acuática. Esta comunidad está formada por microalgas capaces de realizar fotosíntesis como proceso esencial para su desarrollo, lo que les permite generar grandes aportes a la producción primaria de los ecosistemas acuáticos (Ramírez-Restrepo, 2000). Gracias a esta función, el fitoplancton no solo produce materia orgánica a partir de la energía solar y nutrientes disueltos, sino que también contribuye a la transferencia energética en las redes tróficas (Ramírez G. & Viña-Vizcaino, 1998), sirviendo de alimento para el zooplancton y otras especies. Su presencia y abundancia son indicadores clave de la salud de los cuerpos de agua (Vélez-Azañero, Lozano, & Cáceres-Torres, 2016).

A. Composición y Estructura

La comunidad fitoplanctónica evaluada durante las temporadas lluvia y seca reportó una densidad total de 111,89 Ind/mL, los cuales se encuentran distribuidos en 102 morfoespecies, 98 géneros, 56 familias, 32 órdenes y seis (6) divisiones: Charophyta, Chlorophyta, Cyanobacteriota, Dinoflagellata, Euglenophyta y Heterokontophyta (véase la Tabla 5.2.2.1.2). Los datos de esta comunidad hidrobiológica se presentan en ANEXO_CARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS_BD_Hidrobiologicos

Entre las divisiones identificadas, Heterokontophyta fue la más abundante, con una densidad de 55,99 Ind/mL, equivalente al 50,04 % del total. En segundo lugar, se ubicó Cyanobacteriota, con 49,16 Ind/mL, lo que representa el 43,93% de la densidad total. Las demás divisiones presentaron valores inferiores a 4 Ind/mL, aportando menos del 4 % al total, como se muestra en la Figura 5.2.2.1.2.

La familia más abundante fue Leptolyngbyaceae, con una densidad de 47,66 Ind/mL (42,59%). Esta familia pertenece al orden Leptolyngbyales, que presentó la misma densidad y representatividad en el muestreo. Dentro de este grupo se encuentra la morfoespecie más dominante, *Leptolyngbya sp.*, con una densidad total de 47,65 Ind/mL.

La segunda familia más abundante fue Naviculaceae, con 11,74 Ind/mL (10,49%). Esta familia forma parte del orden Naviculales, el segundo más representativo, con 25,505 Ind/mL (22,79%). En este grupo destaca la morfoespecie *Navicula sp.*, que también ocupó la segunda posición en densidad, con 11,69 Ind/mL.

Asimismo, se registraron valores importantes en Bacillariaceae (9,90 Ind/mL; 8,85%), perteneciente al orden Bacillariales, y en Ulnariaceae (9,26 Ind/mL; 8,28%), incluida en el orden Licmophorales. Las familias restantes presentaron densidades inferiores a 7,00 Ind/mL, contribuyendo con menos del 6 % de la densidad total.

Tabla 5.2.2.1.2 Composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica registrada en los puntos de muestreo durante época seca y lluvia

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	Densidad (Ind/mL)		Total
					Lluvias	Seca	
Charophyta	Desmidiiales	Closteriaceae	Closterium	<i>Closterium sp.</i>	0,42	0,29	0,70
		Desmidiaceae	Actinotaenium	<i>Actinotaenium sp.</i>	0,01	0,04	0,05
			Cosmarium	<i>Cosmarium sp.</i>	0,17	0,18	0,35
			Staurostrum	<i>Staurostrum sp.</i>	0,01	0,23	0,24
		Gonatozygaceae	Gonatozygon	<i>Gonatozygon sp.</i>	0,07		0,07
		Peniaceae	Penium	<i>Penium sp.</i>	0,01	0,01	0,03
	Spirogyrales	Spirogyraceae	Spirogyra	<i>Spirogyra sp.</i>	0,45	0,07	0,51
	Zygnematales	Mesotaeniaceae	Netrium	<i>Netrium sp.</i>	0,01		0,01
		Zygnemataceae	Cylindrocystis	<i>Cylindrocystis sp.</i>	0,02		0,02
			Mougeotia	<i>Mougeotia sp.</i>	1,69	0,03	1,71
			Zygnema	<i>Zygnema sp.</i>	0,03		0,03
Chlorophyta	Chaetophorales	Chaetophoraceae	Stigeoclonium	<i>Stigeoclonium sp.</i>	0,05	0,01	0,05
	Chlamydomonadales	Morfo 41	Morfo 41	<i>Morfo 41</i>		0,04	0,04
		Volvocaceae	Pandorina	<i>Pandorina sp.</i>	0,003	0,02	0,02
	Chlorellales	Chlorellaceae	Actinastrum	<i>Actinastrum sp.</i>	0,01	0,07	0,07
			Cf. Actinastrum	<i>Cf. Actinastrum sp.</i>		0,01	0,01
			Dictyosphaerium	<i>Dictyosphaerium sp.</i>	0,02	0,07	0,09
		Oocystaceae	Oocystis	<i>Oocystis sp.</i>		0,08	0,08
	incertae sedis	incertae sedis	Crucigenia	<i>Crucigenia sp.</i>	0,004	0,003	0,01
	Morfo 39	Morfo 39	Morfo 39	<i>Morfo 39</i>		0,01	0,01
	Oedogoniales	Oedogoniaceae	Bulbochaete	<i>Bulbochaete sp.</i>	0,003		0,003
			Oedogonium	<i>Oedogonium sp.</i>	0,06	0,002	0,06
	Sphaeropleales	Hydrodictyceae	Lacunastrum	<i>Lacunastrum sp.</i>		0,01	0,01

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	Densidad (Ind/mL)		Total
					Lluvias	Seca	
Cyanobacteriota	Chroococcales		Monactinus	<i>Monactinus sp.</i>		0,01	0,01
			Pediastrum	<i>Pediastrum sp.</i>	0,01	0,01	0,02
			Pseudopediastrum	<i>Pseudopediastrum sp.</i>		0,01	0,01
			Stauridium	<i>Stauridium sp.</i>		0,04	0,04
		Nephrocytiaceae	Nephrocytium	<i>Nephrocytium sp.</i>		0,03	0,03
		Radiococcaceae	Eutetramorus	<i>Eutetramorus sp.</i>	0,02	0,03	0,05
			Morfo 19	<i>Morfo 19</i>	0,003		0,003
		Scenedesmaceae	Acutodesmus	<i>Acutodesmus sp.</i>	0,003	0,01	0,01
			Coelastrum	<i>Coelastrum sp.</i>		0,003	0,003
			Comasiella	<i>Comasiella sp.</i>		0,02	0,02
			Desmodesmus	<i>Desmodesmus sp.</i>	0,10	0,23	0,32
			Dimorphococcus	<i>Dimorphococcus sp.</i>		0,04	0,04
			Hariotina	<i>Hariotina sp.</i>	0,01	0,40	0,41
			Pectinodesmus	<i>Pectinodesmus sp.</i>		0,01	0,01
			Scenedesmus	<i>Scenedesmus sp.</i>	0,35	0,35	0,70
			Cf. Tetradesmus	<i>Cf. Tetradesmus sp.</i>		0,02	0,02
			Tetradesmus	<i>Tetradesmus sp.</i>	0,003	0,03	0,03
			Tetrallantos	<i>Tetrallantos sp.</i>		0,01	0,01
		Selenastraceae	Kirchneriella	<i>Kirchneriella sp.</i>	0,003	0,02	0,02
			Messastrum	<i>Messastrum sp.</i>		0,02	0,02
			Monoraphidium	<i>Monoraphidium sp.</i>	0,02	0,09	0,11
			Quadrigula	<i>Quadrigula sp.</i>	0,01	0,005	0,01
			Selenastrum	<i>Selenastrum sp.</i>		0,003	0,003
	Ulotrichales	Ulotrichaceae	Ulothrix	<i>Ulothrix sp.</i>	0,003		0,003
	Chroococcales	Microcystaceae	Microcystis	<i>Microcystis sp.</i>	0,01		0,01

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	Densidad (Ind/mL)		Total
					Lluvias	Seca	
	Geitlerinematales	Geitlerinemataceae	Geitlerinema	<i>Geitlerinema sp.</i>	0,003		0,003
	Gomontiellales	Chamaesiphonaceae	Chamaesiphon	<i>Chamaesiphon sp.</i>	0,002		0,002
		Gomontiellaceae	Komvophoron	<i>Komvophoron sp.</i>		0,01	0,01
	Leptolyngbyales	Leptolyngbyaceae	Heteroleibleinia	<i>Heteroleibleinia sp.</i>	0,003		0,003
			Leptolyngbya	<i>Leptolyngbya sp.</i>	46,38	1,27	47,65
			Planktolyngbya	<i>Planktolyngbya sp.</i>	0,01		0,01
	Nostocales	Aphanizomenonaceae	Anabaena	<i>Anabaena sp.</i>	0,02	0,02	0,04
		Hapalosiphonaceae	Hapalosiphon	<i>Hapalosiphon sp.</i>	0,03		0,03
	Oscillatoriales	Microcoleaceae	Cf. Microcoleus	<i>Cf. Microcoleus sp.</i>	0,002		0,002
			Homoeothrix	<i>Homoeothrix sp.</i>		0,01	0,01
			Limnographis	<i>Limnographis sp.</i>	0,005		0,005
			Lyngbya	<i>Lyngbya sp.</i>	0,39	0,01	0,40
			Planktothrix	<i>Planktothrix sp.</i>	0,09		0,09
		Oscillatoriaceae	Cf. Phormidium	<i>Cf. Phormidium sp.</i>	0,02	0,05	0,07
			Phormidium	<i>Phormidium sp.</i>	0,60	0,21	0,80
	Pseudanabaenales	Pseudanabaenaceae	Limnothrix	<i>Limnothrix sp.</i>	0,003	0,02	0,03
Dinoflagellata	Peridiniales	Peridiniaceae	Morfo 4	<i>Morfo 4</i>	0,02		0,02
			Peridinium	<i>Peridinium sp.</i>		0,05	0,05
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Euglena	<i>Euglena sp.</i>		0,03	0,03
			Trachelomonas	<i>Trachelomonas sp.</i>	0,06	0,03	0,09
		Phacaceae	Lepocinclis	<i>Lepocinclis acus</i>	0,03		0,03
			Lepocinclis	<i>Lepocinclis sp.</i>	0,24	0,17	0,41
			Phacus	<i>Phacus sp.</i>	0,03	0,002	0,03
Heterokontophyta	Achnanthes	Achnanthaceae	Achnanthes	<i>Achnanthes sp.</i>	0,003		0,003
		Achnanthidiaceae	Achnanthidium	<i>Achnanthidium sp.</i>		0,26	0,26

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	Densidad (Ind/mL)		Total
					Lluvias	Seca	
			Gogorevia	<i>Gogorevia sp.</i>		0,01	0,01
		Cocconeidaceae	Cocconeis	<i>Cocconeis sp.</i>	0,03	0,05	0,08
	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	<i>Aulacoseira sp.</i>		0,01	0,01
	Bacillariales	Bacillariaceae	Hantzschia	<i>Hantzschia sp.</i>	0,05		0,05
			Nitzschia	<i>Nitzschia sp.</i>	4,45	5,41	9,85
	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	<i>Cymbella sp.</i>	0,48	0,76	1,24
			Cymboppleura	<i>Cymboppleura sp.</i>		0,01	0,01
		Gomphonemataceae	Cf. Encyonema	<i>Cf. Encyonema sp.</i>		0,02	0,02
			Encyonema	<i>Encyonema sp.</i>	0,11	0,07	0,18
			Gomphonema	<i>Gomphonema sp.</i>	1,62	0,47	2,08
	Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	<i>Eunotia sp.</i>	0,53	0,23	0,76
	Licmophorales	Ulnariaceae	Ulnaria	<i>Ulnaria sp.</i>	3,61	5,66	9,26
	Melosirales	Melosiraceae	Melosira	<i>Melosira sp.</i>	4,49	0,73	5,23
		Orthoseiraceae	Orthoseira	<i>Orthoseira sp.</i>	0,01		0,01
	Naviculales	Amphipleuraceae	Amphipleura	<i>Amphipleura sp.</i>	0,47	0,33	0,81
			Frustulia	<i>Frustulia sp.</i>	3,75	1,33	5,08
			Halamphora	<i>Halamphora sp.</i>	0,10	0,41	0,51
		Diadesmidaceae	Luticola	<i>Luticola sp.</i>	0,06	0,06	0,12
		Morfo 17	Morfo 17	<i>Morfo 17</i>	1,75	2,53	4,28
		Naviculaceae	Gyrosigma	<i>Gyrosigma sp.</i>	0,04	0,01	0,05
			Navicula	<i>Navicula sp.</i>	7,29	4,39	11,69
		Neidiaceae	Neidium	<i>Neidium sp.</i>	0,003		0,003
		Pinnulariaceae	Pinnularia	<i>Pinnularia sp.</i>	2,20	0,59	2,79
		Sellaphoraceae	Sellaphora	<i>Sellaphora sp.</i>	0,17	0,003	0,17
	Rhabdonematales	Tabellariaceae	Tabellaria	<i>Tabellaria sp.</i>	0,03	0,01	0,03

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	Densidad (Ind/mL)		Total
					Lluvias	Seca	
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithemia	<i>Epithemia sp.</i>	0,002		0,002
			Rhopalodia	<i>Rhopalodia sp.</i>	0,08	0,02	0,10
	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	Cyclotella	<i>Cyclotella sp.</i>	0,05	0,21	0,26
	Surirellales	Surirellaceae	Surirella	<i>Surirella sp.</i>	0,43	0,61	1,03
Total					83,28	28,61	111,89

Fuente: Integral S. A., 2025

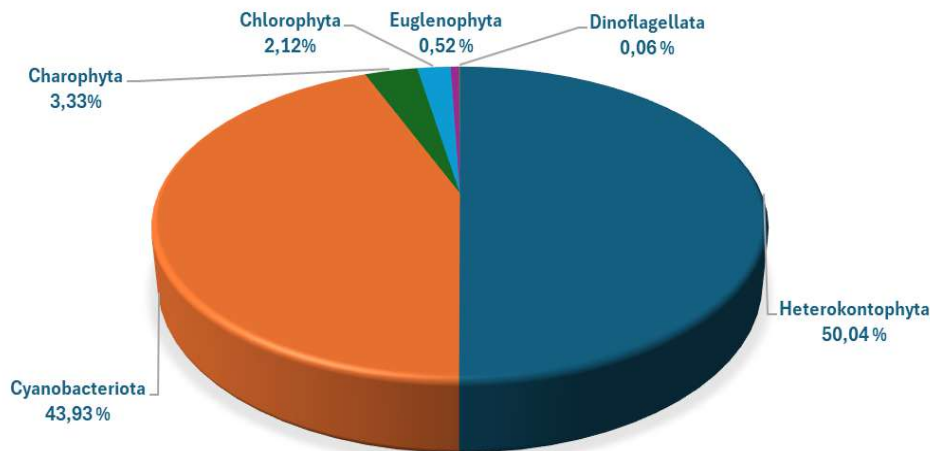


Figura 5.2.2.1.2 Porcentaje de representatividad de las divisiones de la comunidad fitoplanctónica
Fuente: Integral S. A., 2025

De los resultados reportados se evidenció que durante ambos muestreos la comunidad fitoplanctónica estuvo representada por seis divisiones, sin embargo, la densidad de estas varió entre las temporadas, siendo dominante Cyanobacteriota durante la temporada de lluvias con una densidad de 47,55 Ind/mL, mientras que en la temporada seca Heterokontophyta fue la división más representativa con una densidad de 24,18 Ind/mL. En ambas temporadas, la división menos representativa fue Dinoflagellata, la cual reportó densidades de 0,02 Ind/mL durante la temporada de lluvias y 0,05 Ind/mL durante la temporada seca (Véase la Figura 5.2.2.1.3).

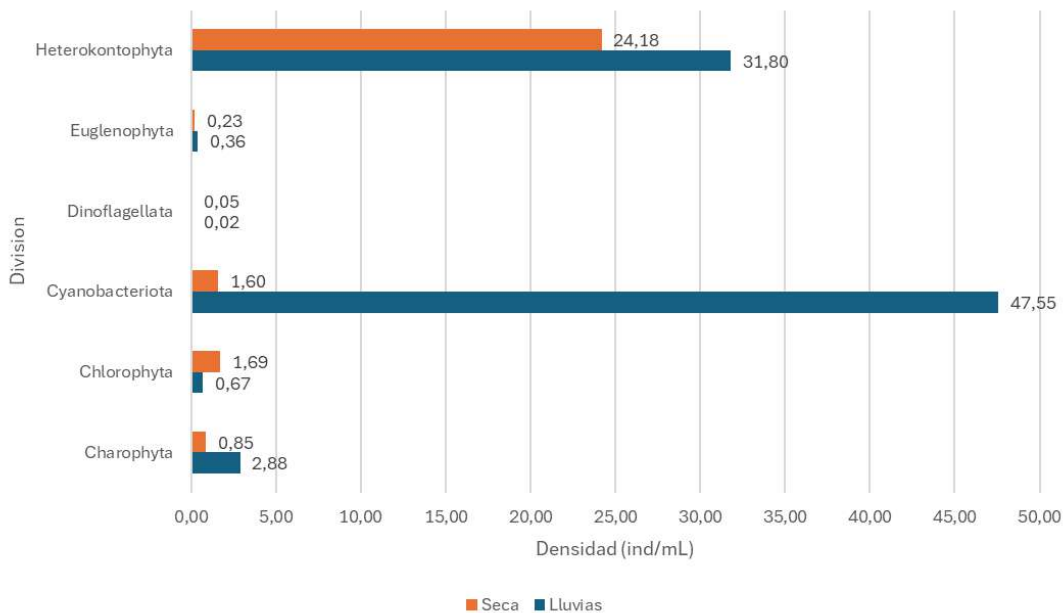


Figura 5.2.2.1.3 Densidad de fitoplancton por división y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

En términos de riqueza específica, la división Heterokontophyta presentó la mayor diversidad de morfoespecies en ambas temporadas, con 387 morfoespecies durante la época de lluvias y 354 en la temporada seca (Véase la Figura 5.2.2.1.4). Este patrón coincide con lo reportado en estudios sobre fitoplancton en ecosistemas tropicales, donde las diatomeas (pertenecientes a Heterokontophyta) suelen dominar en ambientes con alta disponibilidad de nutrientes y condiciones de mezcla, características frecuentes en periodos lluviosos (Huertas-Farías, Guevara, & Reinoso-Flórez, 2023).

La segunda división con mayor riqueza varió según la temporada: Charophyta ocupó esta posición en época de lluvias con 72 morfoespecies, mientras que Chlorophyta lo hizo en la temporada seca con 94 morfoespecies (Véase la Figura 5.2.2.1.4). Esta variación puede explicarse por diferencias en la disponibilidad de luz y nutrientes, así como por la estabilidad de la columna de agua. Durante la temporada seca, la mayor transparencia y menor turbulencia favorecen el desarrollo de algas verdes (Chlorophyta), mientras que, en época lluviosa, el aporte de nutrientes y la mezcla hídrica benefician a las carofitas y diatomeas (López M., De Mattos B., Echenique, Ramírez-Restrepo, & Palacio, 2017; Monteyro, Biasotti, Galea, & Sosa, 2025).

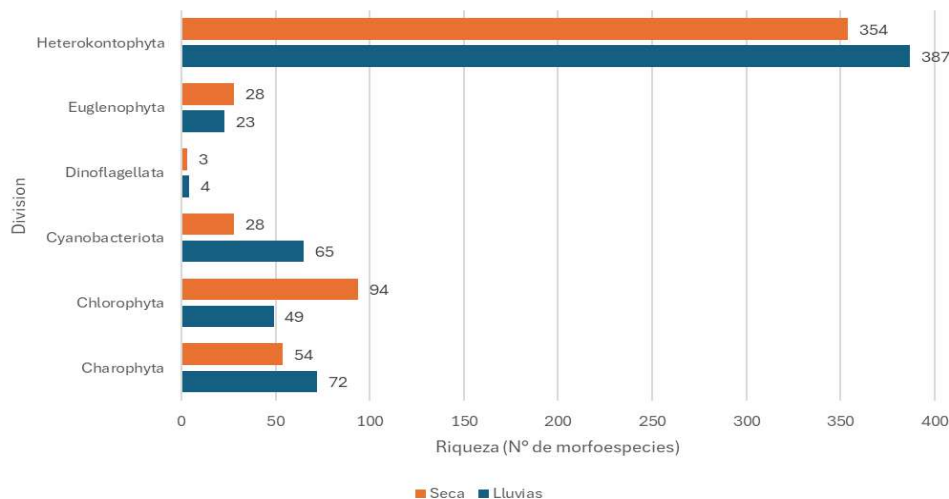


Figura 5.2.2.1.4 Riqueza de fitoplancton por división y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

B. Distribución espacial y temporal

De acuerdo con los aportes por punto de muestreo, se observó que en la temporada de lluvias los valores más importantes de densidad de fitoplancton fueron registrados para los puntos AN02 (35,14 Ind/mL), LM03 (9,64 Ind/mL), P07 (4,76 Ind/mL) y AN01 (3,80 Ind/mL), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.5 y Figura 5.2.2.1.6. Estos cuatro puntos más representativos en conjunto aportan el 64,06% a la densidad total de la temporada de lluvias. Por otra parte, los puntos con menor densidad durante esta época de muestreo corresponden a G03 (0,06 Ind/mL), G05 (0,055 Ind/mL) y C03 (0,05 Ind/mL). En cuanto a la riqueza específica durante esta temporada se encontró que AN01 presentó el valor más alto con 27 morfoespecies identificadas, seguido de N08 con 25, y LM02, N17 y N05 cada uno con 23 morfoespecies. Como se observa en la Figura 5.2.2.1.5 y Figura 5.2.2.1.6, los patrones de densidad y riqueza no coinciden entre sí, salvo en AN01, que muestra valores representativos en ambas métricas.

En cuanto a la temporada seca los puntos con mayor densidad de fitoplancton correspondieron a AN07 (3,53 Ind/mL), N10 (2,48 Ind/mL), EB03 (2,32 Ind/mL), N04 (2,30 Ind/mL), P06 (2,26 Ind/mL), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.5 y Figura 5.2.2.1.6. Estos puntos más representativos en conjunto aportan aproximadamente el 45,08% a la densidad total de la temporada seca. Por otra parte, los puntos con menor densidad durante esta época de muestreo corresponden a P04 (0,08 Ind/mL), B03 (0,05 Ind/mL), P08 (0,03 Ind/mL), AN03 (0,02 Ind/mL) y AN01 (0,01 Ind/mL). En cuanto a la riqueza específica durante esta temporada se encontró que G05 presentó el valor más alto con 34 morfoespecies, seguido de N04 con 29, EB03 con 26, y tanto N10 como N11 presentaron 22 morfoespecies. Como se observa en la Figura 5.2.2.1.5 y Figura 5.2.2.1.6, en esta temporada, los patrones de densidad y riqueza coinciden: la mayoría de los puntos con densidades más altas presentan también valores de riqueza elevados (p. ej., N04, EB03, N10, AN07 y P06).

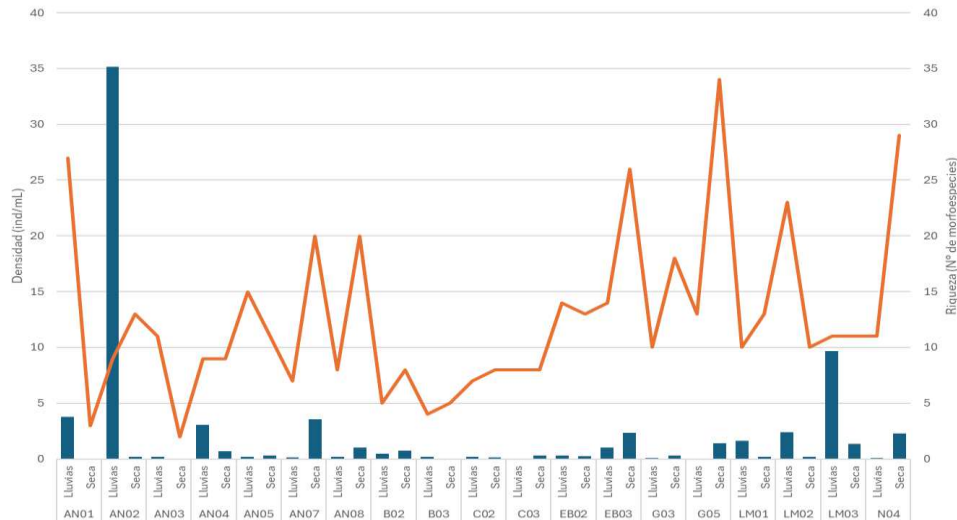


Figura 5.2.2.1.5 Distribución espacial y temporal de la comunidad de fitoplancton-parte 1

Fuente: Integral S. A., 2025

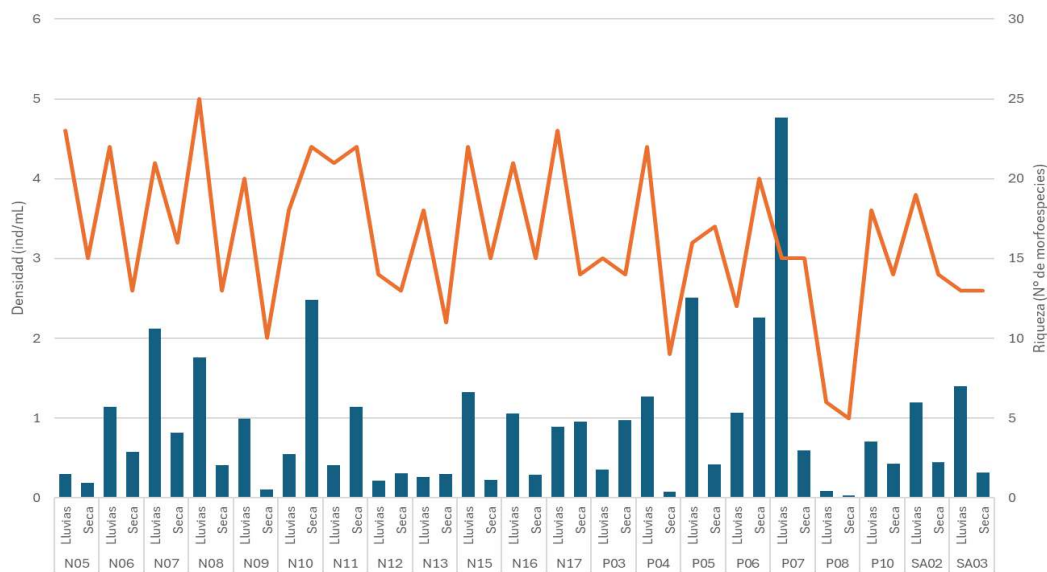


Figura 5.2.2.1.6 Distribución espacial y temporal de la comunidad de fitoplancton-parte 2

Fuente: Integral S. A., 2025

Respecto a los cuerpos de agua asociados a los puntos muestreados se encontró que el Afluente Nus 2 (AN02) presentó la mayor densidad de fitoplancton con 35,34 Ind/mL, de los cuales la mayor representatividad está en la división Cyanobacteriota (34,20 Ind/mL). La segunda densidad más alta la obtuvo el Río Nus (N04, N06, N08, N11, N13 y N15) con 21,19 Ind/mL, de los cuales 18,71 Ind/mL pertenecen a la división Heterokontophyta. El tercer cuerpo de agua con mayor densidad fue la Quebrada La María (LM01 y LM03), para la cual se reportan 15,45 Ind/mL de los cuales 10,49 Ind/mL pertenecen a la división Cyanobacteriota. El cuarto cuerpo de agua con mayor densidad corresponde a la Quebrada

La Palestina (P04 y P06), la cual presentó 15,42 Ind/mL, de los cuales la mayor densidad la aportó la división Heterokontophyta (12,74 Ind/mL). Los cuerpos de agua restantes presentaron densidades $\leq 4,2$ Ind/mL, de estos el menos representativo fue el Afluente Quebrada La Palestina 1, el cual tiene asociado el punto de muestreo P08.

La mayor riqueza específica se registró en el río Nus (N04, N06, N08, N11, N13 y N15), con 467 morfoespecies, seguido por la quebrada La Palestina (P04 y P06) con 187 morfoespecies, la quebrada La María (LM01, LM02, LM03) con 78, y en cuarto lugar la quebrada Guacas con 75 morfoespecies. En todos estos cuerpos de agua, la división Heterokontophyta fue la más dominante. Los demás cuerpos de agua presentaron riquezas iguales o inferiores a 67 morfoespecies, siendo el menos representativo el Afluente quebrada La Palestina 1 (P08).

C. Índices ecológicos (diversidad alfa y beta)

La diversidad biológica en una comunidad no depende únicamente del número de especies presentes (riqueza), sino también de la distribución de los individuos entre ellas (equidad). Para evaluar esta complejidad, se emplearon índices que integran ambos componentes: Shannon-Wiener (H), Pielou (J') y Simpson (D). En la Tabla 5.2.2.1.3, en la Figura 5.2.2.1.7 y en la Figura 5.2.2.1.8 se presentan los valores obtenidos de los índices de diversidad para la comunidad de fitoplancton encontrada en los puntos evaluados.

De acuerdo con los índices ecológicos aplicados a la comunidad de fitoplancton en dos temporadas (lluvia y seca) para los puntos de muestreo establecidos (Tabla 5.2.2.1.3), se pudo evidenciar patrones claros asociados a la variación estacional y a las características de los cuerpos de agua. En términos generales, la temporada seca presentó menor dominancia (D) y mayor equitatividad (J'), lo que indica comunidades más balanceadas. La diversidad (H') también mostró un ligero incremento en seca (promedio 1,82 frente a 1,74 en lluvia), sugiriendo una mayor estabilidad en las condiciones ambientales durante este periodo. Por el contrario, en la temporada de lluvia se observó una mayor variabilidad entre puntos, con casos extremos de alta dominancia y baja diversidad, como en AN02 (D = 0,94; H' = 0,19, J = 0,09).

Tabla 5.2.2.1.3 Índices de diversidad de la comunidad fitoplanctónica por punto y temporada de muestreo

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/mL)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
AN01	Lluvia	27	3,80	0,15	2,29	0,70
	Seca	3	0,01	0,36	1,06	0,96
AN02	Lluvia	9	35,15	0,94	0,19	0,09
	Seca	13	0,20	0,15	2,07	0,81
AN03	Lluvia	11	0,21	0,25	1,66	0,69
	Seca	2	0,02	0,63	0,56	0,81
AN04	Lluvia	9	3,04	0,59	0,95	0,43
	Seca	9	0,68	0,70	0,75	0,34
AN05	Lluvia	15	0,21	0,11	2,47	0,91
	Seca	11	0,28	0,15	2,06	0,86
AN07	Lluvia	7	0,16	0,49	1,12	0,58

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/mL)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
	Seca	20	3,53	0,36	1,68	0,56
AN08	Lluvia	8	0,22	0,66	0,85	0,41
	Seca	20	1,00	0,15	2,25	0,75
B02	Lluvia	5	0,45	0,46	1,01	0,63
	Seca	8	0,77	0,31	1,36	0,65
B03	Lluvia	4	0,22	0,52	0,86	0,62
	Seca	5	0,05	0,22	1,56	0,97
C02	Lluvia	7	0,20	0,34	1,37	0,70
	Seca	8	0,12	0,23	1,66	0,80
C03	Lluvia	8	0,05	0,16	1,97	0,95
	Seca	8	0,28	0,28	1,56	0,75
EB02	Lluvia	14	0,31	0,14	2,23	0,84
	Seca	13	0,24	0,17	2,07	0,81
EB03	Lluvia	14	1,02	0,22	1,81	0,69
	Seca	26	2,32	0,15	2,31	0,71
G03	Lluvia	10	0,06	0,14	2,13	0,92
	Seca	18	0,29	0,12	2,37	0,82
G05	Lluvia	13	0,06	0,11	2,39	0,93
	Seca	34	1,42	0,08	2,85	0,81
LM01	Lluvia	10	1,64	0,36	1,19	0,52
	Seca	13	0,21	0,15	2,13	0,83
LM02	Lluvia	23	2,42	0,19	2,19	0,70
	Seca	10	0,18	0,28	1,65	0,72
LM03	Lluvia	11	9,64	0,89	0,34	0,14
	Seca	11	1,36	0,71	0,72	0,30
N04	Lluvia	11	0,08	0,17	2,05	0,86
	Seca	29	2,30	0,27	1,92	0,57
N05	Lluvia	23	0,29	0,10	2,68	0,85
	Seca	15	0,19	0,12	2,37	0,88
N06	Lluvia	22	1,14	0,17	2,30	0,75
	Seca	13	0,57	0,27	1,78	0,70
N07	Lluvia	21	2,12	0,44	1,45	0,48
	Seca	16	0,82	0,28	1,78	0,64
N08	Lluvia	25	1,76	0,37	1,70	0,53
	Seca	13	0,41	0,19	1,94	0,76
N09	Lluvia	20	1,00	0,24	1,91	0,64
	Seca	10	0,11	0,18	1,95	0,85
N10	Lluvia	18	0,54	0,12	2,49	0,86

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/mL)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
	Seca	22	2,48	0,24	1,95	0,63
N11	Lluvia	21	0,41	0,10	2,64	0,87
	Seca	22	1,14	0,18	2,33	0,75
N12	Lluvia	14	0,22	0,12	2,32	0,88
	Seca	13	0,31	0,16	2,08	0,81
N13	Lluvia	18	0,27	0,13	2,34	0,81
	Seca	11	0,30	0,20	1,87	0,78
N15	Lluvia	22	1,32	0,15	2,32	0,75
	Seca	15	0,23	0,17	2,14	0,79
N16	Lluvia	21	1,06	0,20	2,11	0,69
	Seca	15	0,29	0,19	2,13	0,79
N17	Lluvia	23	0,89	0,19	2,19	0,70
	Seca	14	0,95	0,34	1,62	0,62
P03	Lluvia	15	0,35	0,27	1,87	0,69
	Seca	14	0,97	0,28	1,80	0,68
P04	Lluvia	22	1,27	0,31	1,82	0,59
	Seca	9	0,08	0,16	1,95	0,89
P05	Lluvia	16	2,51	0,77	0,64	0,23
	Seca	17	0,42	0,40	1,52	0,54
P06	Lluvia	12	1,07	0,41	1,29	0,52
	Seca	20	2,26	0,42	1,50	0,50
P07	Lluvia	15	4,76	0,47	1,20	0,44
	Seca	15	0,59	0,25	1,88	0,69
P08	Lluvia	6	0,09	0,24	1,57	0,87
	Seca	5	0,03	0,32	1,36	0,84
P10	Lluvia	18	0,70	0,18	2,15	0,75
	Seca	14	0,43	0,23	1,85	0,70
SA02	Lluvia	19	1,19	0,20	1,97	0,67
	Seca	14	0,45	0,17	2,03	0,77
SA03	Lluvia	13	1,40	0,27	1,63	0,64
	Seca	13	0,32	0,13	2,22	0,87

Fuente: Integral S.A., 2025

Durante la temporada de lluvias, los puntos AN02, LM03, P05, AN08, B03 y AN04 presentaron valores elevados de dominancia (0,57–0,94), acompañados de baja diversidad de Shannon (0,19–0,95) y equitatividad reducida (0,09–0,43), lo que indica comunidades fuertemente dominadas por pocas especies y con distribución desigual de abundancias. De estos, LM03 y AN04 mantuvieron en la temporada seca una dominancia alta ($D > 0,69$), junto con diversidad baja ($H' < 0,8$) y equitatividad limitada ($J' < 0,4$), evidenciando condiciones persistentes de dominancia (Véase la Figura 5.2.2.1.7 y la Figura 5.2.2.1.8).

En LM03 se observó una alta densidad de la morfoespecie *Leptolyngbya sp.* en ambas temporadas, mientras que en AN04 se observó una alta densidad de *Frustulia sp.* durante la temporada de lluvias y de *Morfo 17* durante la temporada seca. La alta densidad de *Leptolyngbya sp.* registrada en el punto LM03 durante ambas temporadas sugiere condiciones ambientales relativamente estables y una disponibilidad sostenida de nutrientes. Este género de cianobacterias filamentosas se caracteriza por su amplia tolerancia a variaciones fisicoquímicas y su capacidad de persistir en ambientes con enriquecimiento nutricional leve a moderado, por lo que su dominancia puede estar asociada a procesos de eutrofización incipiente o a presiones ambientales constantes (Komárek, J., & Anagnostidis, K., 2005) (Reynolds, 2006). En contraste, la elevada densidad de *Frustulia sp.* observada en el punto AN04 durante la temporada de lluvias indica condiciones favorables para diatomeas bentónicas, posiblemente relacionadas con el aumento del aporte de sílice, la resuspensión de sedimentos y una mayor transparencia del agua. Las especies del género *Frustulia* suelen asociarse a ambientes oligotróficos a mesotróficos y, en algunos casos, a aguas ligeramente ácidas, por lo que su proliferación podría reflejar una mejor calidad del agua y cambios estacionales en la dinámica hidrológica del sistema (Round, 1990); (Wetzel, 2001).

Durante la temporada de lluvias, los puntos C03, G05, G03, AN05, N12, P08, N11, N10, N04, N05, EB02, N13, N15, N06 y P10 presentaron baja dominancia (0,09–0,31), acompañada de diversidad intermedia a alta ($H' = 1,5–2,7$) y equitatividad moderada a alta ($J' = 0,74–0,95$), lo que indica comunidades diversas y relativamente equilibradas. En la temporada seca, puntos como G05, C03, G03, AN05, N12, N11, N05, EB02 y N15 mantuvieron estos valores, y se sumaron SA03, LM01, AN02, AN08, P04, SA02, N09, N08, N16 y N13, evidenciando alta diversidad ($H' > 1,8$), baja dominancia ($D < 0,19$) y alta equitatividad ($J' > 0,75$), lo que sugiere una mejora generalizada en la estructura comunitaria durante la temporada seca (Véase la Figura 5.2.2.1.7 y la Figura 5.2.2.1.8).

El análisis de variación estacional mostró incrementos significativos en diversidad en puntos como AN02, AN08, LM01, P05 y SA03 durante la temporada seca, asociados a reducciones en dominancia y mejoras en equitatividad. Estos cambios podrían relacionarse con la disminución del arrastre y mayor estabilidad del hábitat en periodos secos. Por otro lado, puntos como AN01 y AN03 registraron disminuciones marcadas en diversidad y aumentos en dominancia en seca, lo que requiere atención en el monitoreo.

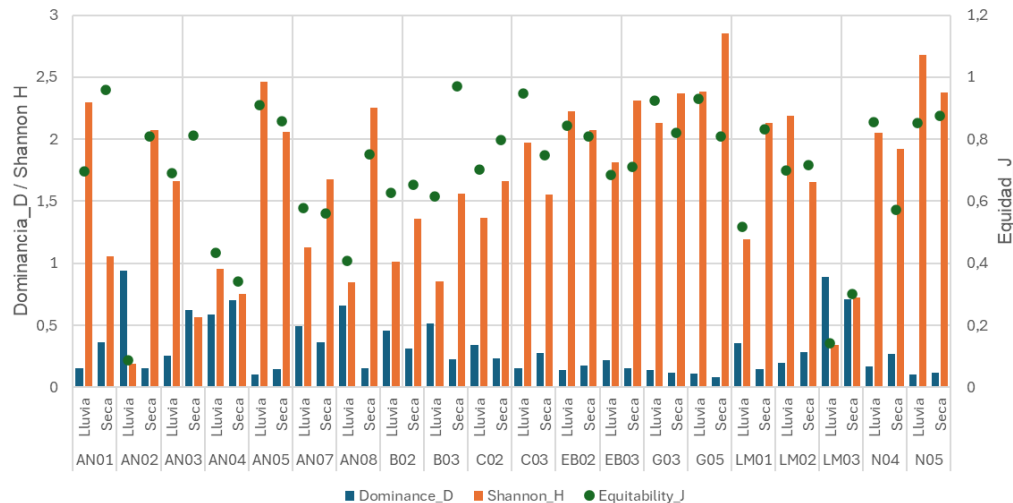


Figura 5.2.2.1.7 Índices de diversidad de la comunidad de fitoplancton por punto y temporada de muestreo – Parte 1
Fuente: Integral S.A., 2025

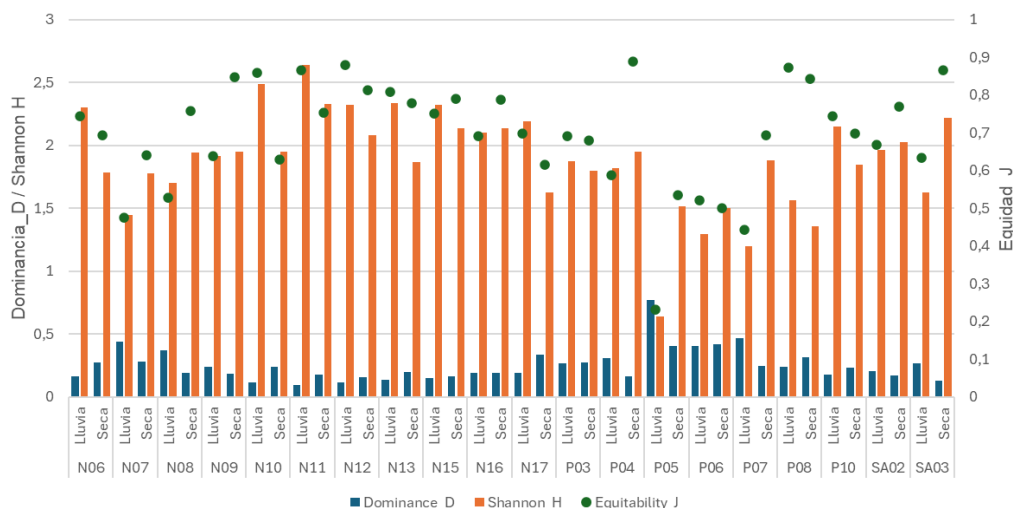


Figura 5.2.2.1.8 Índices de diversidad de la comunidad de fitoplancton por punto y temporada de muestreo – Parte 2
Fuente: Integral S.A., 2025

El análisis de similitud realizado mediante el índice de Bray–Curtis permitió evaluar la diversidad beta entre los puntos muestreados en las dos temporadas (seca y lluvias). El dendrograma de asociación (Figura 5.2.2.1.9) mostró que las comunidades de fitoplancton presentan similitudes menores al 86%. Adicionalmente, se identificaron dos rangos de similitud relevantes que contienen 13 asociaciones de puntos de muestreo.

El primer rango, entre 71 y 79%, concentra la mayor cantidad de asociaciones (11): N11_LI y N13_LI (71%), N17_LI y P03_LI (71%), N15_LI y N06_LI (71%), AN07_LI y AN08_LI (72%), N07_Se y N06_Se (74%), N12_Se y N15_Se (74%), N12_Se y N13_Se (75%), N07_Se y

N11_Se (75%), N08_Se y N13_Se (76%), N15_LI y N17_LI (78%) y, N15_LI y N16_LI (79%). Este patrón indica que ciertos puntos comparten condiciones ambientales similares dentro de cada temporada, favoreciendo comunidades más homogéneas.

El segundo rango contiene las asociaciones más fuertes, las cuales se presentaron exclusivamente en la temporada de lluvias, entre N07_LI y N08_LI (85%) y N09_LI y N06_LI (86%). Esto sugiere que durante este periodo se generan condiciones más uniformes, como mayor conectividad hídrica y aporte de nutrientes, reduciendo la variabilidad entre sitios.

En términos de diversidad beta, los resultados confirman una alta heterogeneidad entre puntos y temporadas, ya que la mayoría de las similitudes son inferiores al 60%, lo que indica una marcada variación en la composición del fitoplancton entre sitios y épocas (seca vs. lluvias). Asimismo, se observa una mayor homogeneidad en lluvias, reflejada en las asociaciones más fuertes, lo que sugiere que el incremento en caudal y conectividad reduce la diferenciación entre comunidades. Aunque existen asociaciones entre puntos de distinta temporada, la mayoría de los grupos más similares corresponden a sitios dentro de la misma época, lo que evidencia la influencia de factores ambientales estacionales. En conjunto, la diversidad beta sugiere que la estructura de la comunidad fitoplanctónica está determinada tanto por procesos de dispersión, como por las condiciones locales (nutrientes, luz, caudal) los cuales actúan de manera diferencial entre épocas climáticas y puntos de muestreo (cuerpos de agua) (Wetzel, 2001).

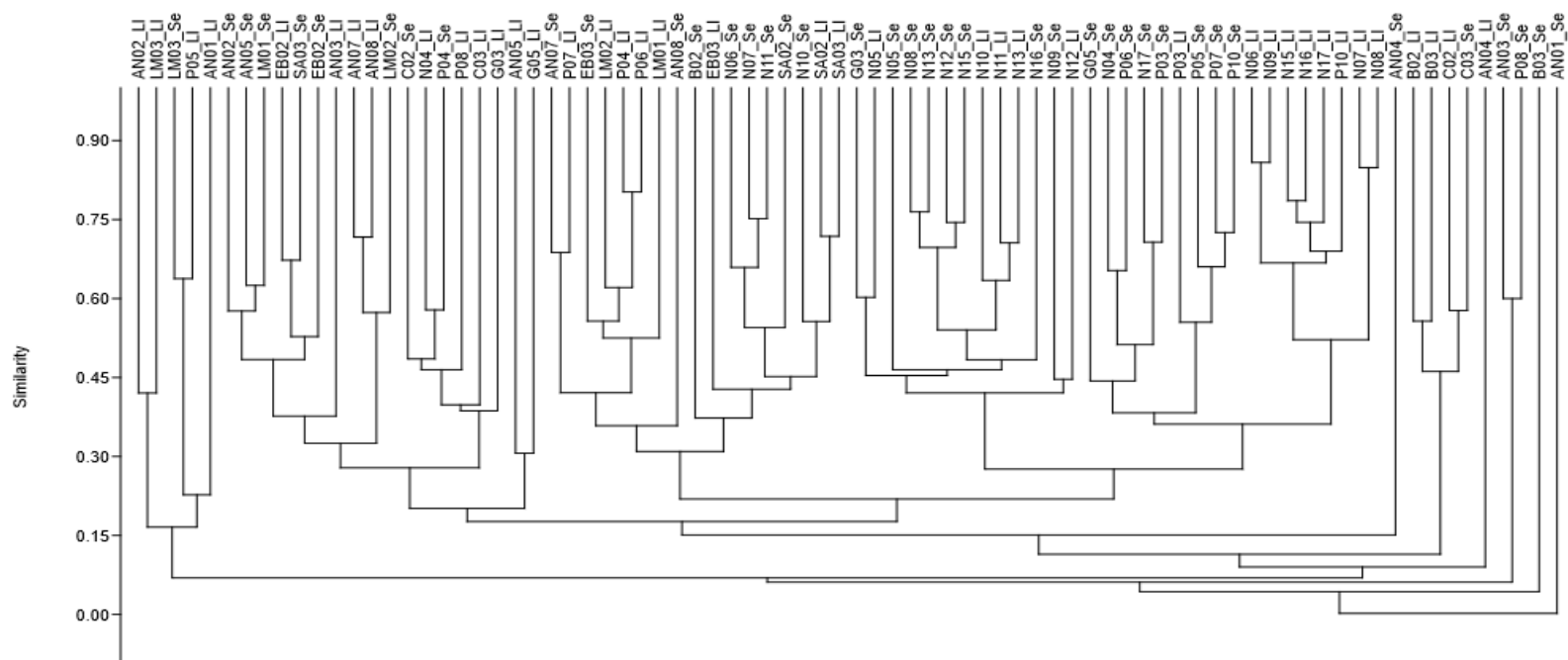


Figura 5.2.2.1.9 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de fitoplancton en los puntos muestreados
Fuente: Integral S.A., 2025

5.2.2.1.3 Comunidad Zooplancton

El zooplancton es un conjunto de organismos animales que viven suspendidos en la columna de agua, tanto en ambientes marinos como dulceacuícolas, y que dependen de las corrientes para su desplazamiento. Está compuesto por una gran diversidad de especies, incluyendo protozoos, rotíferos, copépodos, cladóceros y larvas de peces y crustáceos, que cumplen un papel heterótrofo al alimentarse principalmente de fitoplancton y materia orgánica (Conde-Porcuna, Ramos-Rodríguez, & Morales-Baquero, 2004). Su función ecológica es fundamental, ya que actúa como un eslabón clave en la transferencia de energía y nutrientes dentro de las redes tróficas acuáticas, conectando a los productores primarios con los consumidores secundarios y depredadores superiores (Crales-Hernández, Sánchez-Lobo, Rueda-Parra, & López-Gómez, 2023). Además, el zooplancton contribuye al reciclaje de materia orgánica y al flujo de carbono en los ecosistemas acuáticos, influyendo en procesos como la productividad y la dinámica biogeoquímica (Echaniz, Vignatti, Cabrera, Kihn, & Stella, 2021).

A. Composición y Estructura

La comunidad zooplanctónica evaluada durante las temporadas de lluvia y sequía presentó una densidad total de 1,09 Ind/mL, distribuida en 30 morfoespecies, 30 géneros, 26 familias, 15 órdenes, 11 clases y siete (7) phyla: Arthropoda, Ciliophora, Gastrotricha, Heliozoa, Nematoda, Protozoa y Rotifera (véase la Tabla 5.2.2.1.4). La información detallada de esta comunidad hidrobiológica se encuentra en el ANEXOS_CARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS_BD_Hidrobiologicos.

Entre los phyla identificados, Protozoa fue el más abundante, con una densidad de 0,66 Ind/mL, equivalente al 60,78% del total. Le siguió Ciliophora, con 0,166 Ind/mL (15,20%), y en tercer lugar Nematoda, con 0,14 Ind/mL (12,69%). Los demás phyla registraron valores iguales o inferiores a 0,11 Ind/mL, aportando menos del 10% al total, como se muestra en la Figura 5.2.2.1.10.

Tabla 5.2.2.1.4 Composición y estructura de la comunidad zooplanctónica registrada durante época seca y lluvia

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/mL)		Total
					Lluvias	Seca	
Arthropoda	Cyclopoida	Morfo 26	Morfo 26	<i>Morfo 26</i>	0,005		0,005
	Harpacticoida	Morfo 27	Morfo 27	<i>Morfo 27</i>	0,003		0,003
	Morfo 15	Morfo 15	Morfo 15	<i>Morfo 15</i>	0,002		0,002
	Morfo 6 (larva nauplio Copepoda)	Morfo 6 (larva nauplio Copepoda)	Morfo 6 (larva nauplio Copepoda)	<i>Morfo 6 (larva nauplio Copepoda)</i>	0,002		0,002
Ciliophora	Haptorida	Didiniidae	Didinium	<i>Didinium sp.</i>	0,001		0,001
	Morfo 42	Morfo 42	Morfo 42	<i>Morfo 42</i>	0,03	0,06	0,09
	Peritrichida	Morfo 37	Morfo 37	<i>Morfo 37</i>	0,04	0,02	0,06
		Vorticellidae	Vorticella	<i>Vorticella sp.</i>	0,02		0,02
Gastrotricha	Morfo 17	Morfo 17	Morfo 17	<i>Morfo 17</i>	0,001		0,001
Heliozoa	Desmothoracida	Clathruliniidae	Clathrulina	<i>Clathrulina sp.</i>		0,003	0,003
Nematoda	Morfo 34	Morfo 34	Morfo 34	<i>Morfo 34</i>	0,11	0,03	0,14
Protozoa	Aconchulinida	Cyphoderiidae	Cyphoderia	<i>Cyphoderia sp.</i>	0,01	0,001	0,01
		Euglyphidae	Euglypha	<i>Euglypha sp.</i>	0,07	0,04	0,11
			Trinema	<i>Trinema sp.</i>	0,06	0,02	0,08
	Arcellinida	Arcellidae	Arcella	<i>Arcella sp.</i>	0,08	0,06	0,14
		Centropyxidae	Centropyxis	<i>Centropyxis sp.</i>	0,21	0,04	0,25
		Diffugiidae	Diffugia	<i>Diffugia sp.</i>	0,03	0,01	0,04
		Lesquereusiidae	Lesquereusia	<i>Lesquereusia sp.</i>	0,03		0,03
		Nebelidae	Nebela	<i>Nebela sp.</i>		0,001	0,001
		Paraquadrulidae	Quadrulella	<i>Quadrulella sp.</i>	0,005	0,001	0,01
	Morfo 29	Morfo 29	Morfo 29	<i>Morfo 29</i>		0,002	0,002

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/mL)		Total
					Lluvias	Seca	
Rotifera	Morfo 33 (subclase Bdelloidea)	Morfo 33 (subclase Bdelloidea)	Morfo 33 (subclase Bdelloidea)	<i>Morfo 33 (subclase Bdelloidea)</i>	0,05	0,02	0,07
	Ploima	Brachionidae	Anuraeopsis	<i>Anuraeopsis sp.</i>	0,001		0,001
			Brachionus	<i>Brachionus sp.</i>	0,001		0,001
		Lecanidae	Lecane	<i>Lecane sp.</i>		0,003	0,003
			Monostyla	<i>Monostyla sp.</i>	0,009	0,005	0,01
		Lepadellidae	Colurella	<i>Colurella sp.</i>	0,001	0,001	0,002
			Lepadella	<i>Lepadella sp.</i>	0,004	0,01	0,01
		Notommatidae	Cephalodella	<i>Cephalodella sp.</i>	0,004	0,005	0,01
		Trichocercidae	Trichocerca	<i>Trichocerca sp.</i>	0,002	0,001	0,002
	Total				0,77	0,32	1,09

Fuente: Integral S. A., 2025

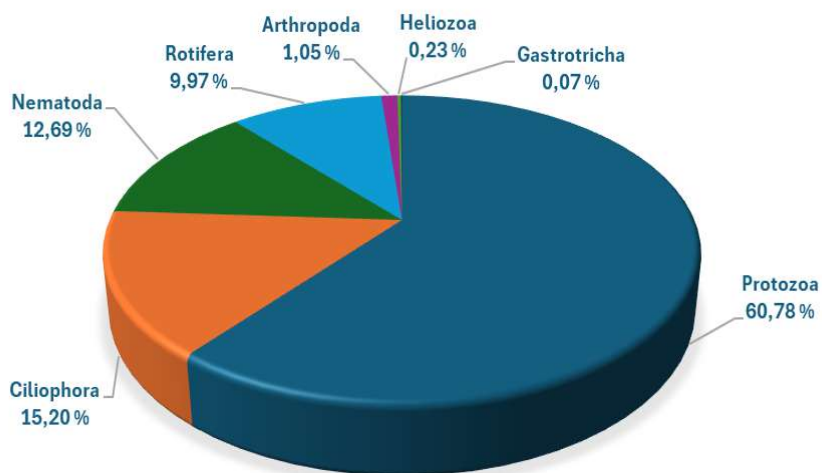


Figura 5.2.2.1.10 Porcentaje de representación por phylum en la comunidad zooplanctónica
Fuente: Integral S. A., 2025

La familia más abundante fue Centropyxidae, con una densidad de 0,25 Ind/mL (22,63%). Esta familia pertenece al orden Arcellinida, que a su vez fue el más abundante con 0,46 Ind/mL. Dentro de este orden se encuentra también la tercera familia más abundante, Arcellidae, la cual obtuvo una abundancia de 0,14 Ind/mL (13,28%). Dentro de estas taxa se encuentran las morfoespecies más dominantes, *Centropyxis sp.*, con una densidad total de 0,25 Ind/mL, y *Arcella sp.* con una densidad total de 0,14 Ind/mL.

La segunda familia más abundante fue Euglyphidae, con 0,19 Ind/mL (17,32%). Esta familia forma parte del orden Aconchulinida, el segundo más representativo, con 0,20 Ind/mL. En este grupo destaca la morfoespecie *Euglypha sp.*, que obtuvo la cuarta posición en densidad, con 0,11 Ind/mL.

En cuanto a los phyla por temporada de muestreo se evidenció que durante el muestreo realizado en temporada de lluvias la comunidad zooplanctónica estuvo representada por seis (6) phylum: Arthropoda, Ciliophora, Gastrotricha, Nematoda, Protozoa y Rotifera. Mientras que, en la temporada seca, se identificaron cinco (5) phylum: Ciliophora, Heliozoa, Nematoda, Protozoa y Rotifera. En ambas temporadas Protozoa presentó la mayor densidad, siendo este valor más alto en la temporada lluvia (0,490 Ind/mL) que en la temporada seca (0,173 Ind/mL). Los phyla menos abundantes también variaron según la temporada: Gastrotricha con 0,001 Ind/mL durante la temporada de lluvias, mientras que en la temporada seca fue Heliozoa con 0,002 Ind/mL (Figura 5.2.2.1.11).

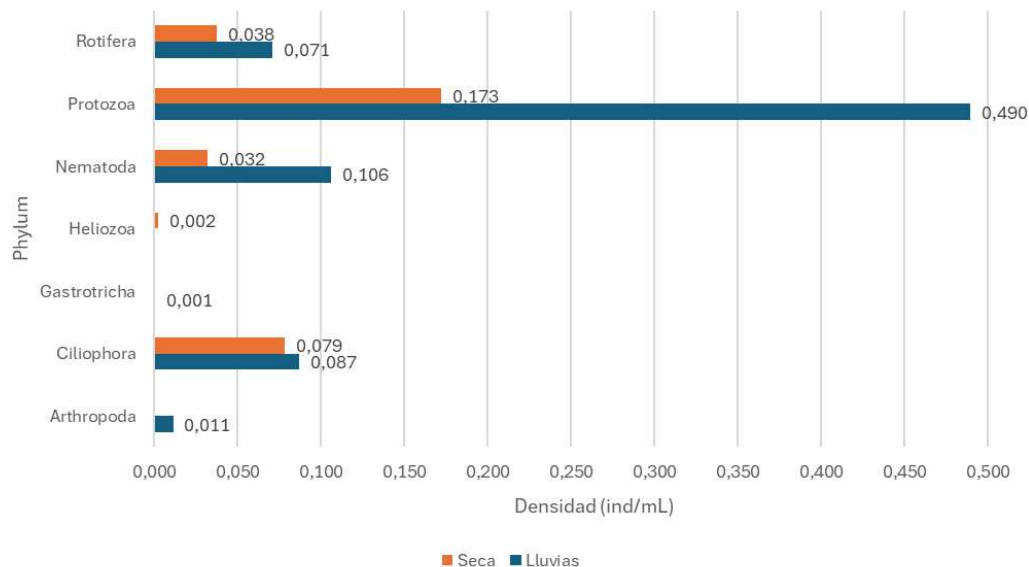


Figura 5.2.2.1.11 Densidad de zooplancton por phylum y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

En términos de riqueza específica, los resultados fueron consistentes con los patrones de densidad observados. En ambas temporadas, Protozoa presentó la mayor cantidad de morfoespecies, con valores superiores durante la época de lluvias (108) frente a la temporada seca (75). El segundo grupo más diverso fue Rotifera, con 33 morfoespecies en lluvias y 26 en sequía (véase Figura 5.2.2.1.12). Durante la temporada de lluvias, Nematoda también mostró una alta representatividad con 31 morfoespecies, mientras que en la temporada seca no se registró este phylum. Los grupos menos representativos variaron entre temporadas: Gastrotricha en lluvias y Heliozoa en sequía, ambos con una (1) morfoespecie.

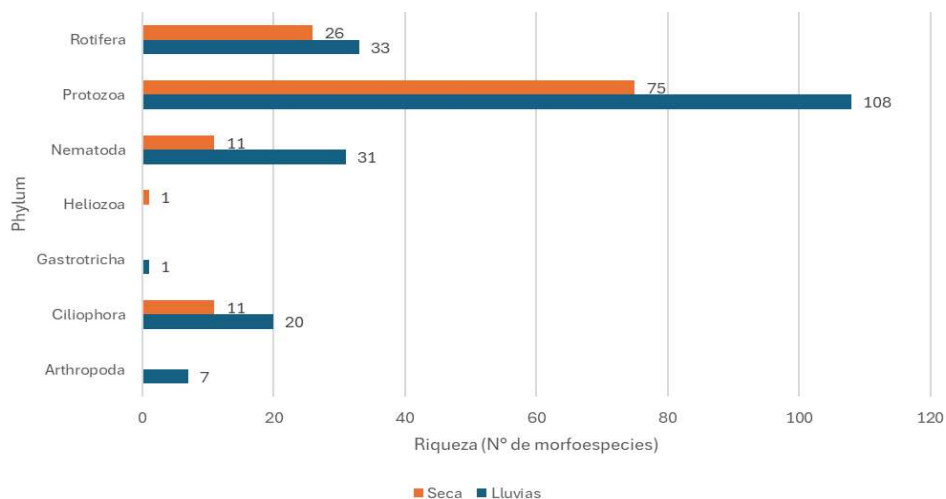


Figura 5.2.2.1.12 Riqueza de zooplancton por phylum y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

La estructura y composición de la comunidad zooplanctónica evidencian una marcada influencia de la variabilidad hidrológica sobre la riqueza y abundancia de los organismos. La mayor diversidad registrada en la temporada de lluvias indica que las condiciones ambientales más favorables, como el incremento en la disponibilidad de nutrientes y la heterogeneidad de microhábitats, promueven la presencia de grupos adicionales (Benítez-Fernández, Valadez-Rocha, Pérez-Legaspi, Morales-Castro, & Fuentes-Meza, 2021; Mecalco-Hernández, Castillo-Rivera, Sanvicente-Añorve, Flores-Coto, & Álvarez-Silva, 2018). La dominancia de Protozoa en ambas temporadas resalta su papel funcional en el reciclaje de materia orgánica y transferencia de energía, especialmente bajo condiciones de alta productividad (Cruz-Rosado, y otros, 2020). Las diferencias en los phyla menos abundantes entre lluvias y sequía reflejan adaptaciones específicas a cambios en la calidad del agua y disponibilidad de recursos (Chaparro, 2013). En conjunto, estos resultados confirman que la dinámica estacional es un factor determinante en la estructura y funcionalidad del zooplancton.

B. Distribución espacial y temporal

De acuerdo con los aportes por punto de muestreo, se observó que tanto en la temporada lluvia como en la temporada seca los valores más importantes de densidad de zooplancton registrados coinciden con el valor de la riqueza, de tal manera que AN01 de la temporada de lluvias obtuvo el valor más alto de densidad para el grupo con 0,08 Ind/mL, mientras que en la temporada seca fue el punto LM03 con 0,08 Ind/mL. Estos dos puntos obtuvieron una riqueza de ocho (8) morfoespecies.

Además de los puntos mencionados, durante la temporada de lluvias P08 (4,76 Ind/mL), N08 (4,76 Ind/mL) y N07 (4,76 Ind/mL) también aportaron densidades importantes. Estos puntos más representativos en conjunto aportan aproximadamente el 33,51% de la densidad total de la temporada de lluvias. Contrario a esto, durante la temporada seca se encontró que P03 (0,03 Ind/mL), P06 (0,020 Ind/mL), AN07 (0,02 Ind/mL) y AN04 (0,02 Ind/mL) también aportaron densidades significativas para la temporada, sumando en conjunto aproximadamente el 50% de la densidad de esta época de muestreo (Véase la Figura 5.2.2.1.13 y la Figura 5.2.2.1.14).

En cuanto a la riqueza específica, en la temporada de lluvias, los valores más altos se registraron en los puntos N08 y LM01, con 11 morfoespecies cada uno. Les siguieron AN04 y P05, ambos con 10 morfoespecies. Por otra parte, durante la temporada seca, el punto P06 presentó la mayor riqueza con 10 morfoespecies, seguido por LM03, P03 y AN07, que alcanzaron 8 morfoespecies cada uno (Véase la Figura 5.2.2.1.13 y la Figura 5.2.2.1.14).

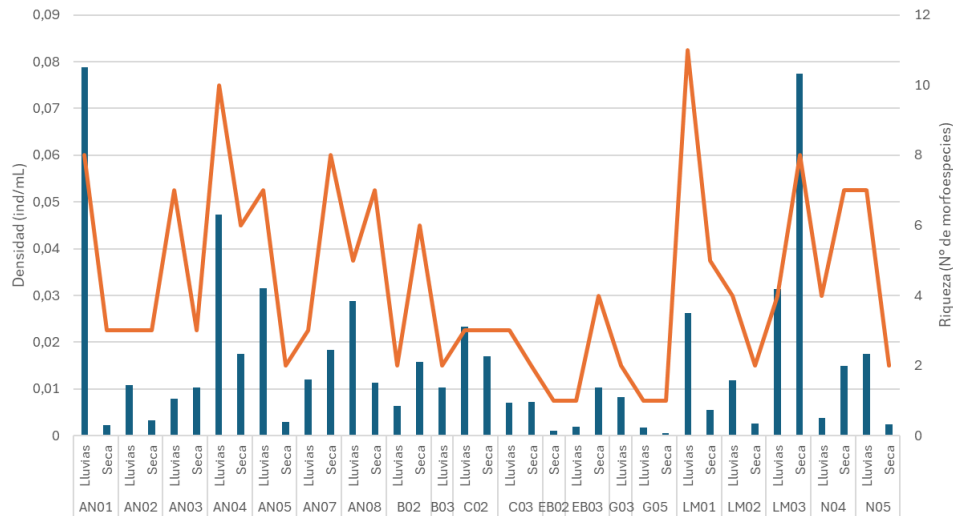


Figura 5.2.2.1.13 Distribución espacial y temporal de la comunidad de zooplancton-parte 1
Fuente: Integral S. A., 2025

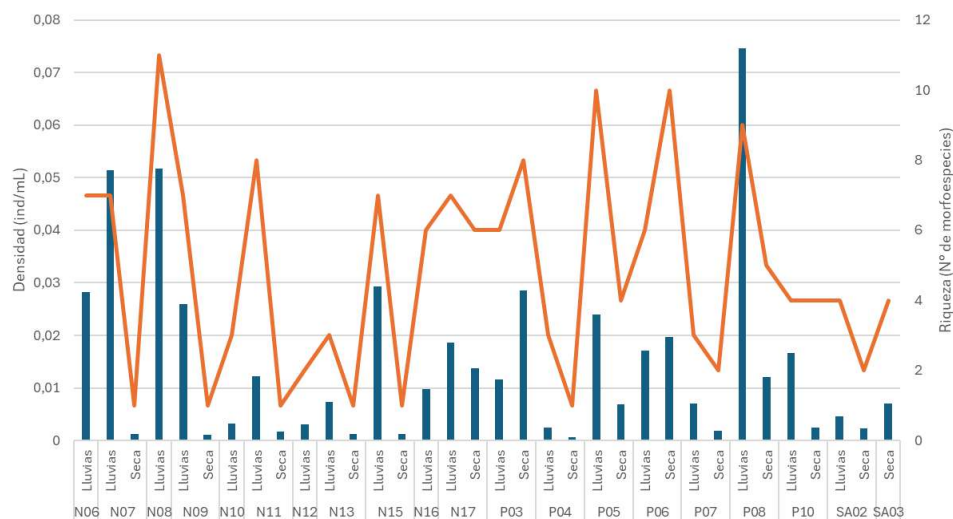


Figura 5.2.2.1.14 Distribución espacial y temporal de la comunidad de zooplancton-parte 2
Fuente: Integral S. A., 2025

Respecto a los cuerpos de agua asociados a los puntos muestreados se encontró que la Quebrada La María (LM01 y LM03) presentó la mayor densidad de zooplancton con 0,11 Ind/mL, de los cuales la mayor representatividad está en el phylum Ciliophora (0,08 Ind/mL). La segunda densidad más alta la obtuvo el Afluente Quebrada La Palestina 1 (P08) con 0,09 Ind/mL, de los cuales 0,08 Ind/mL pertenecen al phylum Protozoa. El tercer cuerpo de agua con mayor densidad fue el Afluente Nus 1 (AN01), para el cual se reportan 0,08 Ind/mL, de los cuales 0,07 Ind/mL pertenecen a Protozoa. El cuarto cuerpo de agua con mayor densidad corresponde al Afluente Nus 4 (AN04), el cual presentó 0,06 Ind/mL, de los cuales la mayor densidad la aportó Protozoa (0,03 Ind/mL). Los cuerpos de agua restantes

presentaron densidades $\leq 0,05$ Ind/mL, de estos el menos representativo fue la Quebrada El Banco, la cual tiene asociado el punto de muestreo EB02.

El río Nus (N04, N05, N06, N07, N08, N09, N10, N11, N12, N13, N15, N16 y N17) presentó la mayor riqueza específica de zooplancton, con 99 morfoespecies identificadas, seguido por la quebrada La Palestina (P03, P04, P05, P06, P07 y P10) con 61 morfoespecies, la quebrada La María (LM01, LM02, LM03) con 34, y el afluente Nus 4 (AN04, AN05) con 25 morfoespecies. En todos estos cuerpos de agua, el phylum dominante fue Protozoa. Los demás cuerpos de agua registraron riquezas iguales o inferiores a 14 morfoespecies, siendo la quebrada Guacas (puntos G03 y G05) la menos representativa.

C. Índices ecológicos (diversidad alfa y beta)

De acuerdo con los índices ecológicos aplicados a la comunidad zooplanctónica en los puntos de muestreo evaluados (véase la Tabla 5.2.2.1.5, la Figura 5.2.2.1.15 y la Figura 5.2.2.1.16), se evidenció diferencias marcadas entre las temporadas de lluvia y seca. De manera general, la temporada de lluvia presentó valores más altos de diversidad (índice de Shannon) y equidad (índice de Pielou), acompañados de una menor dominancia. Esto sugiere comunidades más equilibradas y heterogéneas durante los periodos lluviosos, posiblemente favorecidas por una mayor disponibilidad de hábitats y conectividad hidrológica, lo que reduce la exclusión competitiva y promueve la coexistencia de múltiples morfoespecies.

Por el contrario, en la temporada seca se observó un incremento en la dominancia y una disminución significativa en la diversidad y equidad, con varios puntos donde el índice de Shannon fue igual a cero, indicando monodominancia. Estos resultados reflejan que, bajo condiciones de menor caudal y mayor aislamiento, las comunidades tienden a simplificarse, favoreciendo especies oportunistas o tolerantes que desplazan a otras. Este patrón se evidenció en 21 de los 31 puntos comparados, donde la dominancia aumentó en la época seca, mientras que la diversidad disminuyó en 20 de ellos.

Tabla 5.2.2.1.5 Índices de diversidad de la comunidad zooplanctónica por punto y temporada de muestreo

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/mL)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
AN01	Lluvia	8	0,08	0,14	2,03	0,98
	Seca	3	0,002	0,42	0,94	0,85
AN02	Lluvia	3	0,01	0,43	0,96	0,87
	Seca	3	0,003	0,40	0,99	0,90
AN03	Lluvia	7	0,01	0,17	1,83	0,94
	Seca	3	0,01	0,64	0,67	0,61
AN04	Lluvia	10	0,05	0,14	2,10	0,91
	Seca	6	0,02	0,19	1,74	0,97
AN05	Lluvia	7	0,03	0,23	1,69	0,87
	Seca	2	0,003	0,61	0,59	0,84
AN07	Lluvia	3	0,01	0,35	1,07	0,98
	Seca	8	0,02	0,16	1,93	0,93
AN08	Lluvia	5	0,03	0,22	1,57	0,98
	Seca	7	0,01	0,18	1,79	0,92

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/mL)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
B02	Lluvia	2	0,01	0,52	0,67	0,97
	Seca	6	0,02	0,20	1,66	0,93
B03	Lluvia	2	0,01	0,53	0,66	0,95
C02	Lluvia	3	0,02	0,38	1,03	0,94
	Seca	3	0,02	0,40	1,00	0,91
C03	Lluvia	3	0,01	0,39	1,01	0,92
	Seca	2	0,01	0,56	0,64	0,92
EB02	Seca	1	0,001	1,00	0,00	0,00
EB03	Lluvia	1	0,002	1,00	0,00	0,00
	Seca	4	0,01	0,48	1,00	0,72
G03	Lluvia	2	0,01	0,53	0,67	0,96
G05	Lluvia	1	0,002	1,00	0,00	0,00
	Seca	1	0,001	1,00	0,00	0,00
LM01	Lluvia	11	0,03	0,13	2,22	0,93
	Seca	5	0,01	0,25	1,47	0,92
LM02	Lluvia	4	0,01	0,28	1,33	0,96
	Seca	2	0,003	0,50	0,69	1,00
LM03	Lluvia	4	0,03	0,32	1,25	0,90
	Seca	8	0,08	0,22	1,76	0,85
N04	Lluvia	4	0,004	0,27	1,33	0,96
	Seca	7	0,02	0,29	1,59	0,82
N05	Lluvia	7	0,02	0,17	1,82	0,94
	Seca	2	0,003	0,50	0,69	1,00
N06	Lluvia	7	0,03	0,18	1,83	0,94
N07	Lluvia	7	0,05	0,20	1,76	0,91
	Seca	1	0,001	1,00	0,00	0,00
N08	Lluvia	11	0,05	0,12	2,23	0,93
N09	Lluvia	7	0,03	0,17	1,85	0,95
	Seca	1	0,001	1,00	0,00	0,00
N10	Lluvia	3	0,003	0,33	1,10	1,00
N11	Lluvia	8	0,01	0,14	2,01	0,97
	Seca	1	0,002	1,00	0,00	0,00
N12	Lluvia	2	0,003	0,56	0,64	0,92
N13	Lluvia	3	0,01	0,42	0,94	0,86
	Seca	1	0,001	1,00	0,00	0,00
N15	Lluvia	7	0,03	0,17	1,87	0,96
	Seca	1	0,001	1,00	0,00	0,00
N16	Lluvia	6	0,01	0,23	1,58	0,88
N17	Lluvia	7	0,02	0,17	1,86	0,96
	Seca	6	0,01	0,22	1,64	0,92
P03	Lluvia	6	0,01	0,23	1,63	0,91

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/mL)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
P04	Seca	8	0,03	0,17	1,90	0,91
	Lluvia	3	0,003	0,42	0,94	0,85
	Seca	1	0,001	1,00	0,00	0,00
P05	Lluvia	10	0,02	0,16	2,01	0,87
	Seca	4	0,01	0,35	1,21	0,87
P06	Lluvia	6	0,02	0,26	1,54	0,86
	Seca	10	0,02	0,12	2,19	0,95
P07	Lluvia	3	0,01	0,37	1,04	0,94
	Seca	2	0,002	0,72	0,45	0,65
P08	Lluvia	9	0,08	0,15	2,07	0,94
	Seca	5	0,01	0,27	1,45	0,90
P10	Lluvia	4	0,02	0,30	1,28	0,93
	Seca	4	0,002	0,25	1,39	1,00
SA02	Lluvia	4	0,005	0,28	1,30	0,94
	Seca	2	0,002	0,50	0,69	1,00
SA03	Seca	4	0,01	0,33	1,24	0,90

Fuente: Integral S. A., 2025

Los valores más bajos de dominancia durante la temporada de lluvias los presentaron los puntos N08, LM01, AN01, N11, AN04, P08, P05, N17, N15, AN03, N05, N09, N06 y N07 ($D \approx 0,12-0,20$). A su vez, estos puntos presentaron valores de diversidad intermedia ($H' \approx 1,76 - 2,23$) y uniformidad alta ($J' \approx 0,87 - 0,98$). De estos puntos, AN04 mantuvo una baja dominancia ($D=0,19$) durante la temporada seca, aunque su diversidad disminuyó ($H'=1,74$) y su equitatividad aumentó ($J'=0,98$). Durante la temporada seca los puntos P06, AN07, P03 y AN08 también presentaron valores representativos para los índices, de tal manera que presentaron una dominancia baja ($D \approx 0,1202- 0,1869$), diversidad intermedia ($H' \approx 1,74 - 2,19$) y equitatividad alta ($J' \approx 0,91 - 0,97$).

Por otra parte, los valores más altos de dominancia durante la temporada de lluvias se registraron en los puntos EB03 y G05 ($D = 1$), cada uno con la presencia de una única especie: *Lesquereusia sp.* en EB03 y *Morfo 27* en G05. Esta condición los convierte en los sitios menos diversos durante esta campaña de muestreo. En contraste, la temporada seca presentó un mayor número de puntos con dominancia máxima ($D = 1$), también asociados a la presencia de una sola especie. Estos puntos fueron EB02, G05, N07, N09, N11, N13, N15 y P04. Cabe destacar que, en el caso de G05, la morfoespecie registrada en la temporada seca fue diferente a la observada en lluvias, correspondiendo a *Diffflugia sp.*

También se identificaron excepciones en las que la diversidad aumentó durante la temporada seca, como en los puntos EB03, B02, AN07 y P06. Estos casos podrían estar asociados a condiciones locales particulares, como la reducción de turbulencia o el incremento en la estabilidad de la columna de agua, que favorecen el desarrollo del zooplancton en ausencia de arrastre.



Figura 5.2.2.1.15 Índices de diversidad de la comunidad zooplanctónica por punto y temporada de muestreo – Parte 1
Fuente: Integral S. A., 2025



Figura 5.2.2.1.16 Índices de diversidad de la comunidad zooplanctónica por punto y temporada de muestreo – Parte 2
Fuente: Integral S.A., 2025

El dendrograma de similitud (Bray–Curtis) evidencia un patrón de agrupamiento fuertemente influenciado por la temporada climática. Los resultados correspondientes a la temporada lluviosa (LI) y a la temporada seca (Se) tienden a separarse en clústeres bien definidos, mostrando que la composición del zooplancton responde de manera marcada a la variación estacional de las condiciones hidrológicas.

Los resultados de los puntos de la temporada lluviosa se agrupan entre sí con mayores porcentajes de similitud, lo cual indica que durante este período existe una estructura zooplanctónica relativamente homogénea. Esto puede asociarse al aumento en el aporte

de nutrientes, mezcla de la columna de agua y mayor productividad, por el aumento del recurso hídrico.

Ahora bien, durante la época seca hay menos similaridad, mostrando mayores diferencias con respecto a las del período de lluvias. En este caso, la menor disponibilidad de recurso, la estratificación y la reducción en el aporte externo, generan condiciones más heterogéneas, que se reflejan en la composición del zooplancton.

Dentro de cada temporada se presentan pequeños subgrupos, lo que sugiere que además del efecto del periodo hidrológico hay condiciones particulares de cada grupo que podrían ser similares para el establecimiento de la comunidad zooplanctonica en estas, pues compartirían algunas taxas

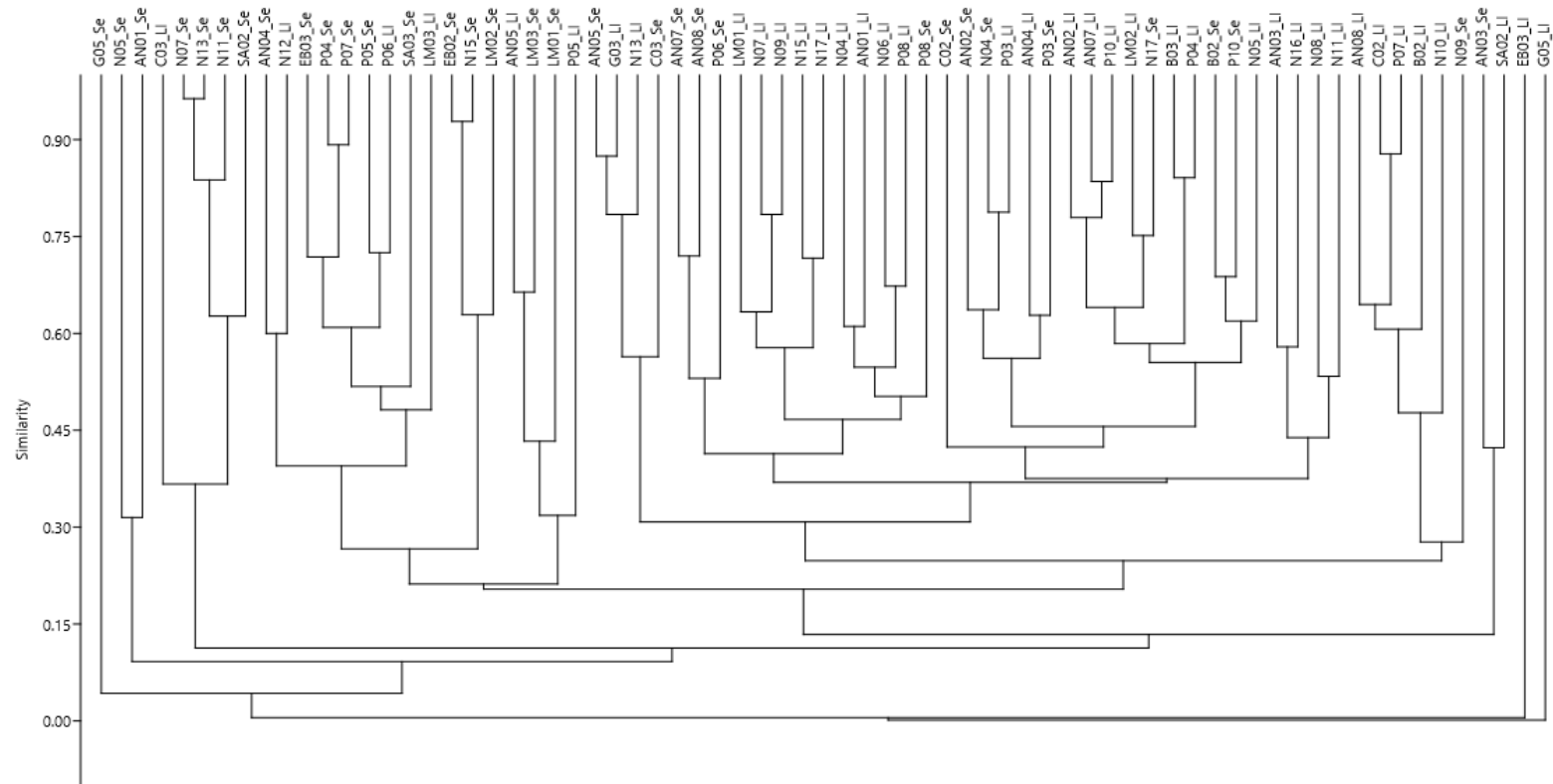


Figura 5.2.2.1.17 Dendrograma de similitud (índice Bray-Curtis) de la comunidad de zooplancton en los puntos muestreados

Fuente: Integral S. A., 2025

5.2.2.1.4 Comunidad Perifiton

Las microalgas perifíticas son organismos fotosintéticos que se desarrollan sobre sustratos duros en ambientes acuáticos y cumplen un papel esencial en la producción primaria. Estas comunidades son consideradas bioindicadores por su alta sensibilidad a cambios fisicoquímicos, rápida tasa de renovación y facilidad de muestreo y análisis (Osorio A., Rodríguez B., & Montoya M., 2015). Además, contribuyen significativamente al reciclaje de nutrientes y a la generación de metabolitos que sostienen las redes tróficas acuáticas (Guerrero L., Pinilla-Agudelo, & Estrada G., 2021). Su composición responde a variaciones en la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, lo que las convierte en herramientas útiles para evaluar procesos de eutrofización y contaminación orgánica (Moreno R., Caro C., Pinilla, & Osorio, 2017).

A. Composición y Estructura

La comunidad perifítica evaluada durante las temporadas lluvia y seca reportó una densidad total de 341.348,80 Ind/cm², los cuales se encuentran distribuidos en 95 morfoespecies, 94 géneros, 53 familias, 33 órdenes, 10 clases y seis (6) divisiones: Charophyta, Chlorophyta, Cyanobacteriota, Euglenophyta, Heterokontophyta y Rhodophyta (véase la Tabla 5.2.2.1.6). Los datos de esta comunidad hidrobiológica se presentan en ANEXOS_CHARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS_BD_Hidrobiologicos

Entre las divisiones identificadas, Heterokontophyta fue la más abundante, con una densidad de 258.207,53 Ind/cm², equivalente al 75,64% del total. En segundo lugar, se ubicó Cyanobacteriota, con 38.523,93 Ind/cm², lo que representa el 11,29% de la densidad total. Chlorophyta obtuvo el tercer valor de densidad más alto, con 34.839,59 Ind/cm² y una representatividad de 10,21%. Las demás divisiones presentaron valores inferiores o iguales a 8123,86 Ind/cm², aportando menos del 3% al total, como se muestra en la Figura 5.2.2.1.18.

La familia más abundante fue Bacillariaceae, con una densidad de 71.596,83 Ind/cm² (20,97%). Esta familia pertenece al orden Bacillariales, que presentó la misma densidad y representatividad en el muestreo. Dentro de este grupo se encuentra la morfoespecie más dominante, *Nitzschia sp.*, con una densidad total de 71.553,37 Ind/cm².

La segunda familia más abundante fue Naviculaceae, con 51.772,78 Ind/cm² (15,17%). Esta familia forma parte del orden Naviculales, el orden más representativo, con 73.411,44 Ind/cm². En este grupo destaca la morfoespecie *Navicula sp.*, que ocupó la segunda posición en densidad, con 51.490,27 Ind/cm².

Asimismo, se registraron valores importantes en Gomphonemataceae (40.563,69 Ind/cm²; 11,88%), perteneciente al orden Cymbellales, y en Achnanthidiaceae (30.144,64 Ind/cm²; 8,83%), incluida en el orden Achnanthales. Las familias restantes presentaron densidades inferiores, contribuyendo con menos del 8% a la densidad total. Dentro de estas taxa destacan dos morfoespecies que presentaron densidades altas: *Gomphonema sp.* (36.172,52 Ind/cm²) y *Achnanthidium sp.* (27.831,87 Ind/cm²).

Tabla 5.2.2.1.6 Composición y estructura de la comunidad perifítica registrada durante época seca y lluvia

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/cm ²)		Total
					Lluvias	Seca	
Charophyta	Desmidiaceae	Closteriaceae	Closterium	<i>Closterium sp.</i>	17,42	384,04	401,46
		Desmidiaceae	Actinotaenium	<i>Actinotaenium sp.</i>	30,28	113,50	143,78
			Cosmarium	<i>Cosmarium sp.</i>	45,38	426,51	471,89
			Staurostrum	<i>Staurostrum sp.</i>		43,39	43,39
		Peniaceae	Penium	<i>Penium sp.</i>		51,67	51,67
	Spirogyrales	Spirogyraceae	Spirogyra	<i>Spirogyra sp.</i>	729,29	1.018,43	1.747,72
	Zygnematales	Mesotaeniaceae	Netrium	<i>Netrium sp.</i>	1,39		1,39
		Zygnemataceae	Cylindrocystis	<i>Cylindrocystis sp.</i>	1,39		1,39
			Mougeotia	<i>Mougeotia sp.</i>	4.843,63	417,56	5.261,18
Chlorophyta	Chaetophorales	Chaetophoraceae	Chaetophora	<i>Chaetophora sp.</i>		36,88	36,88
			Stigeoclonium	<i>Stigeoclonium sp.</i>	21.704,69	1.801,48	23.506,18
	Chlamydomonadales	Chlamydomonadaceae	Morfo 6	<i>Morfo 6</i>	3.366,06	2.568,04	5.934,11
	Chlorellales	Chlorellaceae	Actinastrum	<i>Actinastrum sp.</i>	4,44	1,39	5,83
			Dictyosphaerium	<i>Dictyosphaerium sp.</i>	0,65	19,06	19,71
			Cf. Keratococcus	<i>Cf. Keratococcus sp.</i>		10,06	10,06
		Oocystaceae	Willea	<i>Willea sp.</i>	3,68		3,68
	Cladophorales	Cladophoraceae	Rhizoclonium	<i>Rhizoclonium sp.</i>	238,66		238,66
	Oedogoniales	Oedogoniaceae	Bulbochaete	<i>Bulbochaete sp.</i>	29,86		29,86
			Oedogonium	<i>Oedogonium sp.</i>	1.126,03	2.830,18	3.956,21
	Sphaeropleales	Characiaceae	Characium	<i>Characium sp.</i>	40,83		40,83
		Hydrodictyaceae	Pseudopediastrum	<i>Pseudopediastrum sp.</i>		56,17	56,17
			Stauridium	<i>Stauridium sp.</i>		31,46	31,46
			Acutodesmus	<i>Acutodesmus sp.</i>	14,44	31,46	45,90
		Scenedesmaceae	Comasiella	<i>Comasiella sp.</i>		33,33	33,33
			Desmodesmus	<i>Desmodesmus sp.</i>	1,39	107,11	108,50

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/cm ²)		Total
					Lluvias	Seca	
			Hariotina	<i>Hariotina sp.</i>		16,11	16,11
			Pectinodesmus	<i>Pectinodesmus sp.</i>		45,33	45,33
			Scenedesmus	<i>Scenedesmus sp.</i>	0,64	6,00	6,64
			Tetradesmus	<i>Tetradesmus sp.</i>		2,00	2,00
			Tetrallantos	<i>Tetrallantos sp.</i>		4,00	4,00
			Tetrastrum	<i>Tetrastrum sp.</i>	0,65		0,65
		Selenastraceae	Messastrum	<i>Messastrum sp.</i>		317,22	317,22
			Monoraphidium	<i>Monoraphidium sp.</i>	10,67	203,64	214,31
			Quadrigula	<i>Quadrigula sp.</i>		30,83	30,83
		Sphaeropleaceae	Ankyra	<i>Ankyra sp.</i>	6,53		6,53
Cyanobacteriota	Trentepohliales	Trentepohliaceae	Morfo 14	<i>Morfo 14</i>		71,94	71,94
	Ulotrichales	Ulotrichaceae	Ulothrix	<i>Ulothrix sp.</i>	36,67	30,00	66,67
	Chroococcales	Chroococcaceae	Chroococcus	<i>Chroococcus sp.</i>		11,11	11,11
	Gomontiellales	Gomontiellaceae	Komvophoron	<i>Komvophoron sp.</i>		146,17	146,17
	Leptolyngbyales	Leptolyngbyaceae	Heteroleibleinia	<i>Heteroleibleinia sp.</i>	178,61		178,61
			Leptolyngbya	<i>Leptolyngbya sp.</i>	9.077,23	11.457,94	20.535,17
			Planktolyngbya	<i>Planktolyngbya sp.</i>	2,70		2,70
	Nostocales	Aphanizomenonaceae	Anabaena	<i>Anabaena sp.</i>	115,56	16,79	132,35
		Hapalosiphonaceae	Hapalosiphon	<i>Hapalosiphon sp.</i>	43,06		43,06
	Oscillatoriales	Microcoleaceae	Homoeothrix	<i>Homoeothrix sp.</i>		33,89	33,89
			Lyngbya	<i>Lyngbya sp.</i>	12.133,04	516,06	12.649,09
		Oscillatoriaceae	Cf. Phormidium	<i>Cf. Phormidium sp.</i>		72,67	72,67
			Oscillatoria	<i>Oscillatoria sp.</i>		7,08	7,08
			Phormidium	<i>Phormidium sp.</i>	3.019,90	1.581,36	4.601,26
			Limnothrix	<i>Limnothrix sp.</i>		79,03	79,03
	Pseudanabaenales	Pseudanabaenaceae	Pseudanabaena	<i>Pseudanabaena sp.</i>	0,92		0,92

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/cm ²)		Total
					Lluvias	Seca	
			Morfo 22	<i>Morfo 22</i>		30,83	30,83
Euglenophyta	Euglenales	Euglenaceae	Cf. Cryptoglana	<i>Cf. Cryptoglana sp.</i>		116,11	116,11
			Cryptoglana	<i>Cryptoglana sp.</i>		61,67	61,67
			Euglena	<i>Euglena sp.</i>		85,50	85,50
			Trachelomonas	<i>Trachelomonas sp.</i>	13,89	13,06	26,94
		Phacaceae	Lepocinclis	<i>Lepocinclis acus</i>		4,44	4,44
				<i>Lepocinclis sp.</i>	43,88	49,03	92,91
			Phacus	<i>Phacus sp.</i>	0,65	4,44	5,10
Heterokontophyta	Achnanthes	Achnanthaceae	Achnanthes	<i>Achnanthes sp.</i>	58,45		58,45
		Achnanthidiaceae	Achnanthidium	<i>Achnanthidium sp.</i>		27.831,87	27.831,87
			Cf. Achnanthidium	<i>Cf. Achnanthidium sp.</i>	2.250,56		2.250,56
			Morfo 15	<i>Morfo 15</i>		62,22	62,22
		Cocconeidaceae	Cocconeis	<i>Cocconeis sp.</i>	67,69	2.024,56	2.092,24
	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	<i>Aulacoseira sp.</i>		10,00	10,00
	Bacillariales	Bacillariaceae	Cf. Denticula	<i>Cf. Denticula sp.</i>		16,67	16,67
			Hantzschia	<i>Hantzschia sp.</i>	18,74	8,06	26,79
			Nitzschia	<i>Nitzschia sp.</i>	15.881,27	5.5672,10	71.553,37
	Cymbellales	Cymbellaceae	Cymbella	<i>Cymbella sp.</i>	307,46	5.332,64	5.640,10
			Cymbopleura	<i>Cymbopleura sp.</i>		24,06	24,06
		Gomphonemataceae	Cf. Encyonema	<i>Cf. Encyonema sp.</i>		5,65	5,65
			Encyonema	<i>Encyonema sp.</i>	252,68	4.124,01	4.376,69
			Gomphonema	<i>Gomphonema sp.</i>	22.074,56	14.097,96	36.172,52
			Morfo 38	<i>Morfo 38</i>	8,83		8,83
	Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	<i>Eunotia sp.</i>	153,20	789,11	942,31
	Licmophorales	Ulnariaceae	Ulnaria	<i>Ulnaria sp.</i>	1.350,35	25.819,78	27.170,13
	Melosirales	Melosiraceae	Melosira	<i>Melosira sp.</i>	110,13	2.852,40	2.962,54

DIVISION	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/cm ²)		Total
					Lluvias	Seca	
		Orthoseiraceae	Orthoseira	<i>Orthoseira sp.</i>	24,31		24,31
	Naviculales	Amphipleuraceae	Amphipleura	<i>Amphipleura sp.</i>	14,58	663,99	678,57
			Frustulia	<i>Frustulia sp.</i>	3.578,15	4.344,51	7.922,65
			Halamphora	<i>Halamphora sp.</i>	35,22	1.211,95	1.247,17
		Diadesmidaceae	Luticola	<i>Luticola sp.</i>	357,83	278,92	636,75
		Diploneidaceae	Diploneis	<i>Diploneis sp.</i>	1,74		1,74
		Morfo 17	Morfo 17	<i>Morfo 17</i>		8.854,40	8.854,40
		Naviculaceae	Gyrosigma	<i>Gyrosigma sp.</i>	1,67	280,84	282,50
			Navicula	<i>Navicula sp.</i>	9.042,64	42.447,63	51.490,28
		Pinnulariaceae	Pinnularia	<i>Pinnularia sp.</i>	306,78	1.933,21	2.239,99
		Sellaphoraceae	Sellaphora	<i>Sellaphora sp.</i>	13,23	44,17	57,39
	Rhabdonematales	Tabellariaceae	Tabellaria	<i>Tabellaria sp.</i>		7,00	7,00
	Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithemia	<i>Epithemia sp.</i>		26,89	26,89
			Rhopalodia	<i>Rhopalodia sp.</i>	1.018,07	515,15	1.533,22
	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	Cyclotella	<i>Cyclotella sp.</i>	40,42	38,67	79,08
	Surirellales	Surirellaceae	Surirella	<i>Surirella sp.</i>	85,19	1.802,36	1.887,55
	Thalassiophysales	Catenulaceae	Amphora	<i>Amphora sp.</i>		33,06	33,06
Rhodophyta	Acrochaetiales	Audouinellaceae	Audouinella	<i>Audouinella sp.</i>	1.208,31	52,90	1.261,21
Total					115.146,13	226.202,67	341.348,80

Fuente: Integral S. A., 2025

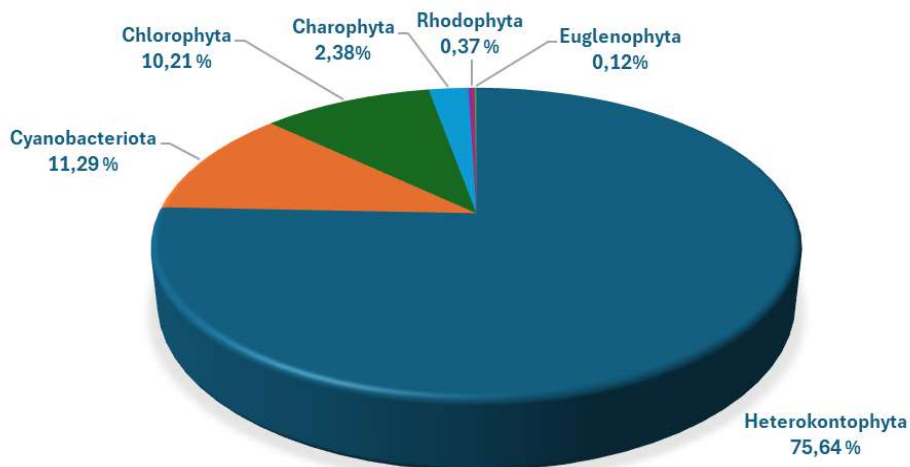


Figura 5.2.2.1.18 Porcentaje de representatividad de las divisiones de la comunidad de perifiton

Fuente: Integral S. A., 2025

En cuanto a la densidad por temporadas, se evidenció que durante la temporada seca la densidad de perifiton fue mayor (226.202,67 Ind/cm²) que durante la temporada lluvia (115.146,13 Ind/cm²). Ambas temporadas presentan la misma cantidad de divisiones, y Heterokontophyta permanece como la división más abundante, sin embargo, esta presenta mayor densidad en la temporada seca (201.153,81 Ind/cm²), que en la temporada de lluvias (57.053,73 Ind/cm²). Cyanobacteriota, por otra parte, presentó el segundo valor más alto de densidad durante la temporada seca, con 13.952,92 Ind/cm², mientras que en la temporada lluvia fue Chlorophyta la segunda división más densa con 26.585,90 Ind/cm².

En ambas temporadas, las divisiones menos representativas fueron Rhodophyta, en la temporada seca, con 52,90 Ind/cm² y Euglenophyta, en la temporada de lluvias, con 58,43 Ind/cm² (Véase la Figura 5.2.2.1.19).

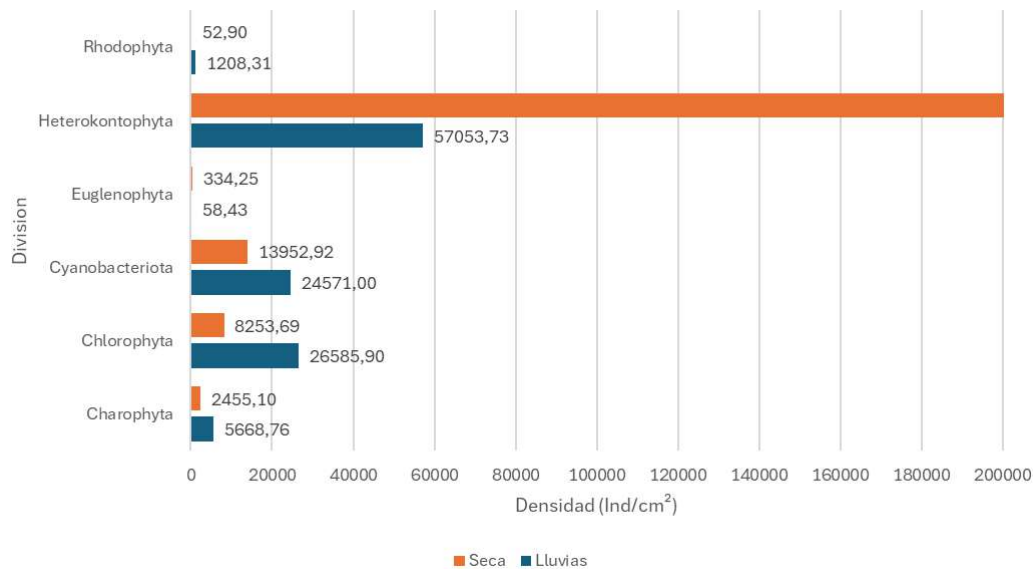


Figura 5.2.2.1.19 Densidad de perifiton por división y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

La riqueza específica también fue mayor para la temporada seca (675 morfoespecies) que para la temporada de lluvias (390 morfoespecies). En ambas temporadas, la división Heterokontophyta fue la más dominante, presentando mayor cantidad de morfoespecies durante el muestreo de la temporada seca (443) que durante la temporada lluvia (261). La segunda división con mayor riqueza varió según la temporada: Chlorophyta ocupó esta posición en época seca con 80 morfoespecies, mientras que Cyanobacteriota lo hizo en la temporada lluviosa con 57 morfoespecies (Véase la Figura 5.2.2.1.20).

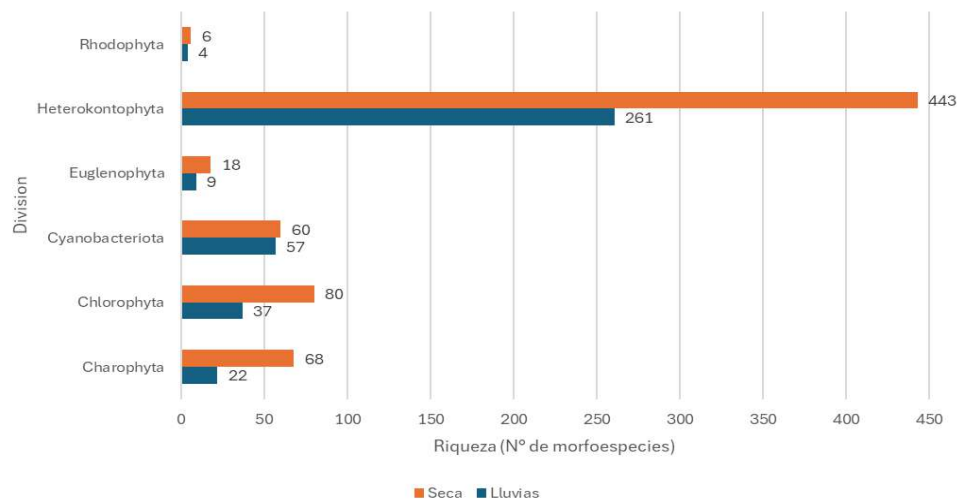


Figura 5.2.2.1.20 Riqueza de perifiton por división y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

La mayor densidad y riqueza del perifiton durante la temporada seca reflejan condiciones hidrológicas más estables y mayor disponibilidad de luz, que favorecen la acumulación de biomasa y la sucesión comunitaria; en contraste, las lluvias incrementan el caudal y la turbulencia, lo que genera desprendimiento del biofilm y reduce la penetración lumínica, limitando tanto la densidad como la riqueza específica (Biggs & Close, 1989; Larned, 2010; Casartelli, Lavagnolli, & Ferragut, 2016). La dominancia de Heterokontophyta en ambas temporadas coincide con estudios en sistemas andinos, donde las diatomeas son el grupo más representativo por su capacidad de colonizar sustratos y tolerar variaciones fisicoquímicas (Ramírez & Plata-Díaz, 2008; Martínez-Cuesta & Mosquera-Murillo, 2022). El cambio en la segunda división más abundante, Cyanobacteriota en época seca y Chlorophyta en lluvias, es consistente con la preferencia de las cianobacterias por ambientes cálidos, iluminados y estables, mientras que las clorófitas responden rápidamente a pulsos de nutrientes y disturbios (Larned, 2010; Pacheco, y otros, 2022). Finalmente, la baja representación de Rhodophyta y Euglenophyta es esperable, dado que las rodófitas son principalmente marinas y las euglenófitas se asocian a aguas lentas y enriquecidas orgánicamente, condiciones poco frecuentes en sistemas lóticos con caudales altos (Vis & Necchi, 2021; Lee, 2008).

B. Distribución espacial y temporal

De acuerdo con los aportes por punto de muestreo, se observó que en la temporada de lluvias los valores más importantes de densidad de perifiton fueron registrados para los puntos AN07 (22853,06 Ind/cm²), AN04 (14986,67 Ind/cm²), SA03 (11476,67 Ind/cm²) y P06 (8077,22 Ind/cm²), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.21 y la Figura 5.2.2.1.22. Estos cuatro puntos más representativos en conjunto aportan el 49,84% a la densidad total de la temporada de lluvias. Por otra parte, los puntos con menor densidad durante esta época de muestreo corresponden a G03 (43,43 Ind/cm²), P08 (20,45 Ind/cm²), N09 (16,51 Ind/cm²) y C03 (13,22 Ind/cm²). En cuanto a la riqueza específica durante esta temporada se encontró que P06 presentó el valor más alto con 22 morfoespecies identificadas, seguido de SA02 y P07 con 18, N08 con 17 y P04 con 15 morfoespecies. Durante esta temporada, los patrones de densidad y riqueza no coinciden entre sí, salvo en P06, que muestra valores representativos en ambas métricas.

En cuanto a la temporada seca los puntos con mayor densidad de perifiton correspondieron a P07 (15.668,34 Ind/cm²), AN08 (14690,83 Ind/cm²), P06 (13.483,33 Ind/cm²), N06 (12.897,556 Ind/cm²) y C03 (11.900,00 Ind/cm²), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.21 y la Figura 5.2.2.1.22. Estos puntos más representativos en conjunto aportan aproximadamente el 30,34% a la densidad total de la temporada seca. Por otra parte, los puntos con menor densidad durante esta época de muestreo corresponden a AN04 (398,20 Ind/cm²), N15 (327,78 Ind/cm²), N13 (233,29 Ind/cm²) y N05 (195,14 Ind/cm²). En cuanto a la riqueza específica, durante esta temporada se encontró que G05 presentó el valor más alto con 32 morfoespecies, seguido de N04 con 25, P06 con 24, P04 con 23 y tanto G03 como N12 presentaron 21 morfoespecies. Como se observa en la Figura 5.2.2.1.21 y la Figura 5.2.2.1.22, los patrones de densidad y riqueza no coinciden entre sí, salvo en P06, que muestra valores representativos en ambas métricas para esta temporada.

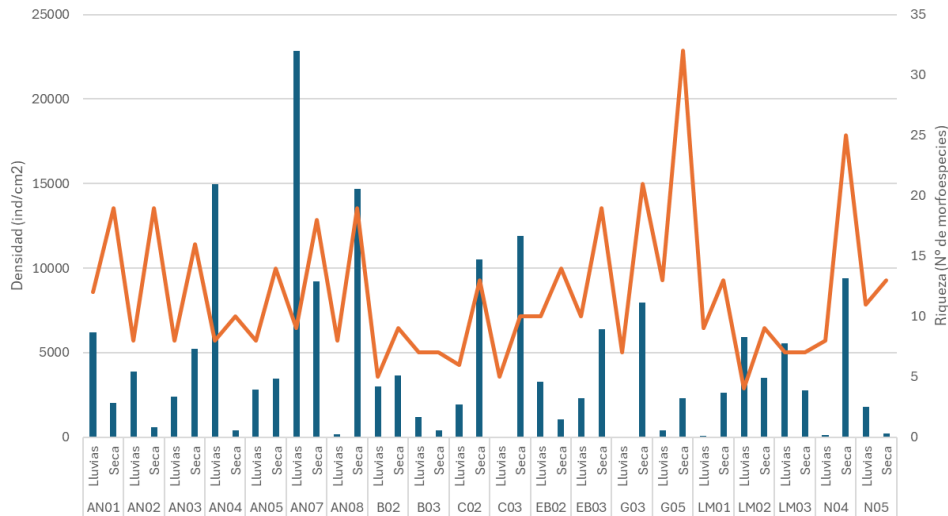


Figura 5.2.2.1.21 Distribución espacial y temporal de la comunidad de perifiton-parte 1
Fuente: Integral S. A., 2025

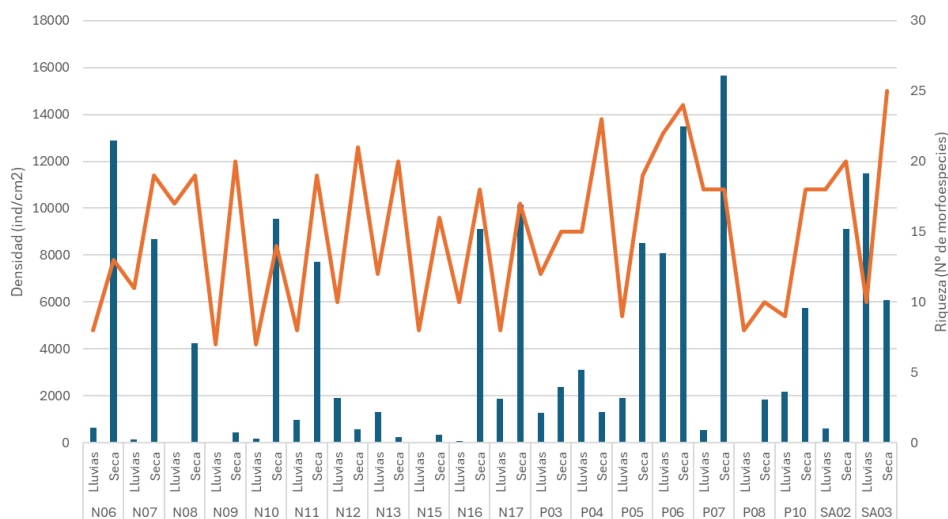


Figura 5.2.2.1.22 Distribución espacial y temporal de la comunidad de perifiton-parte 2
Fuente: Integral S. A., 2025

Respecto a los cuerpos de agua asociados a los puntos muestreados se encontró que el Río Nus (N06, N17, N10, N04, N16, N07, N11, N08, N12, N05, N13, N09 y N15) presentó la mayor densidad de perifiton con 82.503,53 Ind/cm², de los cuales la mayor representatividad está en la división Heterokontophyta (71.993,59 Ind/cm²).

La segunda densidad más alta la obtuvo la Quebrada La Palestina (P06, P07, P05, P10, P04 y P03), con 64.180,31 Ind/cm², de los cuales 56.481,28 Ind/cm² pertenecen a Heterokontophyta.

En tercer lugar, cuerpo de agua con mayor densidad fue el Afluente Nus 5 (AN07), para el cual se reportan 32.070,83 Ind/cm², de los cuales 14.703,61 Ind/cm² corresponden a Heterokontophyta.

El cuarto cuerpo de agua con mayor densidad es la Quebrada La Colorada (C02 y C03), la cual presentó 24.318,64 Ind/cm², de los cuales la mayor densidad la aportó la división Heterokontophyta (23.326,50 Ind/cm²). Los cuerpos de agua restantes presentaron densidades $\leq$ 21.626,71 Ind/cm², de estos el menos representativo fue el Afluente Quebrada La Palestina 1, el cual tiene asociado el punto de muestreo P08.

Al igual que en el análisis de densidad, el río Nus (N06, N17, N10, N04, N16, N07, N11, N08, N12, N05, N13, N09 y N15) y la quebrada La Palestina (P06, P07, P05, P10, P04 y P03) registraron los valores más altos de riqueza específica. El primero presentó 359 morfoespecies, mientras que el segundo alcanzó 202 morfoespecies. En ambos casos, la división Heterokontophyta fue la más dominante. En tercer lugar, se ubicaron la quebrada Guacas (G03 y G05) y la quebrada San Antonio (SA02 y SA03), con 73 morfoespecies cada una, donde también predominó la división Heterokontophyta. Los cuerpos de agua restantes presentaron riquezas específicas iguales o inferiores a 53 morfoespecies. El menos representativo fue el Afluente Quebrada La Palestina 1, con el valor más bajo registrado.

C. Índices ecológicos (diversidad alfa y beta)

En la Tabla 5.2.2.1.7, en la Figura 5.2.2.1.23 y en la Figura 5.2.2.1.24 se presentan los valores obtenidos de los índices de diversidad (calculados a partir de los valores de composición y número de organismos, por punto), para la comunidad de perifiton identificada en los puntos y temporadas de muestreo.

De acuerdo con los índices ecológicos aplicados a la comunidad de perifiton en dos temporadas (lluvia y seca) para los puntos de muestreo establecidos (Tabla 5.2.2.1.7), se pudo evidenciar un patrón global claro: la temporada seca presentó, en promedio, mayor diversidad y menor dominancia respecto a la temporada de lluvias, mientras que la equidad se mantuvo muy similar entre ambas. Los promedios por temporada indican que en lluvias $H' = 1,19$ y $D = 0,46$, mientras que en seca $H' = 1,45$ y $D = 0,40$; la equidad fue 0,53 en lluvias y 0,51 en seca, evidenciando que las comunidades tienden a diversificarse y a reducir la dominancia en el periodo seco, con una equidad prácticamente estable.

Tabla 5.2.2.1.7 Índices de diversidad de la comunidad perifítica por puntos y temporada de muestreo

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/cm ²)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
AN01	Lluvia	12	6.204,45	0,61	1,00	0,40
	Seca	19	1.999,86	0,33	1,66	0,56
AN02	Lluvia	8	3.890,56	0,33	1,43	0,69
	Seca	19	601,78	0,53	1,25	0,42
AN03	Lluvia	8	2.396,11	0,79	0,49	0,24
	Seca	16	5.222,78	0,54	1,19	0,43
AN04	Lluvia	8	14.986,67	0,91	0,27	0,13
	Seca	10	398,20	0,58	0,98	0,42
AN05	Lluvia	8	2.797,41	0,69	0,66	0,32

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/cm ²)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
	Seca	14	3.444,44	0,39	1,35	0,51
AN07	Lluvia	9	22.853,06	0,34	1,28	0,58
	Seca	18	9.217,78	0,39	1,23	0,43
AN08	Lluvia	8	186,00	0,67	0,81	0,39
	Seca	19	14.690,83	0,32	1,69	0,57
B02	Lluvia	5	2.983,33	0,81	0,44	0,28
	Seca	9	3.635,28	0,60	0,78	0,35
B03	Lluvia	7	1.170,65	0,69	0,69	0,36
	Seca	7	408,36	0,62	0,81	0,42
C02	Lluvia	6	1.907,92	0,50	0,82	0,46
	Seca	13	10.497,50	0,47	1,02	0,40
C03	Lluvia	5	13,22	0,36	1,26	0,78
	Seca	10	11.900,00	0,85	0,41	0,18
EB02	Lluvia	10	3.277,78	0,33	1,36	0,59
	Seca	14	1.040,00	0,29	1,61	0,61
EB03	Lluvia	10	2.293,33	0,25	1,75	0,76
	Seca	19	6.393,33	0,21	2,09	0,71
G03	Lluvia	7	43,43	0,20	1,76	0,91
	Seca	21	7.957,00	0,25	1,73	0,57
G05	Lluvia	13	419,75	0,52	1,17	0,46
	Seca	32	2.314,00	0,19	2,19	0,63
LM01	Lluvia	9	66,00	0,33	1,42	0,65
	Seca	13	2.642,50	0,21	1,92	0,75
LM02	Lluvia	4	5.940,28	0,66	0,61	0,44
	Seca	9	3.496,20	0,48	1,10	0,50
LM03	Lluvia	7	5.527,50	0,70	0,68	0,35
	Seca	7	2.744,07	0,82	0,44	0,23
N04	Lluvia	8	97,13	0,30	1,50	0,72
	Seca	25	9.376,67	0,20	2,07	0,64
N05	Lluvia	11	1.771,25	0,49	1,10	0,46
	Seca	13	195,14	0,18	2,03	0,79
N06	Lluvia	8	627,78	0,87	0,37	0,18
	Seca	13	12.897,56	0,26	1,65	0,64
N07	Lluvia	11	123,68	0,14	2,11	0,88
	Seca	19	8.677,17	0,27	1,71	0,58
N08	Lluvia	17	48,31	0,19	2,13	0,75
	Seca	19	4.256,33	0,23	1,86	0,63
N09	Lluvia	7	16,51	0,22	1,67	0,86
	Seca	20	451,58	0,23	2,00	0,67

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/cm ²)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
N10	Lluvia	7	167,01	0,67	0,78	0,40
	Seca	14	9.556,89	0,46	1,12	0,42
N11	Lluvia	8	978,75	0,39	1,25	0,60
	Seca	19	7.697,67	0,40	1,29	0,44
N12	Lluvia	10	1.890,19	0,46	1,24	0,54
	Seca	21	572,50	0,28	1,77	0,58
N13	Lluvia	12	1.290,00	0,44	1,25	0,50
	Seca	20	233,29	0,68	0,89	0,30
N15	Lluvia	8	53,13	0,26	1,71	0,82
	Seca	16	327,78	0,22	1,91	0,69
N16	Lluvia	10	75,70	0,22	1,77	0,77
	Seca	18	9.100,00	0,30	1,70	0,59
N17	Lluvia	8	1.860,42	0,70	0,64	0,31
	Seca	17	10.161,11	0,24	1,81	0,64
P03	Lluvia	12	1.276,55	0,54	0,91	0,37
	Seca	15	2.380,49	0,64	0,94	0,35
P04	Lluvia	15	3.117,50	0,22	1,96	0,73
	Seca	23	1.310,83	0,13	2,42	0,77
P05	Lluvia	9	1.900,00	0,82	0,51	0,23
	Seca	19	8.513,20	0,37	1,37	0,47
P06	Lluvia	22	8.077,22	0,30	1,62	0,53
	Seca	24	13.483,33	0,39	1,55	0,49
P07	Lluvia	18	549,11	0,28	1,68	0,58
	Seca	18	15.668,34	0,42	1,40	0,48
P08	Lluvia	8	20,45	0,29	1,60	0,77
	Seca	10	1.833,34	0,84	0,45	0,19
P10	Lluvia	9	2.171,53	0,37	1,22	0,55
	Seca	18	5.732,22	0,45	1,41	0,49
SA02	Lluvia	18	599,83	0,31	1,65	0,57
	Seca	20	9.109,45	0,49	1,36	0,46
SA03	Lluvia	10	11.476,67	0,48	1,02	0,44
	Seca	25	6.063,89	0,25	1,94	0,60

Fuente: Integral S. A., 2025

Durante la temporada de lluvias, los puntos N07, N08, G03, N16, P04, N09, EB03, N15 y P08 presentaron valores de dominancia bajos ($D \approx 0,14 - 0,29$), acompañados de diversidad intermedia ($H' \approx 1,60-2,13$) y equitatividad moderada a alta ($J' \approx 0,72-0,91$), lo que indica una estructura comunitaria relativamente equilibrada y con menor concentración de abundancias en pocas especies. Durante la temporada seca, se mantuvieron valores representativos en los puntos P04, EB03, N15, N08 y N09, y se sumaron N05, G05, N04, LM01 y N17, conformando un grupo que exhibió baja dominancia ($D \approx 0,13-0,24$), alta

diversidad ($H' \approx 1,81-2,42$) y equitatividad intermedia ($J' \approx 0,63-0,79$). Estos resultados reflejan que, en condiciones de menor caudal, las comunidades perifíticas tienden a diversificarse y distribuirse de manera más homogénea, reduciendo la dominancia de unos pocos taxa (véase la Figura 5.2.2.1.23 y la Figura 5.2.2.1.24).

Durante la temporada de lluvias, los puntos AN04, N06, P05, AN03 y B02 presentaron los valores más elevados de dominancia ($D \approx 0,79-0,91$), acompañados de baja diversidad de Shannon ($H' \approx 0,27-0,51$) y equitatividad reducida ($J' \approx 0,13-0,28$). Estos resultados evidencian comunidades fuertemente dominadas por unas pocas especies y con distribución desigual de abundancias. Entre ellos, el punto B02 mostró una ligera mejora en la temporada seca, reduciendo su dominancia a un nivel intermedio ($D = 0,60$), aunque mantuvo una diversidad baja ($H' = 0,78$) y una equitatividad limitada ($J' = 0,35$), lo que indica condiciones persistentes de dominancia (véase la Figura 5.2.2.1.23 y la Figura 5.2.2.1.24).

Por su parte, durante la temporada seca, los puntos C03, P08 y LM03 registraron los valores más altos de dominancia ($D \approx 0,82-0,84$), junto con las menores cifras de diversidad ($H' \approx 0,41-0,45$) y equitatividad ($J' \approx 0,18-0,23$). Este comportamiento confirma que, en estos sitios, la estructura comunitaria se concentra en pocas especies, manteniendo una baja heterogeneidad y una distribución poco equitativa.

El análisis de variación estacional evidenció incrementos significativos en diversidad durante la temporada seca en puntos como AN02, AN08, LM01, P05 y SA03, asociados a reducciones en dominancia y mejoras en equitatividad, lo que sugiere una estructura comunitaria más equilibrada en condiciones de menor caudal. Estos cambios podrían estar relacionados con la disminución del arrastre y la mayor estabilidad del hábitat en periodos secos, factores que favorecen el establecimiento y permanencia de un mayor número de taxa de perifiton. Por otro lado, se identificaron puntos que mostraron condiciones críticas en seca, como AN03, P08 y C03, donde se registraron disminuciones marcadas en diversidad, acompañadas de aumentos en dominancia y reducciones en equitatividad, indicando comunidades más simplificadas y dominadas por pocas especies. Estos sitios reflejan una respuesta opuesta a la tendencia general y podrían estar influenciados por factores locales como cambios en el sustrato, cobertura riparia o disponibilidad de nutrientes.

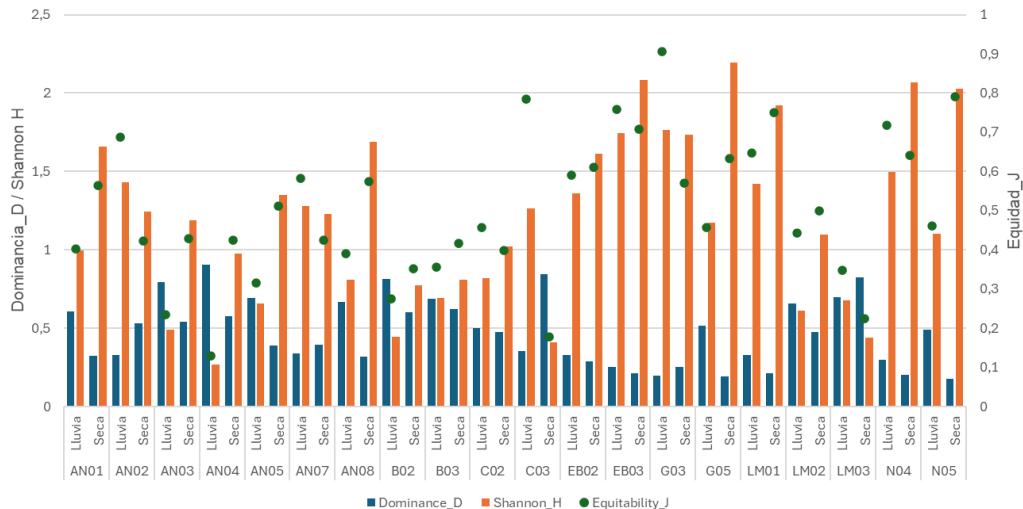


Figura 5.2.2.1.23 Índices de diversidad de la comunidad periférica por puntos y temporada de muestreo – Parte 1
Fuente: Integral S. A., 2025

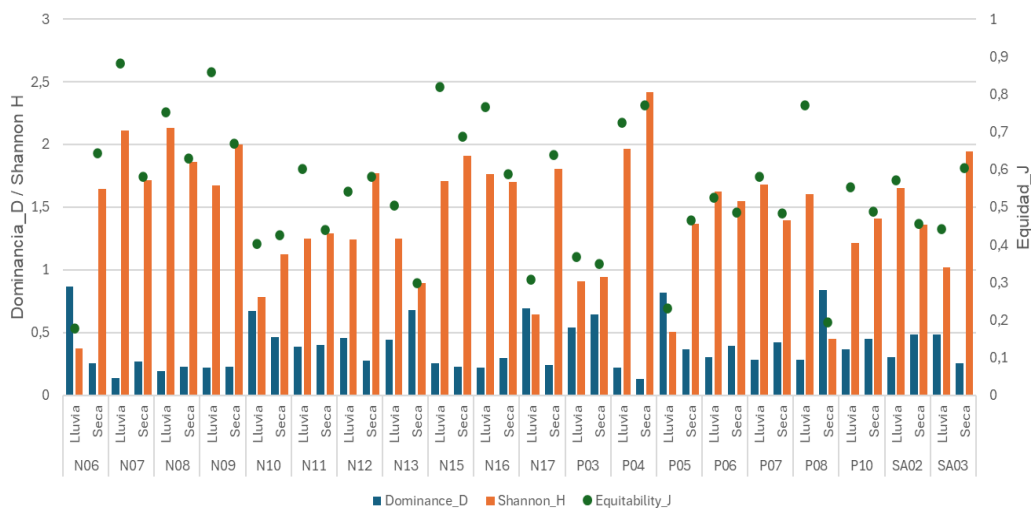


Figura 5.2.2.1.24 Índices de diversidad de la comunidad periférica por puntos y temporada de muestreo – Parte 2
Fuente: Integral S. A., 2025

El dendrograma construido a partir de la matriz de similitud de Bray–Curtis muestra un patrón de agrupamiento que refleja de manera clara la influencia de la temporada climática sobre la densidad y estructura del perifiton en las diferentes estaciones de muestreo.

Las muestras correspondientes al periodo de lluvias y el periodo seco tienden a separarse en clústeres relativamente consistentes. Los clústeres formados por puntos del periodo seco presentan niveles de similitud más altos (aprox. >45% – 70%) en comparación con el periodo de lluvias.

Esto coincide con lo esperado ecológicamente: durante la época seca, el sistema presenta mayor estabilidad hidrológica, niveles más constantes de luz y menor arrastre mecánico, condiciones que favorecen el establecimiento y permanencia del perifiton.

Se evidencia además que el punto P06 en época de lluvia no presentó ninguna similitud con los demás puntos aislándose en un único grupo aparte con una similitud cercana al 0%. Los puntos con mayor similitud, debido a que comparten presencia de taxas, son los puntos LM02 y LM03 en época de lluvias, seguido de AN05 en lluvias y LM03 en seco con porcentajes del 80% aproximadamente.

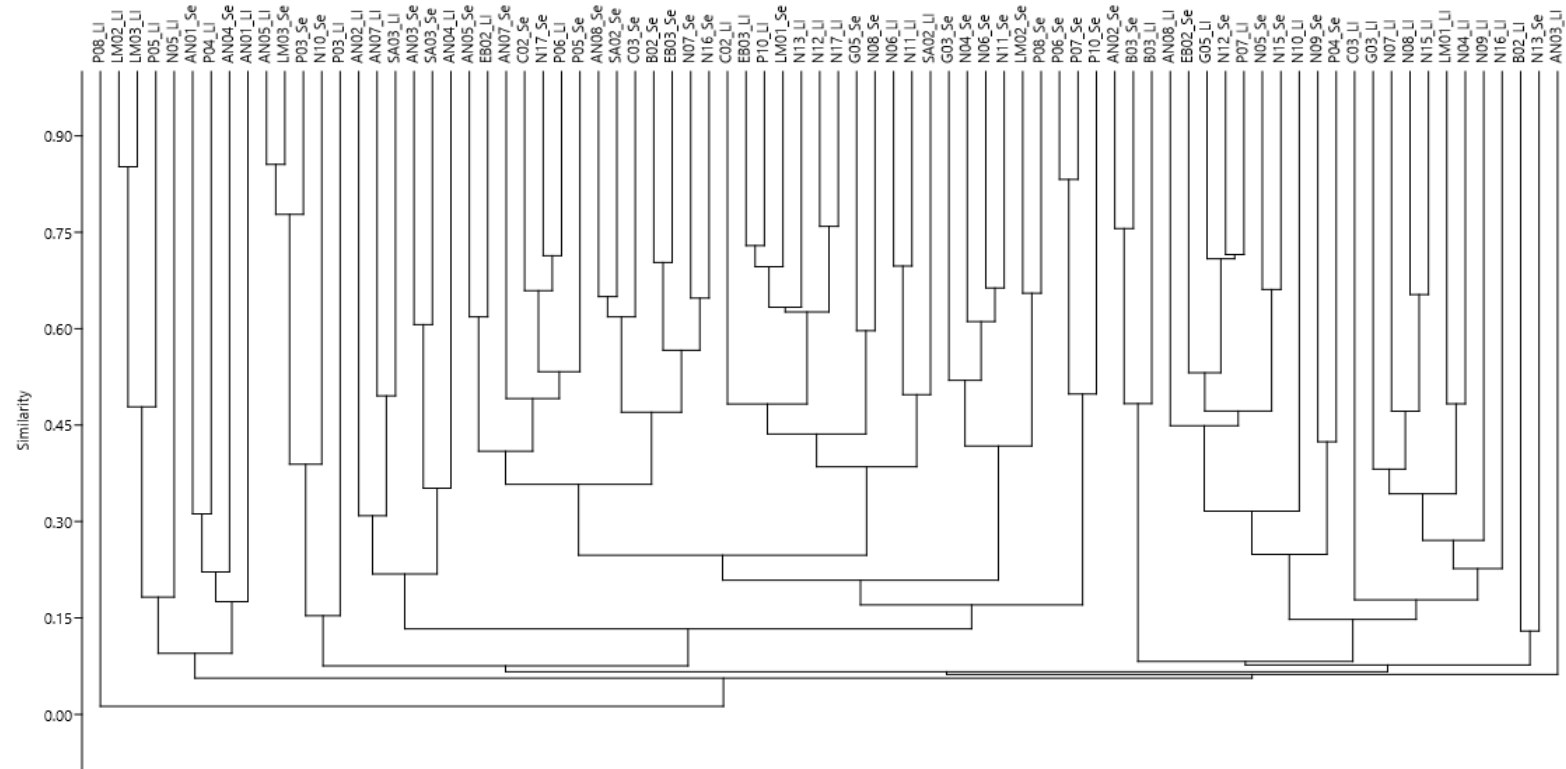


Figura 5.2.2.1.25 Dendrograma de similitud (índice Bray-Curtis) de la comunidad de perifiton en los puntos muestreados
Fuente: Integral S. A., 2025

5.2.2.1.5 Comunidad Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados acuáticos comprenden una amplia diversidad de grupos taxonómicos, entre los que se destacan Coleópteros, Efemerópteros, Dípteros, Tricópteros, Arácnidos, Crustáceos, Anélidos y estadios larvales de otros invertebrados (Pinilla, 2000). La composición de estas comunidades varía según el tipo de ecosistema, lo que determina la dominancia de ciertos grupos en función de las condiciones ambientales (Pardo, García, Delgado, Costas, & Abraín, 2010). Cada grupo, e incluso cada especie, presenta adaptaciones morfológicas, fisiológicas y comportamentales que les permiten ocupar sustratos específicos, como rocas, restos vegetales o sedimentos, lo que los convierte en indicadores privilegiados de la calidad del agua (Roldán, 2003).

Estas adaptaciones reflejan una estrecha relación con el hábitat, por lo que muchas especies son altamente sensibles a la degradación ambiental. Esta sensibilidad las hace fundamentales en estudios de composición y abundancia, ya que su respuesta ante cambios físicos y químicos permite evaluar el estado ecológico de los ecosistemas fluviales (Pardo, García, Delgado, Costas, & Abraín, 2010).

A. Composición y Estructura

La comunidad de macroinvertebrados evaluada durante las temporadas de lluvia y sequía presentó una densidad total de 19184,60 Ind/m², distribuida en 169 morfoespecies, 169 géneros, 77 familias, 23 órdenes, 10 clases y cuatro (4) phyla: Arthropoda, Mollusca, Annelida y Platyhelminthes (véase la Tabla 5.2.2.1.8). La información detallada de esta comunidad hidrobiológica se encuentra en el ANEXOS_CHARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS_BD_Hidrobiologicos

Entre los phyla identificados, Arthropoda fue el más abundante, con una densidad de 18.569,71 Ind/m², equivalente al 96,79% del total. Le siguió Mollusca, con 444,12 Ind/m² (2,31%), Annelida con 88,95 Ind/m² (0,46%), y finalmente, Platyhelminthes con 81,83 Ind/m² (0,43%), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.26.

Tabla 5.2.2.1.8 Composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos registrados durante época seca y lluvia

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/m ²)		Total
					Lluvias	Seca	
Annelida	Arhynchobdellida	Hirudinidae	Morfo 111	<i>Morfo 111</i>		1,39	1,39
	Hirudinida	Glossiphoniidae	Morfo 7	<i>Morfo 7</i>	16,39	35,17	51,56
	Lumbriculida	Lumbriculidae	Morfo 36	<i>Morfo 36</i>	21,72	14,28	36,00
Arthropoda	Arachnida		Morfo 84	<i>Morfo 84</i>	1,33	4,17	5,50
	Coleoptera	Dryopidae	Elmoparnus	<i>Elmoparnus sp.</i>	2,78	6,95	9,72
		Dytiscidae	Anodocheilus	<i>Anodocheilus sp.</i>		1,39	1,39
			Celina	<i>Celina sp.</i>	1,39	1,33	2,72
			Desmopachria	<i>Desmopachria sp.</i>	1,39	1,39	2,78
			Hydrovatus	<i>Hydrovatus sp.</i>		1,33	1,33
			Laccodytes	<i>Laccodytes sp.</i>		4,17	4,17
			Laccophilus	<i>Laccophilus sp.</i>		1,39	1,39
		Elmidae	Austrelmis	<i>Austrelmis sp.</i>	1,33		1,33
			Austrolimnius	<i>Austrolimnius sp.</i>		7,95	7,95
			Cylloepus	<i>Cylloepus sp.</i>	12,50	87,50	100,00
			Disersus	<i>Disersus sp.</i>	1,39	1,33	2,72
			Gyrelmis	<i>Gyrelmis sp.</i>	16,67	39,33	56,00
			Heterelmis	<i>Heterelmis sp.</i>	101,28	238,00	339,28
			Hexacylloepus	<i>Hexacylloepus sp.</i>		1,33	1,33
			Hexanchorus	<i>Hexanchorus sp.</i>	1,33		1,33
			Huleechius	<i>Huleechius sp.</i>		22,22	22,22
			Macrelmis	<i>Macrelmis sp.</i>	20,83	144,67	165,50
			Microcylloepus	<i>Microcylloepus sp.</i>	112,17	623,94	736,11
			Morfo 106	<i>Morfo 106</i>	47,17	124,45	171,61
			Neocylloepus	<i>Neocylloepus sp.</i>	4,17	1,39	5,56
			Neoelmis	<i>Neoelmis sp.</i>		18,06	18,06

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/m ²)		Total
					Lluvias	Seca	
			Phanoceroides	<i>Phanoceroides sp.</i>	1,39		1,39
			Phanocerus	<i>Phanocerus sp.</i>	1,39	5,56	6,95
			Pharceonus	<i>Pharceonus sp.</i>	2,78		2,78
			Stegoelmis	<i>Stegoelmis sp.</i>		1,39	1,39
			Stenhelmoides	<i>Stenhelmoides sp.</i>	1,39	3,78	5,17
			Xenelmis	<i>Xenelmis sp.</i>	5,56		5,56
		Heteroceridae	Morfo 44	<i>Morfo 44</i>	1,33		1,33
		Hydraenidae	Hydraena	<i>Hydraena sp.</i>		25,89	25,89
		Hydrophilidae	Crenitis	<i>Crenitis sp.</i>		8,33	8,33
			Derallus	<i>Derallus sp.</i>	1,39		1,39
			Enochrus	<i>Enochrus sp.</i>		1,33	1,33
			Helobata	<i>Helobata sp.</i>		1,39	1,39
			Hemiosus	<i>Hemiosus sp.</i>		2,78	2,78
			Morfo 58	<i>Morfo 58</i>	5,56	13,89	19,45
			Paracymus	<i>Paracymus sp.</i>		2,67	2,67
			Tropisternus	<i>Tropisternus sp.</i>	8,33	1,33	9,67
		Lampyridae	Morfo 9	<i>Morfo 9</i>	1,39		1,39
		Lutrochidae	Lutrochus	<i>Lutrochus sp.</i>	1,33		1,33
		Lutrochidae	Morfo 66	<i>Morfo 66</i>	1,39	1,39	2,78
		Psephenidae	Morfo 59	<i>Morfo 59</i>		2,78	2,78
			Psephenops	<i>Psephenops sp.</i>		5,56	5,56
			Psephenus	<i>Psephenus sp.</i>	2,78	5,56	8,33
		Ptilodactylidae	Anchytarsus	<i>Anchytarsus sp.</i>	22,22	17,67	39,89
		Scirtidae	Morfo 112	<i>Morfo 112</i>	1,39	1,39	2,78
		Staphylinidae	Morfo 26	<i>Morfo 26</i>	1,33	8,33	9,67
	Collembola	Morfo 18	Morfo 18	<i>Morfo 18</i>		2,78	2,78

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/m ²)		Total
					Lluvias	Seca	
	Decapoda	Pseudothelphusidae	Morfo 90	<i>Morfo 90</i>		1,39	1,39
		Trichodactylidae	Morfo 97	<i>Morfo 97</i>		1,33	1,33
	Diptera	Cecidomyiidae	Morfo 133	<i>Morfo 133</i>		2,78	2,78
		Ceratopogonidae	Forcipomyia	<i>Forcipomyia sp.</i>	1,39	6,00	7,39
			Morfo 35	<i>Morfo 35</i>	56,33	369,72	426,06
		Chironomidae	Morfo 1	<i>Morfo 1</i>	760,94	7271,61	8032,56
			Stenochironomus	<i>Stenochironomus sp.</i>	5,56	13,56	19,11
		Culicidae	Anopheles	<i>Anopheles sp.</i>		1,39	1,39
			Morfo 55	<i>Morfo 55</i>		1,33	1,33
			Uranotaenia	<i>Uranotaenia sp.</i>		1,39	1,39
		Cylindrotomidae	Morfo 152	<i>Morfo 152</i>		1,39	1,39
		Dixidae	Dixella	<i>Dixella sp.</i>	1,39	2,78	4,17
		Empididae	Chelifera	<i>Chelifera sp.</i>		1,39	1,39
			Hemerodromia	<i>Hemerodromia sp.</i>	1,39	16,45	17,83
		Limoniidae	Hexatoma	<i>Hexatoma sp.</i>	18,00	41,33	59,33
			Limonia	<i>Limonia sp.</i>		11,11	11,11
			Morfo 130	<i>Morfo 130</i>	14,89	42,89	57,78
		Psychodidae	Maruina	<i>Maruina sp.</i>		6,00	6,00
			Psychoda	<i>Psychoda sp.</i>	4,17	1,00	5,17
		Sciaridae	Morfo 85	<i>Morfo 85</i>	1,33		1,33
		Simuliidae	Simulium	<i>Simulium sp.</i>	305,33	2569,11	2874,45
		Stratiomyidae	Nemotelus	<i>Nemotelus sp.</i>	1,33		1,33
			Odontomyia	<i>Odontomyia sp.</i>		2,78	2,78
		Tabanidae	Morfo 81	<i>Morfo 81</i>		11,11	11,11
	Ephemeroptera	Baetidae	Americabaetis	<i>Americabaetis sp.</i>	9,50	2,78	12,28
			Baetodes	<i>Baetodes sp.</i>	8,33	247,28	255,61

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/m ²)		Total
					Lluvias	Seca	
			Camelobaetidius	<i>Camelobaetidius sp.</i>	4,17	18,33	22,50
			Morfo 3	<i>Morfo 3</i>	19,39	103,72	123,11
		Caenidae	Caenis	<i>Caenis sp.</i>		31,89	31,89
		Leptohyphidae	Cabecar	<i>Cabecar sp.</i>		11,33	11,33
			Haplohyphes	<i>Haplohyphes sp.</i>	9,72	28,78	38,50
			Leptohyphes	<i>Leptohyphes sp.</i>	1,39	34,78	36,17
			Morfo 10	<i>Morfo 10</i>	161,94	189,44	351,39
			Tricorythodes	<i>Tricorythodes sp.</i>	12,50	608,28	620,78
		Leptophlebiidae	Farrodes	<i>Farrodes sp.</i>	15,28	15,28	30,56
			Morfo 87	<i>Morfo 87</i>	23,50	91,11	114,61
			Terpides	<i>Terpides sp.</i>	1,39	12,50	13,89
			Thraulodes	<i>Thraulodes sp.</i>	1,39	12,72	14,11
			Tikuna	<i>Tikuna sp.</i>		2,78	2,78
			Traverella	<i>Traverella sp.</i>		13,89	13,89
		Oligoneuriidae	Lachlania	<i>Lachlania sp.</i>		2,78	2,78
		Polymitarciidae	Morfo 151	<i>Morfo 151</i>		1,00	1,00
	Hemiptera	Belostomatidae	Belostoma	<i>Belostoma sp.</i>	28,95	14,11	43,06
			Lethocerus	<i>Lethocerus sp.</i>		1,39	1,39
		Corixidae	Neosigara	<i>Neosigara sp.</i>		1,33	1,33
		Gerridae	Brachymetra	<i>Brachymetra sp.</i>	2,72		2,72
			Eurygerris	<i>Eurygerris sp.</i>	1,39		1,39
			Limnogonus	<i>Limnogonus sp.</i>		1,39	1,39
			Morfo 4	<i>Morfo 4</i>		1,39	1,39
			Ovatametra	<i>Ovatametra sp.</i>	1,39		1,39
			Potamobates	<i>Potamobates sp.</i>	1,33		1,33
			Trepobates	<i>Trepobates sp.</i>	1,33		1,33

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/m ²)		Total
					Lluvias	Seca	
		Hebridae	Hebrus	<i>Hebrus sp.</i>		1,33	1,33
		Mesoveliidae	Mesoveloidea	<i>Mesoveloidea sp.</i>	5,56	8,56	14,11
		Micronectidae	Tenagobia	<i>Tenagobia sp.</i>	4,17	1,33	5,50
		Naucoridae	Ambrysus	<i>Ambrysus sp.</i>	6,83		6,83
			Cryphocricos	<i>Cryphocricos sp.</i>		9,72	9,72
			Limnocoris	<i>Limnocoris sp.</i>	89,17	233,33	322,50
			Morfo 69	<i>Morfo 69</i>		2,67	2,67
			Pelocoris	<i>Pelocoris sp.</i>		1,33	1,33
			Procryphocricos	<i>Procryphocricos sp.</i>		30,45	30,45
		Notonectidae	Buenoa	<i>Buenoa sp.</i>		2,78	2,78
			Martarega	<i>Martarega sp.</i>	5,50		5,50
		Veliidae	Rhagovelia	<i>Rhagovelia sp.</i>	36,83	68,84	105,67
	Lepidoptera	Crambidae	Morfo 37	<i>Morfo 37</i>	6,89	3,00	9,89
			Petrophila	<i>Petrophila sp.</i>	1,39	19,45	20,83
		Noctuidae	Morfo 13	<i>Morfo 13</i>		7,95	7,95
	Megaloptera	Corydalidae	Corydalus	<i>Corydalus sp.</i>	15,06	162,83	177,89
			Morfo 53	<i>Morfo 53</i>	2,78	6,00	8,78
	Morfo 22	Morfo 22	Morfo 22	<i>Morfo 22</i>		1,39	1,39
	Odonata	Calopterygidae	Hetaerina	<i>Hetaerina sp.</i>	33,67	32,44	66,11
		Coenagrionidae	Argia	<i>Argia sp.</i>	9,67	20,39	30,06
			Ischnura	<i>Ischnura sp.</i>		1,39	1,39
			Morfo 39	<i>Morfo 39</i>	11,11	4,17	15,28
		Gomphidae	Archaeogomphus	<i>Archaeogomphus sp.</i>		1,39	1,39
			Phyllocycla	<i>Phyllocycla sp.</i>		4,00	4,00
			Phyllogomphoides	<i>Phyllogomphoides sp.</i>	2,78	4,17	6,95
			Progomphus	<i>Progomphus sp.</i>		11,11	11,11

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/m ²)		Total
					Lluvias	Seca	
		Libellulidae	Brechmorhoga	<i>Brechmorhoga sp.</i>	16,67	37,50	54,17
			Elasmothermis	<i>Elasmothermis sp.</i>	4,00	17,67	21,67
			Erythrodiplax	<i>Erythrodiplax sp.</i>	1,39		1,39
			Gynothemis	<i>Gynothemis sp.</i>	11,11	60,78	71,89
			Macrothemis	<i>Macrothemis sp.</i>	5,56	4,00	9,56
			Morfo 67	<i>Morfo 67</i>	2,78		2,78
			Perithemis	<i>Perithemis sp.</i>	6,89		6,89
		Perilestidae	Perilestes	<i>Perilestes sp.</i>	1,33		1,33
		Platystictidae	Palaemnema	<i>Palaemnema sp.</i>		9,72	9,72
	Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	<i>Anacroneuria sp.</i>	22,17	184,61	206,78
	Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus	<i>Phylloicus sp.</i>	1,33	4,17	5,50
		Glossosomatidae	Mortoniella	<i>Mortoniella sp.</i>		9,95	9,95
		Helicopsychoidea	Helicopsyche	<i>Helicopsyche sp.</i>	1,33	1,39	2,72
		Hydrobiosidae	Atopsyche	<i>Atopsyche sp.</i>		12,50	12,50
		Hydropsychidae	Leptonema	<i>Leptonema sp.</i>	8,33	62,39	70,72
			Smicridea	<i>Smicridea sp.</i>	93,94	1321,22	1415,17
		Hydroptilidae	Alisotrichia	<i>Alisotrichia sp.</i>		10,94	10,94
			Hydroptila	<i>Hydroptila sp.</i>		248,67	248,67
			Leucotrichia	<i>Leucotrichia sp.</i>		19,56	19,56
			Metrichia	<i>Metrichia sp.</i>		15,28	15,28
			Neotrichia	<i>Neotrichia sp.</i>		2,78	2,78
			Oxyethira	<i>Oxyethira sp.</i>	2,78	163,89	166,67
		Leptoceridae	Nectopsyche	<i>Nectopsyche sp.</i>	5,50	22,17	27,67
			Oecetis	<i>Oecetis sp.</i>		17,89	17,89
		Philopotamidae	Chimarra	<i>Chimarra sp.</i>	20,83	114,89	135,72
		Polycentropodidae	Cernotina	<i>Cernotina sp.</i>		8,17	8,17

PHYLUM	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MORFOESPECIE	Densidad (ind/m ²)		Total
					Lluvias	Seca	
			Polycentropus	<i>Polycentropus sp.</i>	1,33		1,33
			Polyplectropus	<i>Polyplectropus sp.</i>	1,39		1,39
		Xiphocentronidae	Morfo 140	<i>Morfo 140</i>		3,00	3,00
Mollusca	Ampullariida	Ampullariidae	Pomacea	<i>Pomacea sp.</i>	28,78	27,61	56,39
	Cerithiida	Thiaridae	Melanoides	<i>Melanoides sp.</i>	2,72	2,72	5,44
	Littorinida	Hydrobiidae	Morfo 105	<i>Morfo 105</i>	27,78	4,17	31,95
	Lymnaeida	Lymnaeidae	Lymnaea	<i>Lymnaea sp.</i>	1,39		1,39
		Physidae	Physa	<i>Physa sp.</i>	254,17	38,39	292,56
		Planorbidae	Ferrissia	<i>Ferrissia sp.</i>		14,89	14,89
			Morfo 75	<i>Morfo 75</i>	5,56	18,06	23,61
	Sphaeriida	Sphaeriidae	Eupera	<i>Eupera sp.</i>		5,56	5,56
			Pisidium	<i>Pisidium sp.</i>	8,33	4,00	12,33
Platyhelminthes	Dalrympleplanida	Temnocephalidae	Cf. Temnocephala	<i>Cf. Temnocephala chilensis</i>		2,78	2,78
	Tricladida	Dugesidae	Morfo 78	<i>Morfo 78</i>	22,22	56,83	79,06
Total					2.693,45	16.491,15	19.184,60

Fuente: Integral S. A., 2025

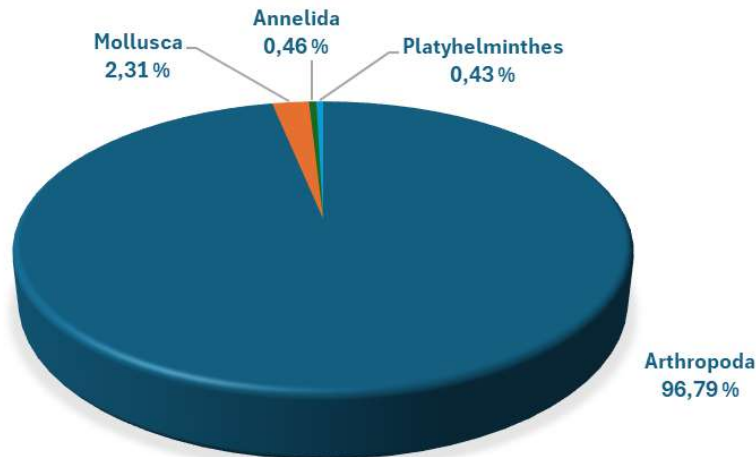


Figura 5.2.2.1.26 Porcentaje de representación por phylum en la comunidad de macroinvertebrados

Fuente: Integral S. A., 2025

La familia más abundante fue Chironomidae, con una densidad de 8.051,67 Ind/m² (41,87%). Esta familia pertenece al orden Díptera, que a su vez fue el más abundante con 11.547,17 Ind/m². Dentro de este orden se encuentra también la segunda familia más abundante, Simuliidae, la cual obtuvo una abundancia de 2.874,45 Ind/m² (14,98%). Dentro de estos taxa se encuentra las morfoespecies más dominantes, *Morfo 1* con una densidad total de 8.032,56 Ind/m² y *Simulium sp.* con una densidad total de 2.874,45 Ind/m².

La tercera familia más abundante fue Elmidae, con 1.652,23 Ind/m² (8,61%). Esta familia forma parte del orden Coleóptera, el tercero más representativo, con 1.824,46 Ind/m². En este grupo destaca la morfoespecie *Microcylloepus sp.*, que obtuvo la cuarta posición en densidad, con 736,11 Ind/m².

La cuarta familia más abundante fue Hydropsychidae, con 1.485,89 Ind/m² (7,75%). Esta familia forma parte del segundo orden más abundante, Trichoptera, el cual obtuvo una densidad total de 2.175,61 Ind/m². En este grupo destaca la morfoespecie *Smicridea sp.*, que obtuvo la tercera posición en densidad, con 1415,17 Ind/m².

Los resultados evidenciaron que la comunidad de macroinvertebrados estuvo conformada por los phyla Annelida, Arthropoda, Mollusca y Platyhelminthes en ambos muestreos, aunque su densidad varió entre temporadas. Arthropoda se mantuvo como el phylum dominante en las dos épocas, con una densidad significativamente mayor en la temporada seca (16.265,31 Ind/m²) frente a la lluviosa (2.304,39 Ind/m²). El segundo phylum más abundante fue Mollusca, presente en ambas temporadas, pero con mayor densidad en época de lluvias (328,72 Ind/m²) que en la seca (115,39 Ind/m²). En tercer lugar, se registró Platyhelminthes durante la temporada seca (59,61 Ind/m²), mientras que en la lluviosa esta posición fue ocupada por Annelida (38,11 Ind/m²). De esta manera, los phyla menos representativos fueron Annelida en la época seca y Platyhelminthes en la lluviosa (Véase la Figura 5.2.2.1.27).

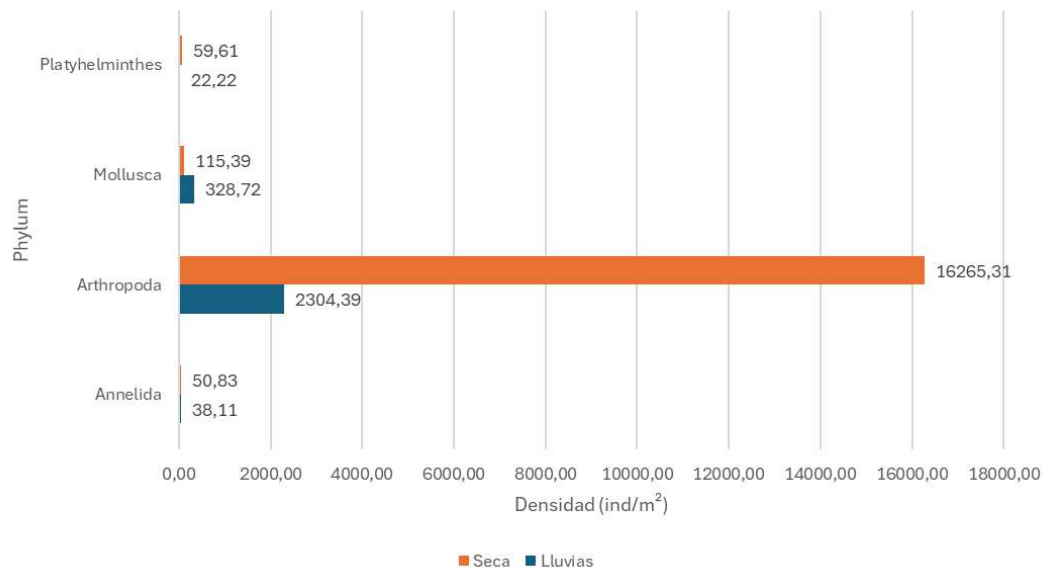


Figura 5.2.2.1.27 Densidad de macroinvertebrados por phylum y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

En cuanto a la riqueza específica, se observó que Arthropoda fue el phylum más diverso de macroinvertebrados en ambas temporadas, con un mayor número de morfoespecies en la época seca (619) frente a la lluviosa (334). El segundo grupo con mayor riqueza fue Mollusca, que registró 34 morfoespecies en la temporada seca y 25 en la lluviosa. Annelida ocupó el tercer lugar en ambas épocas, con 12 morfoespecies en la seca y 16 en la lluviosa. Finalmente, el grupo menos representativo fue Platyhelminthes, con 8 morfoespecies durante la temporada seca y 5 en la lluviosa (Véase la Figura 5.2.2.1.28).

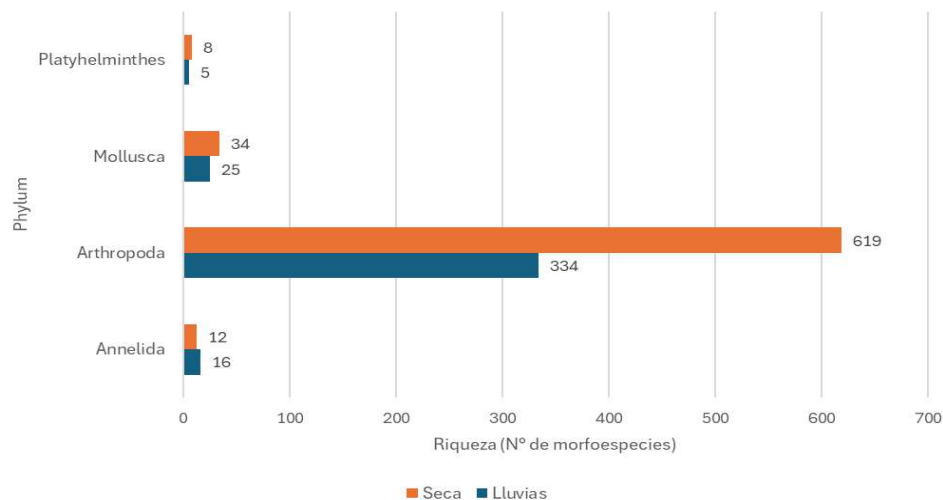


Figura 5.2.2.1.28 Riqueza de macroinvertebrados por phylum y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

La variación en densidad y riqueza de macroinvertebrados entre temporadas refleja el papel determinante del régimen hidrológico en la estructura comunitaria de sistemas lóticos tropicales. La mayor abundancia de Arthropoda en época seca se asocia a condiciones más estables y menor turbulencia, que favorecen la permanencia de organismos con ciclos de vida cortos y alta capacidad de dispersión (Hernández-Abrams, Connelly, Freeman, Gutiérrez-Fonseca, & Wenger, 2023; Quesada-Alvarado, Umaña-Villalobos, Springer, & Picado-Barboza, 2020). Durante la temporada lluviosa, el incremento del caudal y la fuerza de arrastre reduce la densidad total, pero ciertos grupos como Mollusca pueden beneficiarse de la mayor disponibilidad de microhábitats y nutrientes, lo que explica su incremento relativo (Mellado-Hernández, Rangel-Ruíz, & Gamboa-Aguilar, 2015). La riqueza específica sigue un patrón similar: Arthropoda domina en ambas temporadas por su diversidad funcional y adaptabilidad, mientras que Annelida y Platyhelminthes presentan valores bajos, probablemente debido a su preferencia por sustratos finos y aguas menos turbulentas, condiciones que se ven alteradas por las crecidas (López-Giraldo, Ríos-Pulgarín, & Gil-Guarín, 2023; Motta-Díaz, Ortega-Corredor, Niño-Fernández, & Aranguren-Riaño, 2016). Estos resultados concuerdan con estudios que señalan que las fluctuaciones de caudal y la heterogeneidad del hábitat son los principales factores que regulan la composición y diversidad de macroinvertebrados en ríos tropicales (Baumann, Scholl, Rantala, & Whiles, 2024).

B. Distribución espacial y temporal

De acuerdo con los aportes por punto de muestreo, se observó que en la temporada de lluvias los valores más importantes de densidad de macroinvertebrados bentónicos fueron registrados para los puntos P04 (655,56 Ind/m²), AN08 (347,23 Ind/m²), AN07 (236,11 Ind/m²), P06 (227,78 Ind/m²) y AN05 (159,72 Ind/m²), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.29 y la Figura 5.2.2.1.30. Estos puntos más representativos en conjunto aportan el 60,38% a la densidad total de la temporada de lluvias. Por otra parte, los puntos con menor densidad durante esta época de muestreo corresponden a AN01 (2,78 Ind/m²), G05 (2,67 Ind/m²), N09 (2,67 Ind/m²) y N17 (2,67 Ind/m²). Durante esta temporada, la mayor riqueza específica se registró en el punto P04 con 38 morfoespecies, seguido por P06 con 26, AN07 con 23 y, finalmente, P05 y N08 con 21 morfoespecies cada uno.

Como se aprecia en la Figura 5.2.2.1.29 y la Figura 5.2.2.1.30, los patrones de densidad y riqueza muestran una coincidencia notable: P04 alcanzó los valores más altos en ambas métricas, mientras que otros puntos como P06, AN07 y N08 también presentaron cifras destacadas tanto en densidad como en número de morfoespecies identificadas. Además, en esta temporada B02, B03 y C03 no obtuvieron registros de macroinvertebrados.

En cuanto a la temporada seca los puntos con mayor densidad de macroinvertebrados bentónicos correspondieron a N16 (1.931,94 Ind/m²), AN03 (1.820,00 Ind/m²), LM03 (1.359,72 Ind/m²), AN04 (1.092,00 Ind/m²), P07 (1.076,39 Ind/m²) y N04 (1.002,78 Ind/m²), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.29 y la Figura 5.2.2.1.30. Estos puntos más representativos en conjunto aportan aproximadamente el 50,23% a la densidad total de la temporada seca. Por el contrario, los valores más bajos se observaron en C02 (12,5 Ind/m²), N11 (9,39 Ind/m²) y B03 (4,17 Ind/m²). En cuanto a la riqueza específica, durante esta temporada se encontró que P07 presentó el valor más alto con 40 morfoespecies, seguido de N04 con 36, P05 y P04 con 34, G03 con 33 y P06 con 29 morfoespecies. Los patrones de densidad y riqueza no muestran una relación consistente, salvo en el caso de P07, que destaca por presentar valores representativos en ambas métricas.

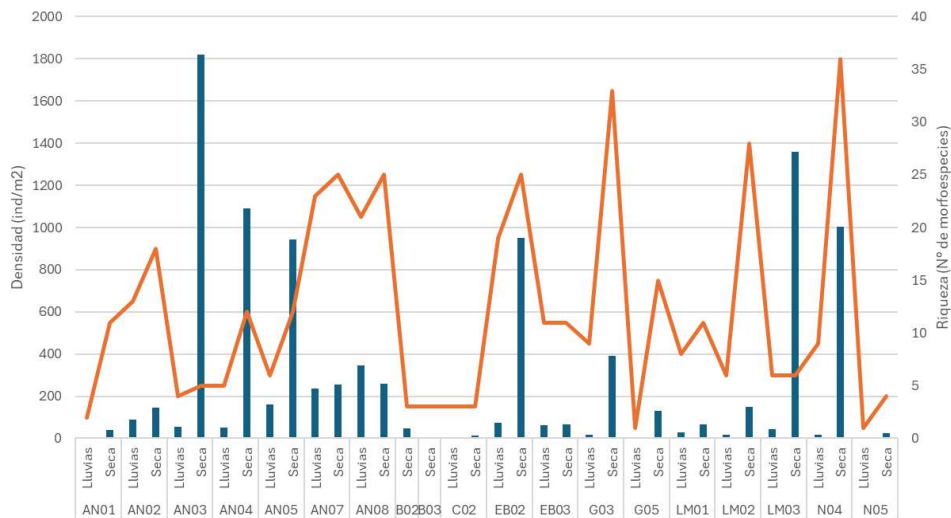


Figura 5.2.2.1.29 Distribución espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados - parte 1

Fuente: Integral S. A., 2025

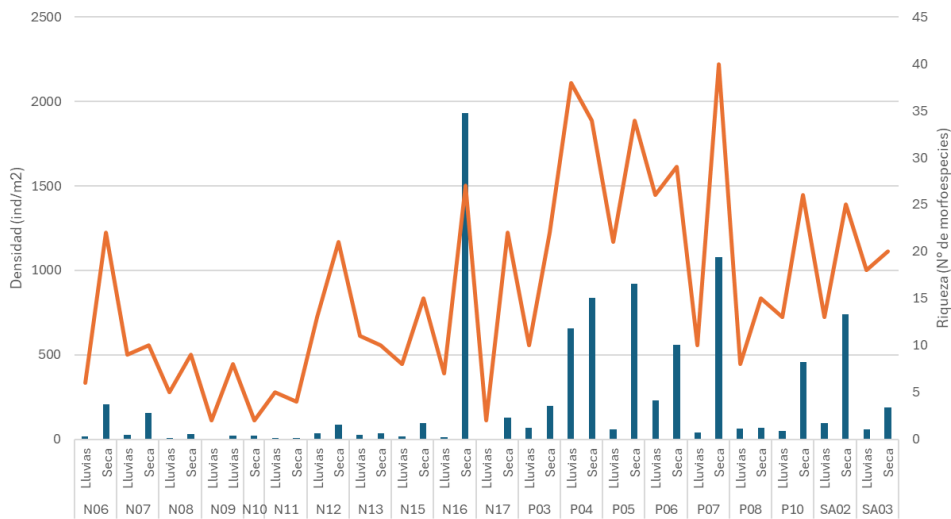


Figura 5.2.2.1.30 Distribución espacial y temporal de la comunidad de macroinvertebrados-parte 2

Fuente: Integral S. A., 2025

Respecto a los cuerpos de agua asociados a los puntos muestreados se encontró que la Quebrada La Palestina (P03, P04, P05, P06, P07 y P10) presentó la mayor densidad de macroinvertebrados con 5.145,87 Ind/m², de los cuales la mayor representatividad está en el phylum Arthropoda (5.059,75 Ind/m²). La segunda densidad más alta la obtuvo el Río Nus (N04, N05, N06, N07, N08, N09, N10, N11, N12, N13, N15, N16, N17) con 3.919,49 Ind/m², de los cuales 3.868,32 Ind/m² pertenecen a Arthropoda. El tercer cuerpo de agua con mayor densidad fue el Afluente Nus 4 (AN04 y AN05), para el cual se reportan 2.243,39

Ind/m², de los cuales 2.134,28 Ind/m² pertenecen a Arthropoda. El cuarto cuerpo de agua con mayor densidad corresponde al Afluente Nus 3 (AN03), el cual presentó 1.874,17 Ind/m², de los cuales la mayor densidad la aportó Arthropoda (1867,39 Ind/m²). Los cuerpos de agua restantes presentaron densidades $\leq 1.658,62$ Ind/m², de estos el menos representativo fue la Quebrada La Colorada, la cual tiene asociado el punto de muestreo C02.

Al igual que con la densidad, la Quebrada La Palestina (P03, P04, P05, P06, P07 y P10) presentó la mayor riqueza específica de macroinvertebrados con 303 morfoespecies, seguido del Río Nus (N04, N05, N06, N07, N08, N09, N10, N11, N12, N13, N15, N16, N17) con 268, la Quebrada San Antonio (SA02, SA03) obtuvo 76 y, en cuarto lugar, la Quebrada El Banco (EB02, EB03) con 66 morfoespecies. En todos estos cuerpos de agua el phylum dominante fue Arthropoda. Los cuerpos de agua restantes presentaron menos de 65 morfoespecies, y de estos los menos representativos fueron la Quebrada El Balsal (B02, B03) y la Quebrada La Colorada (C02).

C. Índices ecológicos (diversidad alfa y beta)

En la Tabla 5.2.2.1.9 en la Figura 5.2.2.1.31 y en la Figura 5.2.2.1.32 se presentan los valores obtenidos de los índices de diversidad (calculados a partir de los valores de composición y número de organismos, por punto), para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos identificada en los puntos y temporadas de muestreo.

De acuerdo con los índices ecológicos aplicados para esta comunidad bentónica en dos temporadas (lluvia y seca) para los puntos de muestreo establecidos (Tabla 5.2.2.1.9), se pudo inferir que, la temporada de lluvia presentó, en promedio, mayor diversidad y menor dominancia respecto a la temporada seca, al igual que la equidad la cual fue mayor en época de lluvias.

Tabla 5.2.2.1.9 Índices de diversidad de la comunidad macroinvertebrados acuáticos en los puntos y temporadas de muestreo

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/m ²)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
AN01	Lluvia	2	2,78	0,50	0,69	1,00
	Seca	11	38,66	0,30	1,73	0,72
AN02	Lluvia	13	88,89	0,44	1,40	0,55
	Seca	18	144,45	0,34	1,61	0,56
AN03	Lluvia	4	54,17	0,85	0,36	0,26
	Seca	5	1.820,00	0,99	0,03	0,02
AN04	Lluvia	5	50,00	0,66	0,72	0,45
	Seca	12	1.092,00	0,94	0,20	0,08
AN05	Lluvia	6	159,72	0,73	0,61	0,34
	Seca	12	941,67	0,85	0,41	0,17
AN07	Lluvia	23	236,11	0,26	2,03	0,65
	Seca	25	254,17	0,42	1,58	0,49
AN08	Lluvia	21	347,23	0,38	1,62	0,53
	Seca	25	259,73	0,47	1,53	0,48
B02	Seca	3	48,61	0,67	0,58	0,53

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/m ²)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
B03	Seca	3	4,17	0,33	1,10	1,00
C02	Lluvia	3	4,17	0,33	1,10	1,00
	Seca	3	12,50	0,41	1,00	0,91
EB02	Lluvia	19	72,22	0,09	2,63	0,89
	Seca	25	951,39	0,38	1,54	0,48
EB03	Lluvia	11	63,89	0,28	1,69	0,70
	Seca	11	65,28	0,20	1,92	0,80
G03	Lluvia	9	16,00	0,13	2,14	0,97
	Seca	33	392,00	0,19	2,46	0,71
G05	Lluvia	1	2,67	1,00	0,00	
	Seca	15	131,00	0,41	1,45	0,54
LM01	Lluvia	8	26,67	0,22	1,75	0,84
	Seca	11	66,67	0,36	1,43	0,59
LM02	Lluvia	6	15,28	0,24	1,59	0,89
	Seca	28	148,62	0,18	2,48	0,75
LM03	Lluvia	6	41,67	0,49	1,05	0,58
	Seca	6	1.359,72	0,99	0,05	0,03
N04	Lluvia	9	16,67	0,14	2,10	0,95
	Seca	36	1.002,78	0,16	2,39	0,67
N05	Lluvia	1	5,33	1,00	0,00	
	Seca	4	24,00	0,41	1,04	0,75
N06	Lluvia	6	17,33	0,23	1,61	0,90
	Seca	22	206,83	0,17	2,24	0,73
N07	Lluvia	9	24,00	0,21	1,87	0,85
	Seca	10	153,44	0,35	1,52	0,66
N08	Lluvia	5	6,67	0,20	1,61	1,00
	Seca	9	28,39	0,16	1,96	0,89
N09	Lluvia	2	2,67	0,50	0,69	1,00
N10	Lluvia	8	22,67	0,23	1,76	0,85
	Seca	2	22,33	0,89	0,23	0,33
N11	Lluvia	5	9,33	0,23	1,55	0,96
	Seca	4	9,39	0,45	1,05	0,76
N12	Lluvia	13	33,33	0,11	2,37	0,92
	Seca	21	85,33	0,12	2,57	0,84
N13	Lluvia	11	28,00	0,15	2,14	0,89
	Seca	10	34,67	0,27	1,75	0,76
N15	Lluvia	8	18,67	0,20	1,83	0,88
	Seca	15	93,33	0,32	1,66	0,61
N16	Lluvia	7	13,33	0,18	1,83	0,94

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals (Ind/m ²)	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
	Seca	27	1.931,94	0,49	1,29	0,39
N17	Lluvia	2	2,67	0,50	0,69	1,00
	Seca	22	126,39	0,08	2,78	0,90
P03	Lluvia	10	68,06	0,36	1,46	0,64
	Seca	22	197,22	0,23	2,16	0,70
P04	Lluvia	38	655,56	0,13	2,59	0,71
	Seca	34	837,50	0,22	2,08	0,59
P05	Lluvia	21	59,72	0,07	2,82	0,93
	Seca	34	920,84	0,30	1,79	0,51
P06	Lluvia	26	227,78	0,17	2,30	0,71
	Seca	29	556,95	0,11	2,68	0,80
P07	Lluvia	10	40,28	0,15	2,06	0,90
	Seca	40	1.076,39	0,14	2,67	0,72
P08	Lluvia	8	61,33	0,43	1,17	0,56
	Seca	15	68,06	0,22	2,03	0,75
P10	Lluvia	13	48,61	0,13	2,28	0,89
	Seca	26	456,95	0,21	2,01	0,62
SA02	Lluvia	13	93,06	0,16	2,10	0,82
	Seca	25	738,89	0,14	2,35	0,73
SA03	Lluvia	18	56,95	0,10	2,59	0,90
	Seca	20	188,89	0,19	2,14	0,71

Fuente: Integral S. A., 2025

Los promedios calculados para cada temporada muestran que, aunque la época seca presentó mayores valores de riqueza ($S = 17,1$) y abundancia ($\text{Ind/m}^2 = 540,1$), la estructura de la comunidad fue menos equilibrada, con un incremento notable en la dominancia ($D = 0,41$) y reducciones tanto en la diversidad ($H' = 1,62$) como en la equidad ($J' = 0,62$). En contraste, la temporada lluviosa registró mayores niveles de diversidad ($H' = 1,70$) y equidad ($J' = 0,78$), junto con una dominancia menor ($D = 0,35$), lo que indica comunidades más uniformes y mejor distribuidas. En conjunto, estos patrones sugieren que, pese al aumento de taxa en el periodo seco, la comunidad tiende a ser más desigual, mientras que durante las lluvias la estructura ecológica se mantiene más balanceada.

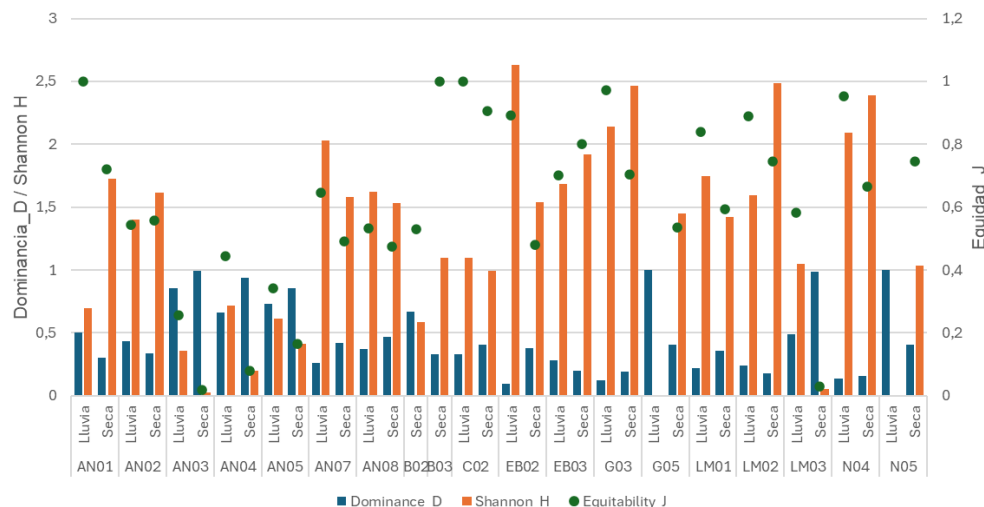


Figura 5.2.2.1.31 Índices de diversidad de la comunidad macroinvertebrados acuáticos en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 1
Fuente: Integral S. A., 2025

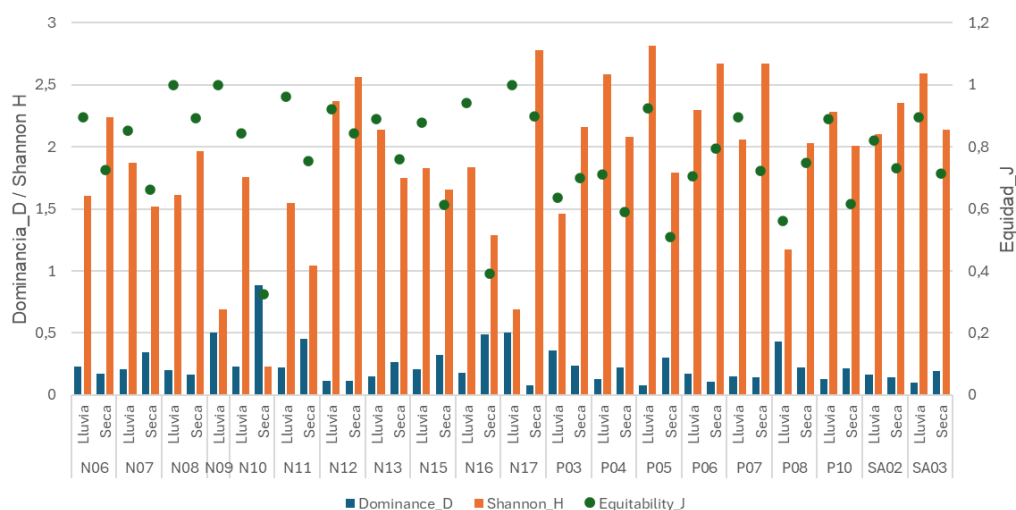


Figura 5.2.2.1.32 Índices de diversidad de la comunidad macroinvertebrados acuáticos en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 2
Fuente: Integral S. A., 2025

Como se puede observar en las Figura 5.2.2.1.31 y Figura 5.2.2.1.32, en varios puntos, particularmente AN03, AN04, LM03, N10 y N16, la época seca se caracterizó por un marcado incremento en la dominancia y una reducción significativa de la diversidad y la equidad, asociadas a la alta densidad de uno o pocos taxa tolerantes a la contaminación (*Chironomidae* M1 y *Simulium* sp). Estos patrones sugieren que el descenso de caudal y la mayor estabilidad hidrológica (menor velocidad y arrastre) favorecen el establecimiento de los organismos oportunistas, lo que genera que las comunidades estén más desbalanceadas y con menor complejidad ecológica.

No obstante, algunas estaciones como N12, G03, SA02, P06 y P07 mantuvieron condiciones favorables en ambas temporadas, mostrando altos valores de diversidad y buena distribución de abundancias, lo que evidencia hábitats más estables y con mayor capacidad para sostener comunidades complejas. Otras estaciones, como LM02, N06, N17 o P08, revelaron mejoras en la época seca, indicando que la respuesta ecológica es también dependiente de las características locales del hábitat.

En conjunto, los resultados muestran que, aunque la temporada seca incrementa la riqueza y la abundancia en la mayoría de las estaciones, la calidad ecológica es generalmente superior en la temporada de lluvias, cuando la comunidad presenta mayor equilibrio y menor dominancia. Esto refleja que la condición ecológica de las estaciones está influenciada tanto por la dinámica hidrológica estacional como por factores locales que determinan la capacidad de resiliencia y estabilidad de las comunidades de macroinvertebrados.



Figura 5.2.2.1.33 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los puntos muestreados

Fuente: Integral S. A., 2025

El dendrograma de similitud muestra que los puntos se agrupan principalmente de acuerdo con su abundancia de macroinvertebrados y en función de la estabilidad ecológica de cada sitio. En este se detallar claramente agrupaciones de puntos, no precisamente por época climática.

El punto N05 - Lluvia se encuentra completamente aislado de las demás agrupaciones, dada la composición de este punto en periodo de lluvias, lo que muestra una clara separación de este con los demás puntos, presentado una similaridad menor al 15%. Por su parte los puntos que presentan mayor similaridad son los puntos AN04 y AN 05 ambos en época seca, que presentan una similitud cercana al 90%, seguida de los puntos LM03 y AN03 en periodo seco igualmente. En general, se detalla que los puntos de muestreo, de acuerdo con la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, tuvieron similitudes inferiores al 75%, y no existen agrupaciones claras de acuerdo con la temporalidad climática.

D. Índice de calidad BMWP/Col

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5.2.2.1.10, durante la época seca, los puntos N04, N16, N17, EB02, N12, P10, P04, P05, LM02, G03, AN07, AN08, P06 y P07 mostraron una calidad de agua “buena” (Clase I), lo que indica la presencia de aguas limpias o muy limpias. En contraste, los puntos N13, N08, EB03, N06, N15, SA03, SA02, P03, AN04, AN02, LM01, P08 y G05 en la misma temporada, así como P06, N12, SA03, SA02 y P05 en la temporada de lluvias, presentaron una calidad de agua “aceptable” (Clase II), correspondiente a aguas ligeramente contaminadas. Por otra parte, se evidenció una disminución de la calidad en el grupo clasificado como “dudosa” (Clase III), el cual incluyó mayormente puntos de la temporada de lluvias (N04, N13, N10, P10, EB03, AN02, LM02, LM01, P07 y P03), junto a algunos de la temporada seca (N07, AN01 y AN05), indicando un nivel moderado de contaminación.

Finalmente, los puntos restantes evidenciaron las peores condiciones del recurso hídrico: un grupo heterogéneo conformado por LM03 (seca) y LM02, G03, P08 y N11 (lluvias) mostró calidad “crítica” (Clase IV). Por último, los puntos N10, C02, B03, B02 y N11 en época seca, y N05, N09, C02, N17, N08, AN03, AN01 y AN04 en lluvias, fueron clasificados como de calidad “muy crítica” (Clase V), lo que refleja, en la mayoría de los casos de estiaje, una contaminación severa del recurso hídrico.

En términos generales, los puntos monitoreados con las clasificaciones más bajas evidenciaron condiciones de contaminación en el recurso hídrico, reflejadas en la presencia dominante de familias de macroinvertebrados acuáticos como Chironomidae, Lumbriculidae, Glossiphoniidae, Psychodidae y Ceratopogonidae. Estas familias fueron registradas en unos de los sitios de mayor deterioro por registrar de los valores más altos de coliformes totales (como AN01 y LM03), destacándose Chironomidae y Lumbriculidae por su tolerancia a condiciones extremas. La ocurrencia de estos organismos está estrechamente vinculada con ambientes acuáticos degradados, caracterizados por alta carga orgánica, baja concentración de oxígeno disuelto y condiciones anóxicas, propias de ecosistemas impactados por actividades antropogénicas y estancamiento en época seca (Roldán, 2003).

Tabla 5.2.2.1.10 Índice BMWP/Col para la comunidad de macroinvertebrados en los puntos y temporadas de muestreo

PUNTO	TEMPORADA	PUNTAJE BMWP/COL	CALIDAD	INTERPRETACIÓN BMWP/COL	INTERPRETACIÓN ASPT	COLOR
N04	Seca	166	Buena	Clase I	Aguas ligeramente contaminadas	
N12	Seca	104	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
N16	Seca	121	Buena	Clase I	Aguas ligeramente contaminadas	
N17	Seca	125	Buena	Clase I	Aguas ligeramente contaminadas	
P10	Seca	135	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
P04	Seca	154	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
P04	Lluvia	128	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
P05	Seca	144	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
EB02	Seca	113	Buena	Clase I	Aguas ligeramente contaminadas	
LM02	Seca	113	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
G03	Seca	144	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
AN07	Seca	135	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
AN08	Seca	135	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
P06	Seca	125	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
P07	Seca	144	Buena	Clase I	Aguas moderadamente contaminadas	
N06	Seca	94	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
N12	Lluvia	61	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
N13	Seca	70	Aceptable	Clase II	Aguas ligeramente contaminadas	
N15	Seca	66	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
SA03	Seca	97	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
SA03	Lluvia	71	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
SA02	Seca	99	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
SA02	Lluvia	78	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
P05	Lluvia	99	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
P03	Seca	82	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
N08	Seca	61	Aceptable	Clase II	Aguas ligeramente contaminadas	
EB02	Lluvia	69	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	

PUNTO	TEMPORADA	PUNTAJE BMWP/COL	CALIDAD	INTERPRETACIÓN BMWP/COL	INTERPRETACIÓN ASPT	COLOR
EB03	Seca	61	Aceptable	Clase II	Aguas ligeramente contaminadas	
AN04	Seca	61	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
AN02	Seca	81	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
AN07	Lluvia	92	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
LM01	Seca	65	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
AN08	Lluvia	81	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
P08	Seca	79	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
P06	Lluvia	97	Aceptable	Clase II	Aguas ligeramente contaminadas	
G05	Seca	62	Aceptable	Clase II	Aguas moderadamente contaminadas	
N04	Lluvia	51	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
N07	Seca	49	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
N07	Lluvia	37	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
N13	Lluvia	49	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
N10	Lluvia	44	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
P10	Lluvia	53	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
P03	Lluvia	44	Dudosa	Clase III	Aguas muy contaminadas	
EB03	Lluvia	44	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
AN01	Seca	45	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
AN05	Seca	39	Dudosa	Clase III	Aguas muy contaminadas	
AN02	Lluvia	54	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
LM02	Lluvia	54	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
LM01	Lluvia	39	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
P07	Lluvia	50	Dudosa	Clase III	Aguas moderadamente contaminadas	
N06	Lluvia	24	Crítica	Clase IV	Aguas muy contaminadas	
N11	Lluvia	28	Crítica	Clase IV	Aguas ligeramente contaminadas	
N16	Lluvia	26	Crítica	Clase IV	Aguas muy contaminadas	
N15	Lluvia	23	Crítica	Clase IV	Aguas muy contaminadas	
AN03	Seca	18	Crítica	Clase IV	Aguas muy contaminadas	

PUNTO	TEMPORADA	PUNTAJE BMWP/COL	CALIDAD	INTERPRETACIÓN BMWP/COL	INTERPRETACIÓN ASPT	COLOR
N05	Seca	18	Crítica	Clase IV	Aguas muy contaminadas	
N03	Lluvia	20	Crítica	Clase IV	Aguas muy contaminadas	
AN05	Lluvia	19	Crítica	Clase IV	Aguas muy contaminadas	
LM03	Seca	29	Crítica	Clase IV	Aguas moderadamente contaminadas	
LM03	Lluvia	16	Crítica	Clase IV	Aguas fuertemente contaminadas	
LM02	Lluvia	31	Crítica	Clase IV	Aguas moderadamente contaminadas	
G03	Lluvia	34	Crítica	Clase IV	Aguas moderadamente contaminadas	
P08	Lluvia	34	Crítica	Clase IV	Aguas moderadamente contaminadas	
N09	Lluvia	10	Muy crítica	Clase V	Aguas moderadamente contaminadas	
N10	Seca	9	Muy crítica	Clase V	Aguas muy contaminadas	
N11	Seca	10	Muy crítica	Clase V	Aguas fuertemente contaminadas	
N17	Lluvia	7	Muy crítica	Clase V	Aguas muy contaminadas	
AN03	Lluvia	5	Muy crítica	Clase V	Aguas fuertemente contaminadas	
N05	Lluvia	8	Muy crítica	Clase V	Aguas ligeramente contaminadas	
N08	Lluvia	15	Muy crítica	Clase V	Aguas muy contaminadas	
AN01	Lluvia	2	Muy crítica	Clase V	Aguas fuertemente contaminadas	
AN04	Lluvia	12	Muy crítica	Clase V	Aguas fuertemente contaminadas	
C02	Seca	13	Muy crítica	Clase V	Aguas muy contaminadas	
C02	Lluvia	14	Muy crítica	Clase V	Aguas moderadamente contaminadas	
B03	Seca	13	Muy crítica	Clase V	Aguas muy contaminadas	
B02	Seca	12	Muy crítica	Clase V	Aguas muy contaminadas	

Fuente: Integral S. A., 2025

5.2.2.1.6 Comunidad Peces

Los peces son organismos acuáticos vertebrados que presentan una gran diversidad morfológica y funcional, adaptados tanto a ambientes marinos como continentales. Constituyen un componente esencial de los ecosistemas acuáticos, donde cumplen funciones ecológicas clave: regulan poblaciones de otros organismos, participan en el reciclaje de nutrientes y contribuyen al flujo de energía en las redes tróficas (Nelson, Grande, & Wilson, 2016; Helfman, Collette, & Facey, 2009). Además, su presencia y abundancia reflejan la salud del ecosistema, ya que responden a cambios en la calidad del agua, disponibilidad de hábitat y presión antrópica (Karr & Chu, 1999). Por estas razones,

los peces son considerados indicadores importantes de la integridad ecológica y desempeñan un papel fundamental en la estabilidad y resiliencia de los sistemas acuáticos.

A. Composición y Estructura

La comunidad de ictiofauna evaluada durante las temporadas lluvia y seca presentó una abundancia total de 1345 individuos, distribuidos en 23 especies, 18 géneros, 10 familias, 5 órdenes, la clase Teleostei y el phylum Chordata (véase la Tabla 5.2.2.1.11). La información detallada de esta comunidad hidrobiológica se encuentra en el ANEXOS_CHARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS_BD_Hidrobiologicos.

Entre los órdenes identificados, Cyprinodontiformes fue el más abundante, con 759 individuos, equivalente al 56,43% del total. Le siguió Cichliformes, con 419 individuos (31,15%), Characiformes con 139 individuos (10,33%), Siluriformes con 27 individuos (2,01%) y finalmente, Gymnotiformes con un (1) individuo (0,07%), tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.34.

La familia más abundante fue Poeciliidae, con 759 individuos (56,43%). Esta familia pertenece al orden Cyprinodontiformes, que a su vez fue el más representativo. Dentro de estos taxa se encuentra la especie más dominante, *Poecilia caucana* con una abundancia de 706 individuos.

La segunda familia más abundante fue Cichlidae, con 419 individuos (31,15%). Esta familia forma parte del orden Cichliformes, que a su vez es el segundo orden más representativo. En este grupo destacan las especies *Geophagus steindachneri* y *Andinoacara latifrons*, al obtener la segunda (254 individuos) y tercera abundancia más alta (144 individuos).

La tercera familia más abundante fue Characidae, con 126 individuos (9,37%). Esta familia forma parte del tercer orden más abundante, Characiformes. En este grupo destaca la especie *Astyanax sp.*, que obtuvo la cuarta posición en abundancia, con 55 individuos.

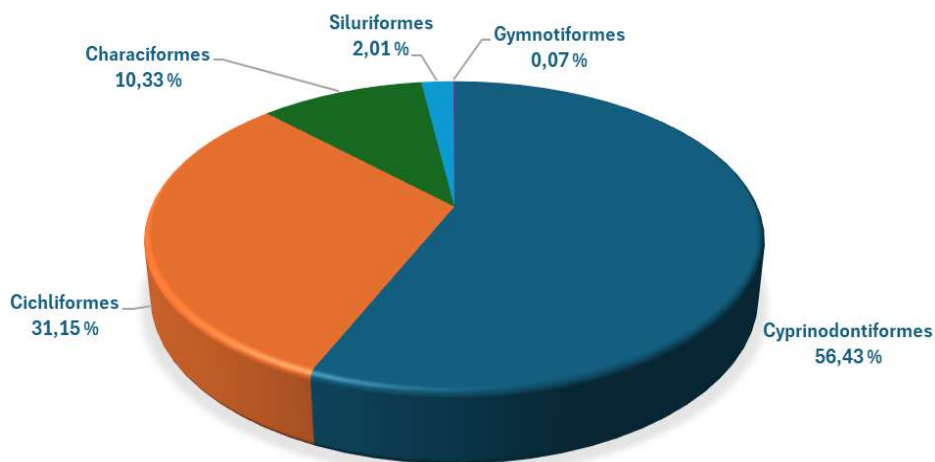


Figura 5.2.2.1.34 Porcentaje de representación por orden en la comunidad de peces
Fuente: Integral S. A., 2025

Tabla 5.2.2.1.11 Composición y estructura de la comunidad de peces registrados durante época seca y lluvia

ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	Abundancia		Total
				Lluvias	Seca	
Characiformes	Bryconidae	Brycon	<i>Brycon sp.</i>	8	5	13
	Characidae	Astyanax	<i>Astyanax sp.</i>	11	44	55
		Hemibrycon	<i>Hemibrycon sp.</i>		3	3
		Hyphessobrycon	<i>Hyphessobrycon natagaima</i>	15	3	18
			<i>Hyphessobrycon ocaseensis</i>	1		1
			<i>Hyphessobrycon proteus</i>	2	32	34
			<i>Hyphessobrycon sp.</i>		15	15
Cichliformes	Cichlidae	Andinoacara	<i>Andinoacara latifrons</i>	38	106	144
		Caquetaia	<i>Caquetaia kraussii</i>	1	19	20
		Geophagus	<i>Geophagus steindachneri</i>	111	143	254
		Oreochromis	<i>Oreochromis niloticus</i>	1		1
Cyprinodontiformes	Poeciliidae	Poecilia	<i>Cf. Poecilia caucana</i>		3	3
			<i>Poecilia caucana</i>	165	541	706
			<i>Poecilia reticulata</i>	17	26	43
			<i>Poecilia sp.</i>		7	7
Gymnotiformes	Sternopygidae	Sternopygus	<i>Sternopygus aequilabius</i>	1		1
Siluriformes	Astroblepidae	Astroblepus	<i>Astroblepus sp.</i>	1		1
	Heptapteridae	Imparfinis	<i>Imparfinis sp.</i>	1		1
	Loricariidae	Ancistrus	<i>Ancistrus sp.</i>	2	2	4
		Chaetostoma	<i>Chaetostoma sp.</i>	8		8
		Lasiancistrus	<i>Lasiancistrus caucanus</i>	1		1
	Pimelodidae	Megalonema	<i>Megalonema xanthum</i>	3	7	10
	Trichomycteridae	Trichomycterus	<i>Trichomycterus sp.</i>		2	2
Total				387	958	1345

Fuente: Integral S. A., 2025

Los resultados evidenciaron que la comunidad de peces estuvo conformada por los órdenes Cyprinodontiformes, Cichliformes, Characiformes, Siluriformes y Gymnotiformes durante la temporada de lluvias, mientras que en la temporada seca la comunidad presentó un orden menos: Gymnotiformes. De estos órdenes, Cyprinodontiformes fue dominante en ambas temporadas, siendo mayor la cantidad de individuos en la temporada seca (577) que en la temporada lluvia (182). El segundo orden más representativo fue Cichliformes, con 268 individuos reportados en la temporada seca y 151 durante la temporada de lluvias. Characiformes obtuvo el tercer valor de abundancia más alto en ambas temporadas con 102 individuos en la temporada seca y 37 durante la temporada de lluvias. Siluriformes obtuvo la menor representatividad durante la temporada seca al reportar 11 individuos; de igual manera este orden fue poco abundante durante la temporada de lluvias, reportando 16 individuos. En la temporada de lluvias también se identificó el orden Gymnotiformes, el cual presenta la menor representatividad durante esta época de muestreo con un (1) individuo reportado (Véase la Figura 5.2.2.1.35).

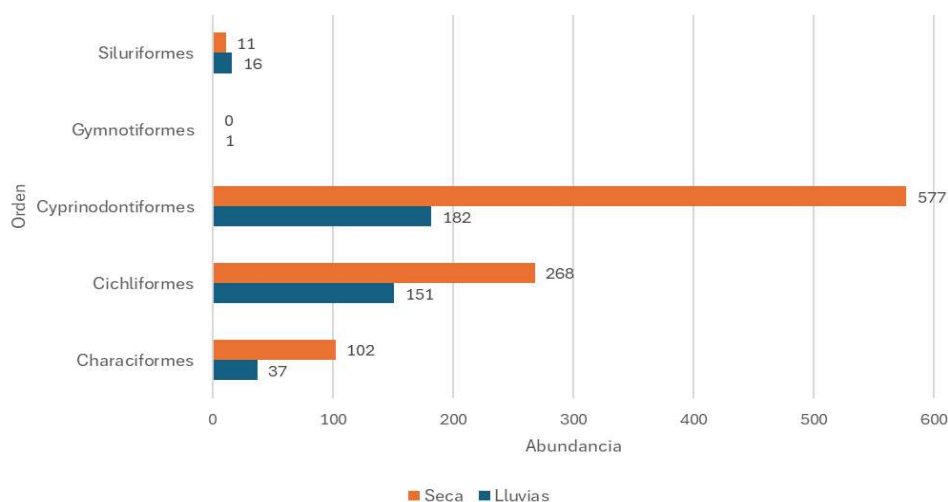


Figura 5.2.2.1.35 Abundancia de peces por orden y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

En cuanto a la riqueza específica, se registró un mayor número de especies durante la temporada de lluvias (18) en comparación con la seca (16), evidenciando variaciones entre ambas épocas. El orden más representativo fue Characiformes en la temporada seca y Siluriformes en la temporada lluviosa, con seis (6) especies cada uno. En segundo lugar, se ubicó Cyprinodontiformes en época seca con cuatro (4) especies, mientras que en la época lluviosa fue Characiformes con cinco (5) especies. Durante la temporada seca, Cichliformes y Siluriformes presentaron tres (3) especies cada uno; en contraste, en la temporada lluviosa Cichliformes alcanzó cuatro (4) especies, Cyprinodontiformes dos (2) y Gymnotiformes una (1) especie (véase la Figura 5.2.2.1.36).

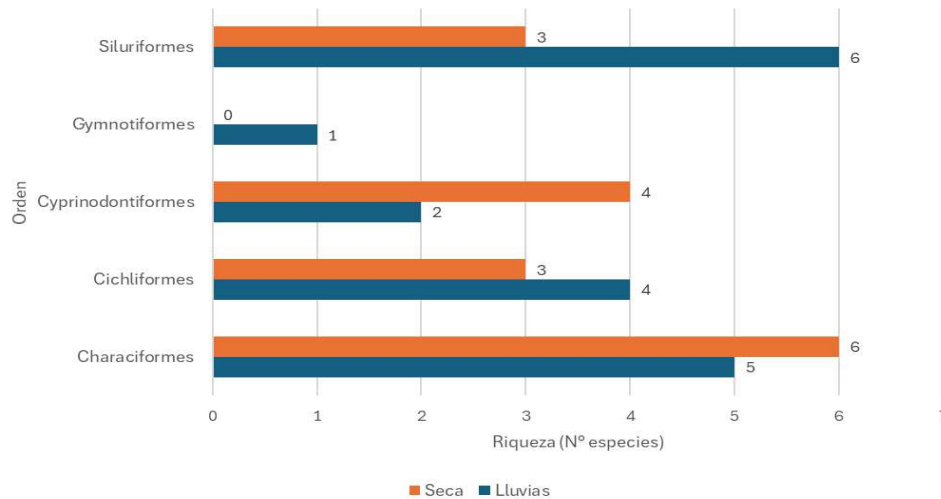


Figura 5.2.2.1.36 Riqueza de peces por orden y temporada de muestreo
Fuente: Integral S. A., 2025

La mayor riqueza específica registrada en la temporada de lluvias (18 especies) frente a la seca (16 especies) se relaciona con el pulso de inundación, que incrementa la conectividad y disponibilidad de hábitats, favoreciendo la colonización temporal de taxones como Gymnotiformes, presentes únicamente en lluvias y asociados a ambientes con macrófitas y niveles hídricos altos (Junk, Bayley, & Sparks, 1989; Cajado, de Oliveira, Sanches-Corrêa, Souza da Silva-Cajado, & Zacardi, 2025; Gouveia, Rondon, & Suárez, 2022). En contraste, la dominancia de Cyprinodontiformes en ambas épocas, con mayor abundancia en la seca, responde a su historia de vida oportunista y tolerancia a condiciones someras y variables, lo que les permite persistir en refugios durante el estiaje (Gómez-Márquez, Peña-Mendoza, Salgado-Ugarte, & Sánchez-Herrera, 2008; Mazzoni, Viadanna, & Quagio-Grassiotto, 2021). La alta representación de Cichliformes se explica por su dieta generalista y plasticidad funcional, que les permite adaptarse a la variabilidad hidrológica (Burrell, 2015). Por su parte, Characiformes, tercer grupo en abundancia incluye especies que responden a la estacionalidad del flujo y a pulsos de recursos, lo que sustenta su riqueza elevada en lluvias (Guisande, y otros, 2012). Finalmente, la baja abundancia de Siluriformes frente a su riqueza alta en lluvias sugiere una reorganización estacional de ensamblajes bentónicos y una fuerte influencia de la conectividad hidrológica sobre su diversidad (Echevarría, Rodríguez, & Machado-Allison, 2019). En conjunto, estos patrones reflejan que la inundación incrementa la riqueza mediante expansión de hábitats y filtros ambientales más laxos, mientras que el estiaje concentra densidades y favorece taxones tolerantes y oportunistas (Fitzgerald, Winemiller, Sabaj Pérez, & Sousa, 2017).

B. Distribución espacial y temporal

La abundancia de peces durante la temporada de lluvias fue mayor en el punto AN04, el cual presentó 50 individuos, seguido de G03 con 49, P06 con 39 y tanto P04 como P07 obtuvieron 22 individuos cada uno, tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.37 y la Figura 5.2.2.1.38. Estos puntos más representativos en conjunto aportan el 47,03% a la abundancia total de la temporada de lluvias. Por otra parte, los puntos con menor abundancia corresponden a P03, SA02 y AN03 con tres (3) individuos cada uno, y P05,

LM03 y N10 con dos (2) individuos cada uno. Durante esta temporada, la mayor riqueza específica se registró en los puntos G03 con seis (6) especies y P04 con cinco (5). Los patrones de densidad y riqueza no muestran una relación consistente, salvo en el caso de G03 y P04, los cuales obtuvieron valores representativos en ambas métricas (Figura 5.2.2.1.37 y Figura 5.2.2.1.38). Finalmente, es importante agregar que en estos puntos no se registró ictiofauna durante esta temporada: B02, B03, C02, C03, G05, N12, N16 y P08.

En cuanto a la temporada seca, los puntos con mayor abundancia de ictiofauna correspondieron a N16 con 378 individuos, AN04 con 97, N04 con 83 y G03 con 57 individuos, tal como se puede observar en la Figura 5.2.2.1.37 y la Figura 5.2.2.1.38. Estos puntos más representativos en conjunto aportan aproximadamente el 64,20% a la densidad total de la temporada seca. Por el contrario, las abundancias más bajas se observaron en AN07 con tres (3) individuos, N06, N07 y N12 cada uno con dos (2) y finalmente, N09 con un (1) individuo registrado. En cuanto a la riqueza específica, durante esta temporada se encontró que P04 presentó el valor más alto con siete (7) especies, seguido de G03 y P03, con cinco (5) especies cada una. Los patrones de densidad y riqueza no muestran una relación consistente, salvo en el caso de G03, que destaca por presentar valores representativos en ambas métricas (Figura 5.2.2.1.37y Figura 5.2.2.1.38).

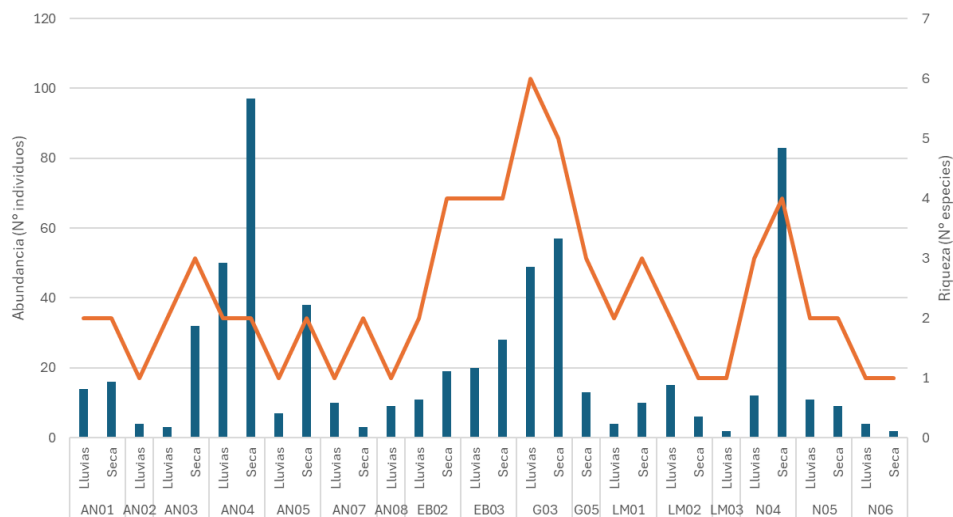


Figura 5.2.2.1.37 Distribución espacial y temporal de ictiofauna - parte 1
Fuente: Integral S. A., 2025

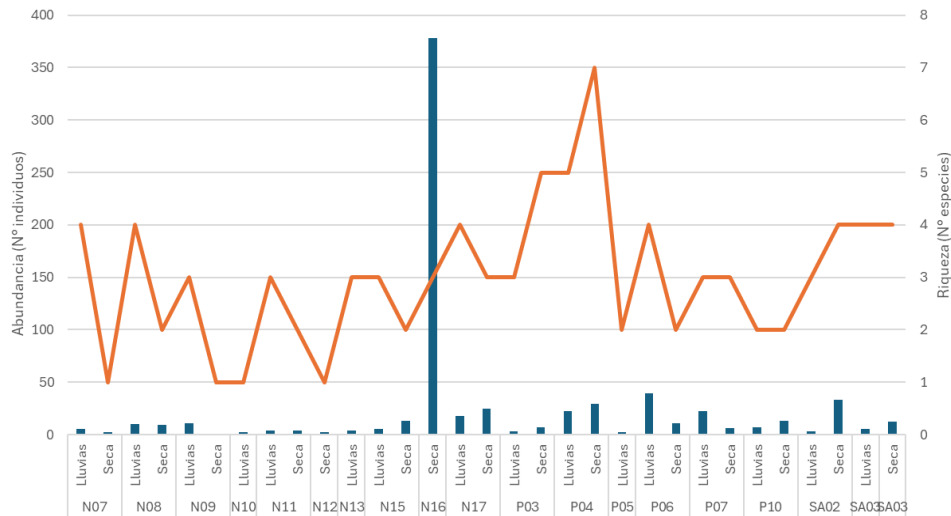


Figura 5.2.2.1.38 Distribución espacial y temporal de ictiofauna - parte 2
Fuente: Integral S. A., 2025

En cuanto a los cuerpos de agua asociados a los puntos muestreados se encontró que el Río Nus (N04, N05, N06, N07, N08, N09, N10, N11, N12, N13, N15, N16 y N17) presentó la mayor abundancia de ictiofauna con 614 individuos, de los cuales la mayor representatividad está en el orden Cyprinodontiformes (377 individuos). La segunda mayor abundancia la obtuvo el Afluente Nus 4 (AN04 y AN05) con 192 individuos, los cuales pertenecen a Cyprinodontiformes. El tercer cuerpo de agua con mayor abundancia fue la Quebrada La Palestina (P03, P04, P05, P06, P07 y P10), para la cual se reportan 161 individuos, de los cuales 103 pertenecen al orden Cichliformes. El cuarto cuerpo de agua con mayor densidad corresponde la Quebrada Guacas (G03 y G05), la cual presentó 119 individuos, de los cuales la mayor abundancia la aportó Cichliformes (55 individuos). Los cuerpos de agua restantes presentaron densidades ≤ 78 individuos; de estos el menos representativo fue el Afluente Nus 2, el cual tiene asociado el punto de muestreo AN02.

El río Nus (N04, N05, N06, N07, N08, N09, N10, N11, N12, N13, N15, N16 y N17) presentó la mayor riqueza específica, con 53 especies, siendo el orden Cichliformes el más representativo. En segundo lugar, se ubicó la quebrada La Palestina (P03, P04, P05, P06, P07 y P10), con 38 especies, predominando también el orden Cichliformes. El tercer cuerpo de agua con mayor riqueza fue la quebrada San Antonio (SA02 y SA03), donde se registraron 15 especies, con predominio del mismo orden. Tanto la quebrada El Banco (EB02 y EB03) como la quebrada Guacas (G03 y G05) compartieron el cuarto lugar, con 14 especies cada una; sin embargo, en la primera predominó Cichliformes, mientras que en la segunda lo hizo Siluriformes. Los cuerpos de agua restantes presentaron riquezas iguales o inferiores a 9 especies. Entre ellos, los menos representativos fueron Afluente Nus 2 y Afluente Nus 6, cada uno con una sola especie registrada.

C. Índices ecológicos (diversidad alfa y beta)

En la Tabla 5.2.2.1.12, en la Figura 5.2.2.1.39 y en la Figura 5.2.2.1.40 se presentan los valores obtenidos de los índices de diversidad (calculados a partir de los valores de composición y número de organismos, por punto), para la comunidad de peces identificada en los puntos y temporadas de muestreo.

De acuerdo con los índices ecológicos aplicados a la comunidad de peces en dos temporadas (lluvia y seca) para los puntos de muestreo establecidos (Tabla 5.2.2.1.12), se pudo evidenciar que la temporada seca presentó, en promedio, mayor riqueza y abundancia, y a su vez la dominancia respecto a la temporada de lluvias, mientras que la equidad se mantuvo muy similar entre ambas. En época lluvia, fue mayor en promedio la diversidad y una baja dominancia. Los promedios por temporada indican que en lluvias $H' = 0,80$ y $D = 0,58$, mientras que en seca $H' = 0,74$ y $D = 0,62$; la equidad fue 0,68 en lluvias y 0,67 en seca, evidenciando que las comunidades tienden a diversificarse y a reducir la dominancia en el periodo lluvia, con una equidad prácticamente estable.

Tabla 5.2.2.1.12 Índices de diversidad de la comunidad de peces en los puntos y temporadas de muestreo

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
AN01	Lluvia	2	14	0,59	0,60	0,86
	Seca	2	16	0,51	0,69	0,99
AN02	Lluvia	1	4	1,00	0,00	
AN03	Lluvia	2	3	0,56	0,64	0,92
	Seca	3	32	0,48	0,87	0,79
AN04	Lluvia	2	50	0,68	0,50	0,72
	Seca	2	97	0,70	0,48	0,69
AN05	Lluvia	1	7	1,00	0,00	
	Seca	2	38	0,70	0,48	0,69
AN07	Lluvia	1	10	1,00	0,00	
	Seca	2	3	0,56	0,64	0,92
AN08	Lluvia	1	9	1,00	0,00	
EB02	Lluvia	2	11	0,54	0,66	0,95
	Seca	4	19	0,39	1,09	0,79
EB03	Lluvia	4	20	0,33	1,21	0,87
	Seca	4	28	0,31	1,28	0,92
G03	Lluvia	6	49	0,33	1,36	0,76
	Seca	5	57	0,49	0,88	0,55
G05	Seca	3	13	0,62	0,69	0,63
LM01	Lluvia	2	4	0,63	0,56	0,81
	Seca	3	10	0,46	0,90	0,82
LM02	Lluvia	2	15	0,50	0,69	1,00
	Seca	1	6	1,00	0,00	
LM03	Lluvia	1	2	1,00	0,00	
N04	Lluvia	3	12	0,60	0,72	0,66
	Seca	4	83	0,40	1,04	0,75
N05	Lluvia	2	11	0,54	0,66	0,95
	Seca	2	9	0,56	0,64	0,92
N06	Lluvia	1	4	1,00	0,00	
	Seca	1	2	1,00	0,00	

Punto	Temporada	Taxa_S	Individuals	Dominance_D	Shannon_H	Equitability_J
N07	Lluvia	4	5	0,28	1,33	0,96
	Seca	1	2	1,00	0,00	
N08	Lluvia	4	10	0,30	1,28	0,92
	Seca	2	9	0,65	0,53	0,76
N09	Lluvia	3	11	0,41	1,00	0,91
	Seca	1	1	1,00	0,00	
N10	Lluvia	1	2	1,00	0,00	
N11	Lluvia	3	4	0,38	1,04	0,95
	Seca	2	4	0,63	0,56	0,81
N12	Seca	1	2	1,00	0,00	
N13	Lluvia	3	4	0,38	1,04	0,95
N15	Lluvia	3	5	0,44	0,95	0,87
	Seca	2	13	0,65	0,54	0,78
N16	Seca	3	378	0,86	0,32	0,29
N17	Lluvia	4	18	0,44	1,04	0,75
	Seca	3	25	0,54	0,75	0,68
P03	Lluvia	3	3	0,33	1,10	1,00
	Seca	5	7	0,27	1,48	0,92
P04	Lluvia	5	22	0,37	1,23	0,77
	Seca	7	29	0,39	1,32	0,68
P05	Lluvia	2	2	0,50	0,69	1,00
P06	Lluvia	4	39	0,39	1,05	0,76
	Seca	2	11	0,84	0,31	0,44
P07	Lluvia	3	22	0,54	0,76	0,69
	Seca	3	6	0,50	0,87	0,79
P10	Lluvia	2	7	0,76	0,41	0,59
	Seca	2	13	0,74	0,43	0,62
SA02	Lluvia	3	3	0,33	1,10	1,00
	Seca	4	33	0,44	1,04	0,75
SA03	Lluvia	4	5	0,28	1,33	0,96
	Seca	4	12	0,36	1,14	0,83

Fuente: Integral S. A., 2025

El análisis de la comunidad de peces en los puntos de muestreo revela una respuesta marcada a la época climática evaluada (véanse las Figura 5.2.2.1.39 y Figura 5.2.2.1.40). Durante la temporada de lluvias, la comunidad íctica tendió a presentar mayor diversidad y equidad, con distribuciones más equilibradas entre las especies y menores niveles de dominancia. En este periodo, puntos como EB03, G03, N07, N08, P03, P04 y SA03 mostraron condiciones ecológicas favorables, caracterizadas por valores elevados de diversidad y baja dominancia de ciertas especies.

En contraste, la temporada seca se caracterizó por un incremento en la abundancia total y, en algunos casos, de la riqueza (N° especies); sin embargo, este aumento no se tradujo en mejoras estructurales de la comunidad. Por el contrario, en varios puntos la elevada abundancia estuvo acompañada de alta dominancia y baja diversidad, reflejando proliferación de especies generalistas. El caso más extremo se observó en N16, donde se registró un pico de abundancia con dominancia muy alta y diversidad mínima, además porque solo hubo registro de individuos en época seca. También se evidenciaron disminuciones de equidad en puntos como P06, G03 y N15, indicando comunidades una alta dominancia de ciertas especies en época seca.

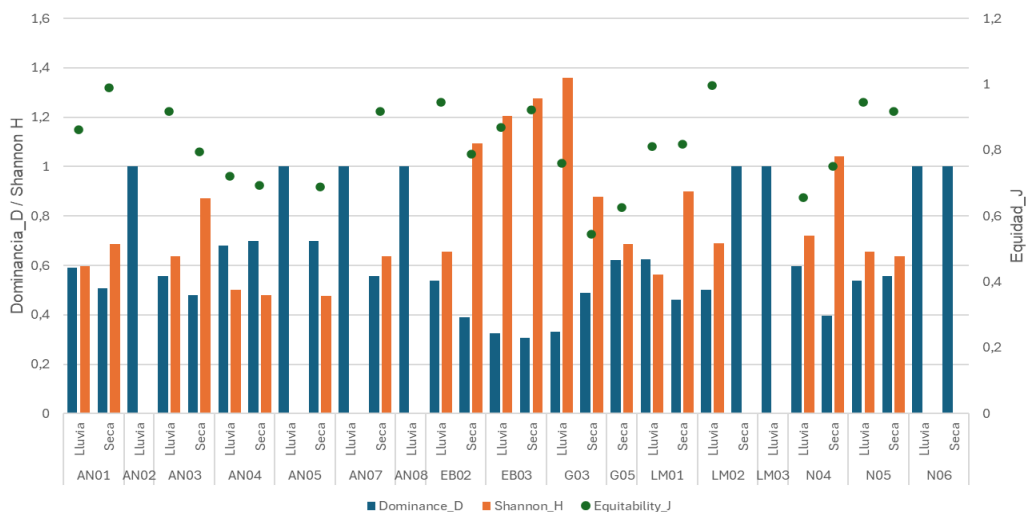


Figura 5.2.2.1.39 Índices de diversidad de la comunidad de peces en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 1
Fuente: Integral S. A., 2025

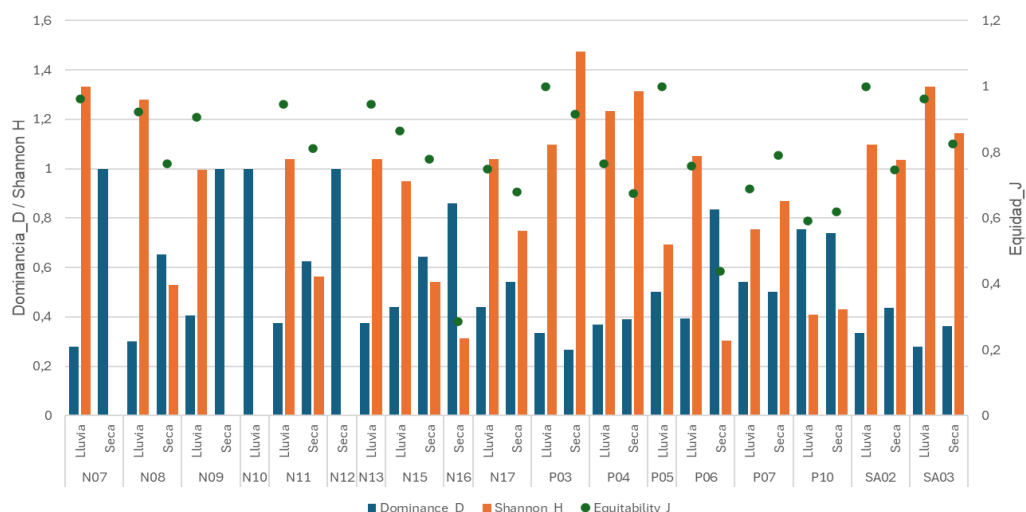


Figura 5.2.2.1.40 Índices de diversidad de la comunidad de peces en los puntos y temporadas de muestreo – Parte 2
Fuente: Integral S. A., 2025

El dendrograma evidencia que la estructura de la comunidad responde a factores locales más que solo a la temporalidad, ya que como se observa, se presentan agrupaciones con similitudes del 100%, como es el caso de los puntos N06, N07 y N12 todos en época seca, AN03 – Lluvia y AN07 – Seca; y finalmente LM03 y N10 ambos en lluvias. La agrupación de estaciones por proximidad sugiere que las características del hábitat (sustrato, calidad del agua, conectividad) son factores determinantes para la presencia de las mismas especies de fauna ictica en los puntos. Se presentan puntos que muestran baja similitud con el resto de los puntos evaluados como es el caso de los puntos N16 y N08 en época seca. Este análisis complementa la evaluación de índices ecológicos y ayuda a identificar patrones espaciales y temporales en la dinámica de las comunidades acuáticas.

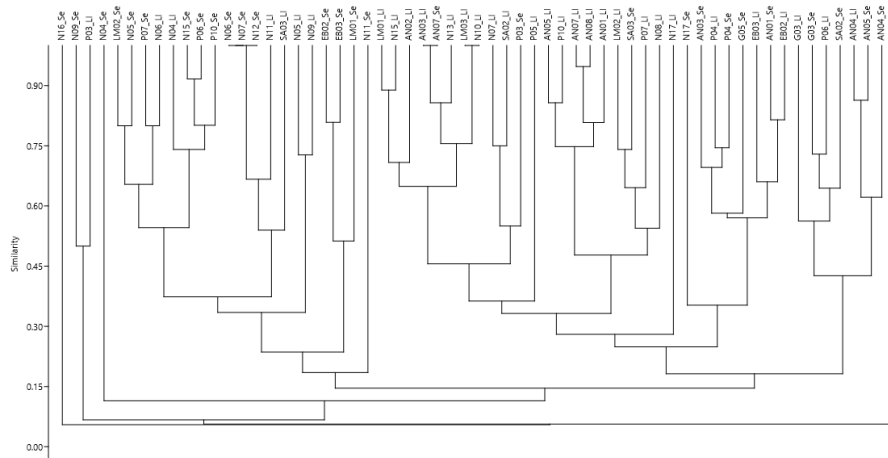


Figura 5.2.2.1.41 Dendrograma de similitud (índice Bray–Curtis) de la comunidad de peces en los puntos muestreados
Fuente: Integral S. A., 2025

D. Aspectos bioecológicos, importancia ecológica-económica, migraciones, categorías de amenaza, vedas y/o prohibiciones

La comunidad íctica en estos sistemas lóticos presenta una marcada dominancia de *Poecilia caucana* (706 individuos), especie vivípara, de talla pequeña (≤ 4 cm), asociada a zonas de remanso con vegetación ribereña y sustratos fangosos, que tolera condiciones extremas de temperatura, salinidad y bajos niveles de oxígeno, alimentándose principalmente de algas y larvas de insectos (Ortega-Lara, Murillo, Pimienta, & Sterling, 1999; Maldonado-Ocampo, y otros, 2012). Esta plasticidad ecológica explica su éxito en ambientes alterados.

La presencia de *Poecilia reticulata* (43 individuos), especie exótica con alta capacidad reproductiva y comportamiento omnívoro, refuerza la hipótesis de intervención antrópica, ya que se considera invasora y portadora de parásitos que afectan especies nativas (Portilla, y otros, 2023). Asimismo, la detección de *Oreochromis niloticus*, en el punto SA03 durante el muestreo de la época de lluvias, aunque con baja abundancia, indica riesgo de competencia trófica y alteración de redes alimentarias, dado su carácter invasor y tolerancia a condiciones adversas (Hamid, Md Sah, Idris, Mohd Nor, & Mansor, 2023).

El registro de especies nativas como *Geophagus steindachneri* (254 individuos) y *Andinoacara latifrons* (144 individuos), cíclidos bentónicos que prefieren fondos arenosos y aguas con corriente moderada, sugieren la presencia de hábitats estructurados, aunque su abundancia intermedia indica cierta presión ambiental (De la Ossa-Guerra, Santos, & Artoni, 2020; Olaya-Nieto, y otros, 2020). Por otro lado, la presencia de loricáridos como *Chaetostoma sp.*, en G03 y N04, y *Ancistrus sp.*, en G03, P03 y P04, indica parches de corriente alta y sustrato rocoso, esenciales para especies raspadoras de biofilm y diatomeas (Zúñiga-Upegui, y otros, 2014; Taphorn, Armbruster, Villa-Navarro, & Ray, 2013).

Asimismo, se registraron especies endémicas del Magdalena como *Hyphessobrycon Natagaima*, en los puntos N05, N08 y N09, y *Megalonema xanthum*, en los puntos G05, LM01, N11, N17, P03 y P04, lo que evidencia microhábitats de buena calidad y conectividad parcial (García-Alzate, Taphorn, Roman-Valencia, & Villa-Navarro, 2015; Lundberg & Dahdul, 2008). La ocurrencia de especies reófilas adaptadas a aguas frías y oxigenadas con corrientes rápidas, tales como *Trichomycterus sp.* (2 individuos), identificada en los puntos G03 y P03 de la temporada seca, y *Astroblepus sp.* (1 individuo) en el punto G03 durante la temporada de lluvias, evidencia pérdida de microhábitats rocosos y posible sedimentación, factores asociados a cambios hidrológicos y deforestación (Román-Valencia, 2001).

El ensamble de peces muestra un mosaico de hábitats, con predominio de especies tolerantes y señales de perturbación, pero también presencia de especies reófilas y endémicas que reflejan heterogeneidad y conectividad parcial.

Ninguna de las especies identificadas se encuentra registrada en la Lista Roja de la UICN, en el Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica, Usma, Álvarez-León, & Lasso, 2012) ni en los apéndices de CITES. No obstante, se destaca la presencia de especies endémicas de Colombia, cuya distribución restringida las hace relevantes para la conservación: *Andinoacara latifrons*, *Hyphessobrycon Natagaima*, *Hyphessobrycon ocaseoensis*, *Hyphessobrycon proteus* y *Megalonema xanthum*.

Para conocer más detalles sobre la bioecología de las especies registradas en el área de influencia se puede consultar el ANEXOS_CARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS

E. Análisis toxicológico en peces

El análisis de metales pesados en los tejidos biológicos representa una herramienta clave para la evaluación ambiental, dado que elementos como el mercurio, cobre y plomo se reconocen entre los principales agentes tóxicos vinculados a procesos de contaminación de origen industrial y antrópico. Estos metales presentan alta persistencia química, lo que impide su degradación por vías biológicas y dificulta su eliminación por parte de los organismos, promoviendo así su acumulación progresiva en los tejidos. Esta bioacumulación puede desencadenar procesos de biomagnificación a lo largo de las redes tróficas, incrementando los niveles de toxicidad en los niveles superiores y generando riesgos significativos tanto para la fauna acuática como para la salud humana (Mancera & Álvarez, 2006).

Los peces pueden ser utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, debido a su posición dentro de las redes tróficas, lo que los convierte en organismos capaces de acumular sustancias potencialmente contaminantes que afectan tanto al ecosistema acuático como a otros niveles tróficos, incluyendo al ser humano. La absorción de estos contaminantes puede ocurrir por ingestión directa o por exposición ambiental. El estudio de

las comunidades ícticas ofrece ventajas como la relativa facilidad de captura, la posibilidad de realizar una identificación taxonómica precisa y la representación de una amplia variedad de niveles tróficos (Velandia, 2009).

Para el presente estudio, el análisis toxicológico en peces se realizó durante dos temporadas climáticas contrastantes. La temporada seca se desarrolló entre el 30 de diciembre de 2024 y el 25 de enero de 2025, con el muestreo de 40 puntos. Por su parte, la temporada de lluvias se llevó a cabo entre el 22 de abril y el 10 de mayo de 2025, durante la cual se muestrearon 59 puntos.

A continuación, se evidencian los resultados obtenidos de la comunidad íctica en el área de influencia y de los análisis de metales en peces para cada una de las temporadas climáticas.

a. Temporada seca

I. Ictiofauna

i. Riqueza, composición y abundancia

En total se registraron 16 morfoespecies, distribuidas en 7 familias, 4 órdenes, 1 clase y 1 filo (ver ANEXOS_CHARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS).

Dentro de los taxones registrados, el orden Characiformes correspondió al orden con mayor riqueza, con 7 taxones. Por su parte, el orden Siluriformes presentó 3 taxones, dado que muchas especies de Siluriformes son sensibles a la disminución del oxígeno disuelto en el agua, su presencia es un buen indicador de la cantidad de oxígeno en los cuerpos de agua.

En cuanto a la abundancia, se registró un total de 952 individuos. La especie dominante fue *Poecilia caucana* con 541 individuos, especie nativa de Colombia.

La composición íctica registrada en el área de estudio estuvo conformada por especies que ocupan diferentes niveles tróficos y desempeñan funciones ecológicas complementarias dentro de los ecosistemas acuáticos, tal como se muestra en la Tabla 5.2.2.1.13.

Tabla 5.2.2.1.13. Ecología de las especies de ictiofauna registradas para análisis toxicológico

Especie	Nivel trófico	Hábitos alimenticios	Representatividad ecológica y/o socioeconómica	Capacidad bioacumuladora
<i>Astyanax sp.</i>	Consumidor secundario (2,8-3,2)	Omnívoro oportunista; insectos, material vegetal, algas y detritos.	Género ampliamente distribuido en Colombia; importante como especie forrajera en ecosistemas acuáticos.	Moderada.
<i>Hyphessobrycon sp.</i>	Consumidor secundario (2,8-3,1)	Principalmente insectívoro y microcarnívoro.	Componente común de quebradas y tributarios andinos; indicador de integridad ecológica.	Baja a moderada.
<i>Hyphessobrycon natagaima</i>	Consumidor secundario (≈3,0)	Insectívoro-omnívoro; consume insectos acuáticos y pequeños invertebrados.	Especie endémica de la cuenca Magdalena; relevante para la conservación de la biodiversidad regional.	Baja a moderada.

Especie	Nivel trófico	Hábitos alimenticios	Representatividad ecológica y/o socioeconómica	Capacidad bioacumuladora
<i>Hyphessobrycon proteus</i>	Consumidor secundario (≈3,0)	Insectívoro; consume principalmente larvas de insectos y pequeños invertebrados	Especie nativa de las cuencas Magdalena, Sinú y Atrato.	Baja a moderada.
<i>Hemibrycon sp.</i>	Consumidor secundario (3,0-3,5)	Omnívoro con tendencia insectívora.	Género característico de corrientes andinas; sensible a alteraciones ambientales.	Moderada.
<i>Brycon sp.</i>	Consumidor secundario-alto (3,5-4,0)	Omnívoro; frutos, semillas, insectos y pequeños peces.	Importante en dispersión de semillas y en pesquerías continentales.	Moderada a alta.
<i>Megalonema xanthum</i>	Consumidor secundario-alto (≈3,5)	Bentófago; consume insectos acuáticos, anélidos y crustáceos.	Bagre nativo del Magdalena-Cauca; representante del componente demersal.	Alta por contacto directo con sedimentos.
<i>Ancistrus sp.</i>	Consumidor primario-secundario (2,0-2,8)	Detritívoro y perifitófago; raspador de algas y biofilm.	Importante reciclador de materia orgánica y nutrientes.	Moderada.
<i>Trichomycterus sp.</i>	Consumidor	Insectívoro bentónico; larvas de insectos y pequeños invertebrados.	Común en quebradas de montaña, indicador de calidad del agua.	Moderada.
<i>Poecilia sp.</i>	Consumidor secundario (2,5-3,0)	Omnívoro; algas, perifiton, detritos y macroinvertebrados.	Especie resistente a perturbaciones; utilizada como bioindicadora.	Moderada.
<i>Cf. Poecilia caucana</i>	Consumidor secundario (≈2,8)	Omnívoro oportunista.	Representante de ambientes lénticos y de corriente lenta.	Moderada.
<i>Poecilia caucana</i>	Consumidor secundario (≈2,8)	Omnívoro; insectos, algas y detritos.	Especie endémica de Colombia, frecuente en monitoreos ambientales.	Moderada.
<i>Poecilia reticulata</i>	Consumidor secundario (2,5-2,8)	Omnívoro oportunista; zooplankton, insectos y algas.	Amplio uso como bioindicador y en estudios ecotoxicológicos.	Moderada.
<i>Andinoacara latifrons</i>	Consumidor secundario-alto (≈3,5)	Omnívoro con tendencia carnívora; insectos, crustáceos y moluscos.	Cíclido nativo abundante en sistemas andinos colombianos.	Moderada a alta.
<i>Geophagus steindachneri</i>	Consumidor secundario (≈3,0)	Bentófago; tamiza sedimento para obtener detritos e invertebrados.	Especie clave en procesos de bioturbación y reciclaje de nutrientes.	Alta debido a su alimentación asociada al sedimento.
<i>Caquetaia kraussii</i>	Consumidor terciario (≈4,0)	Piscívoro e invertívoro.	Especie de importancia pesquera y alimentaria en Colombia.	Alta por su posición trófica superior y potencial biomagnificación.

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

Desde el punto de vista ecológico, varias de las especies registradas son representativas de las cuencas andinas y del sistema Magdalena-Cauca, incluyendo taxones endémicos como *Hyphessobrycon natagaima* y *Poecilia caucana*, así como especies de importancia

pesquera y para la seguridad alimentaria regional, como *Brycon* sp. y *Caquetaia kraussii*. Asimismo, especies bentófagas como *Geophagus steindachneri* y *Megalonema xanthum* presentan especial interés para los estudios de contaminación ambiental, debido a que sus hábitos alimenticios las mantienen en contacto permanente con los sedimentos, considerados uno de los principales reservorios de metales en los ecosistemas acuáticos.

Tabla 5.2.2.1.14. Categoría de amenaza y estado de la ictiofauna

Especie	Nombre común	Endemismo	Libro rojo	UICN	Resolución 0126 de 2024
<i>Hyphessobrycon ntagaima</i>	--	SI	--	LC	--
<i>Hyphessobrycon proteus</i>	Galocha, sardinita	SI	--	LC	--
<i>Megalonema xanthum</i>	Barbudo	SI	--	LC	--
<i>Poecilia caucana</i>	Pipona, piponcita	NO	--	NE	--
<i>Poecilia reticulata</i>	Pipon, bandera, gupi, sardinita	NO	--	NE	--
<i>Andinoacara latifrons</i>	Azulejo, casasola, mojarra azul	SI	--	LC	--
<i>Geophagus steindachneri</i>	Mojarra, mula	NO	--	LC	--
<i>Caquetaia kraussii</i>	Mojarra amarilla	SI	--	LC	--

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025



Astyanax sp



Hyphessobrycon sp.



Hyphessobrycon natagaima



Hyphessobrycon proteus



Brycon sp



Megalonema xanthum



Trichomycterus sp



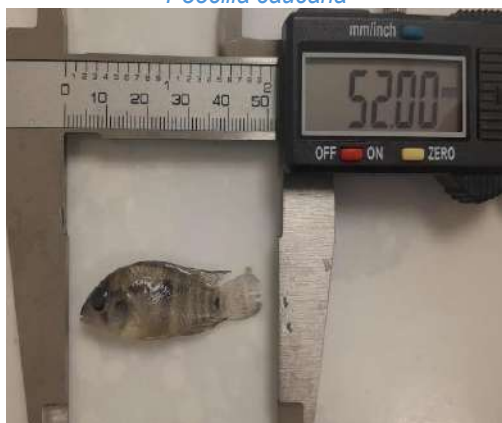
Poecilia sp



Poecilia caucana



Poecilia reticulata



Andinoacara latifrons



Geophagus steindachneri

Fotografía 5.2.2.1.1. Registro fotográfico de algunas de las especies de ictiofauna capturadas para el análisis toxicológico

Fuente: Integral S.A., 2026, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

ii. Distribución de las especies entre los puntos de muestreo

La comunidad íctica se registró en todos los puntos, excepto en P08, N10-RIO NVS, AN08, B02, B 03 QDA. EL BALSAL, LM03, C03, CO2, N13, P05 y AN02.

Los resultados de riqueza encontrados por estación indican que los puntos P04, N03 RIO NUS, G03, P03, presentaron la mayor riqueza con 5 a 7 especies, siendo P04 donde se registró la mayor riqueza. Los puntos restantes presentaron menos de 4 taxones (Figura 5.2.2.1.42).

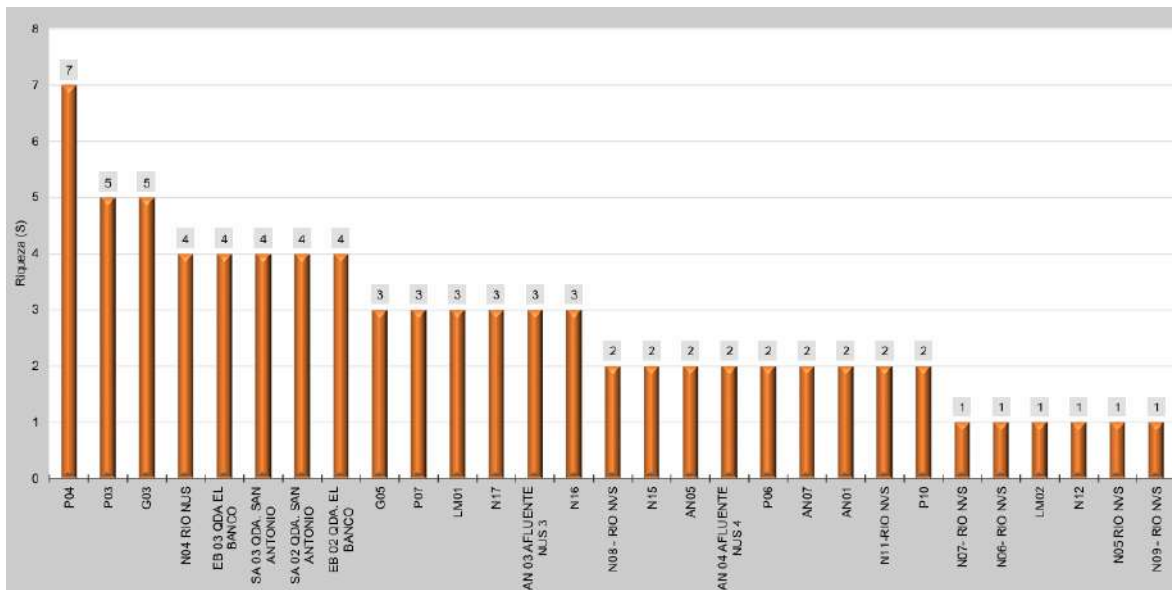


Figura 5.2.2.1.42. Riqueza de ictiofauna entre puntos de muestreo en temporada seca
Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

En cuanto a la abundancia (Figura 5.2.2.1.43) se registró un total de 952 individuos, siendo el punto N16 donde se registró mayor abundancia con 378 individuos, seguido del punto AN 04 AFLUENTE NUS 4 con 97 y N04 RIO NUS con 83 individuos.

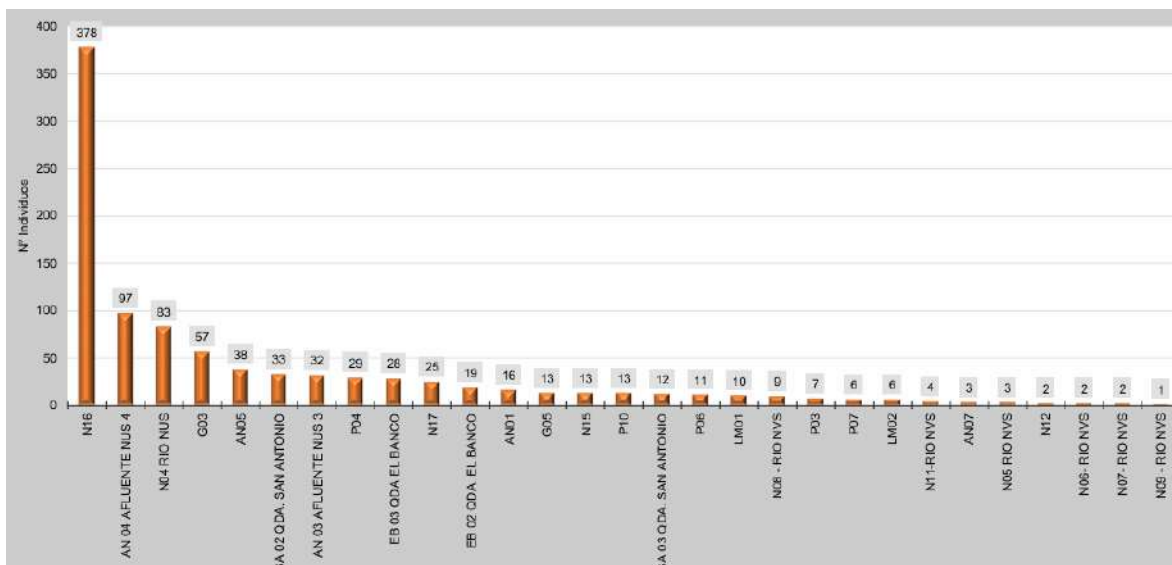


Figura 5.2.2.1.43. Abundancia de ictiofauna entre puntos de muestreo en temporada seca
Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

II. Análisis de tejidos en peces

Los resultados de metales en tejido de peces muestran una marcada variabilidad espacial entre los diferentes puntos de muestreo, la cual puede relacionarse tanto con la

composición de especies como con la abundancia de individuos presentes en cada estación. En general, las muestras estuvieron dominadas por especies de amplia distribución y alta abundancia, especialmente *Poecilia caucana*, *Geophagus steindachneri* y *Andinoacara latifrons*, las cuales conformaron la mayor proporción de los individuos analizados. Los puntos con mayores abundancias correspondieron a N16 (378 individuos), AN04 (97 individuos), N04 río Nus (83 individuos), AN03 (32 individuos) y SA02 (33 individuos), mientras que otros sitios presentaron ensamblajes reducidos con menos de diez individuos.

En términos generales, arsénico, cadmio, plomo, vanadio, zinc y selenio permanecieron por debajo de los límites de detección en la mayoría de los puntos evaluados (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS). Por otro lado, calcio, cobre, manganeso y mercurio fueron los elementos que presentaron una mayor variabilidad espacial. El calcio mostró concentraciones elevadas en varios puntos, destacándose AN07 con 26.125,815 mg/kg, seguido por G03 con 17.103,670 mg/kg, SA02 Quebrada San Antonio con 15.609,192 mg/kg, LB02 Quebrada La Bella con 14.354,595 mg/kg, AN03 Afluente Nus 3 con 14.331,278 mg/kg y AN04 Afluente Nus 4 con 12.026,289 mg/kg (ver ANEXOS_CARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS).

Respecto a los metales potencialmente tóxicos, el mercurio presentó uno de los patrones más relevantes del estudio. En la mayoría de los puntos las concentraciones fueron inferiores a 0,15 mg/kg; sin embargo, las muestras correspondientes a AN05 (1,98 mg/kg), P04 (1,20 mg/kg), P03 (3,20 mg/kg), P06 (2,30 mg/kg), P07 (2,25 mg/kg), AN01 (1,43 mg/kg) y LB01 (1,28 mg/kg) mostraron incrementos notables. Estos sitios corresponden principalmente a quebradas tributarias y sectores donde las muestras estuvieron dominadas por *Poecilia caucana*, *Geophagus steindachneri* y *Andinoacara latifrons*,

Un comportamiento similar se observó para el manganeso, cuyos valores más elevados se registraron en AN07 (184,54 mg/kg), AN05 (49,01 mg/kg), AN04 (32,23 mg/kg), G02 (32,69 mg/kg) y G03 (24,52 mg/kg). En estos puntos predominan especies con hábitos alimenticios estrechamente asociados al fondo, particularmente *Geophagus steindachneri*, reconocida por remover y tamizar sedimentos durante su alimentación.

Por otra parte, aunque algunos puntos presentaron un elevado número de individuos, como N16 (378 individuos) o AN04 (97 individuos), las concentraciones de metales no fueron necesariamente las más altas. Esto indica que la acumulación de metales en los tejidos no depende del tamaño de la muestra o de la abundancia de peces capturados, sino de factores relacionados con la disponibilidad ambiental de los contaminantes, el tiempo de exposición y las características ecológicas de las especies presentes.

El calcio fue el elemento que presentó las mayores concentraciones en todas las muestras, evidenciando una amplia variación espacial. El valor máximo se registró en AN07 con 26.125,815 mg/kg, seguido por G03 con 17.103,670 mg/kg, SA02 Quebrada San Antonio con 15.609,192 mg/kg, LB02 Quebrada La Bella con 14.354,595 mg/kg, AN03 Afluente Nus 3 con 14.331,278 mg/kg y AN04 Afluente Nus 4 con 12.026,289 mg/kg. El valor mínimo correspondió a G05 con 101,494 mg/kg, seguido por N05 (199,859 mg/kg) y LM01 (207,834 mg/kg). La distribución observada refleja diferencias significativas en la composición mineral de los organismos capturados y en las condiciones ambientales de cada sector.

El estaño presentó concentraciones detectables en varias estaciones, aunque con valores relativamente bajos. La mayor concentración se registró en N05 Río Nus con 2,691 mg/kg, seguida muy de cerca por EB03 Quebrada El Banco con 2,671 mg/kg, P03 con 2,493 mg/kg,

N04 Río Nus con 2,265 mg/kg, N06 Río Nus con 2,200 mg/kg, N17 con 2,196 mg/kg y ET03 con 2,152 mg/kg. Los valores mínimos correspondieron a los numerosos puntos con concentraciones inferiores al límite de detección (<1,500 mg/kg). La distribución observada indica presencia generalizada de este elemento, aunque en niveles bajos. Estos valores cumplen con los límites permitidos por la legislación colombiana, la cual establece a través de Resolución 122 de 2012 del Ministerio de salud y Protección social, una concentración máxima de 200 mg Sn/kg, para productos enlatados ya que en pescado fresco no se tiene reglamentación.

El cobre fue detectado en un número limitado de estaciones y presentó concentraciones bajas en comparación con otros elementos. El valor máximo se registró en AN07 con 8,91 mg/kg, superando ampliamente las demás estaciones. También se observaron concentraciones relevantes en SA03 Quebrada San Antonio con 3,38 mg/kg, P04 con 2,79 mg/kg, LB02 Quebrada La Bella con 2,59 mg/kg, T02 Quebrada La Trinidad con 2,31 mg/kg, N08 con 2,29 mg/kg y P03 con 2,10 mg/kg. El valor mínimo correspondió a todos los puntos reportados por debajo del límite de detección (<1,50 mg/kg). Los resultados muestran una acumulación puntual en determinados sectores, especialmente en AN07. Este elemento no presenta una regulación específica en la legislación colombiana como producto fresco, sin embargo, en alimentos procesados como pescado congelado o enlatado su límite permisible es de 20 mg Cu/kg según la NTC 5264.

El manganeso presentó uno de los comportamientos más variables dentro de los metales evaluados. La concentración máxima se registró en AN07 con 184,54 mg/kg, valor que sobresale ampliamente frente al resto de estaciones. Otras concentraciones elevadas se encontraron en AN05 con 49,005 mg/kg, G02 Quebrada Guacas con 32,689 mg/kg, AN04 Afluente Nus 4 con 32,235 mg/kg, G03 con 24,521 mg/kg, SA02 Quebrada San Antonio con 19,253 mg/kg, AN03 Afluente Nus 3 con 18,679 mg/kg y T02 Quebrada La Trinidad con 17,433 mg/kg. El valor mínimo fue inferior al límite de detección (<1,500 mg/kg) en numerosos puntos. Esta distribución evidencia focos específicos de acumulación de manganeso en la cuenca.

El mercurio presentó concentraciones detectables en varios puntos y corresponde a uno de los metales de mayor importancia ambiental dentro del estudio. El valor máximo se registró en P04 con 3,2 mg/kg, seguido por P06 con 2,3 mg/kg, P07 con 2,25 mg/kg, AN05 con 1,98 mg/kg, AN01 con 1,43 mg/kg, LB01 con 1,28 mg/kg, P03 con 1,20 mg/kg y LM01 con 1,13 mg/kg. También se detectaron concentraciones menores en G02 (0,30 mg/kg), N02 (0,30 mg/kg), ET03 (0,18 mg/kg), P01 (0,16 mg/kg), ET02 (0,15 mg/kg) y LB03 (0,15 mg/kg). El valor mínimo correspondió a las estaciones con resultados inferiores a 0,15 mg/kg. Los mayores aportes se concentran en los puntos P04, P06 y P07, donde se observan las concentraciones más elevadas del monitoreo. Este es un elemento altamente tóxico, ya que casi todo el que se acumula en el músculo de los peces, se encuentra en su forma más tóxica, el Metilmercurio (CH₃Hg), este metal logra ingresar a la cadena trófica, a través de las bacterias, fito y zooplancton y peces seguidos directamente por el ser humano. Esta bioacumulación puede traer serias afectaciones a la salud humana, dependiendo del grado de exposición (cantidad, frecuencia y duración) y la edad del sujeto (Vargas-Licon & Marrugo-Negrete, 2019).

El molibdeno únicamente fue detectado en N15, donde alcanzó una concentración de 10,132 mg/kg, constituyendo el valor máximo y la única detección cuantificable registrada. En las demás estaciones las concentraciones fueron inferiores al límite de detección

(<1,500 mg/kg). Este comportamiento indica una ocurrencia localizada sin evidencia de distribución regional.

El plomo presentó concentraciones inferiores al límite de detección (<1,50 mg/kg) en todos los puntos evaluados. No se identificaron estaciones con concentraciones cuantificables ni patrones espaciales asociados a acumulación en tejido lipídico de peces.

El selenio fue detectado principalmente en las estaciones ubicadas hacia el tramo final del monitoreo. La concentración máxima se registró en P04 con 4,36 mg/kg, seguida por P06 con 2,94 mg/kg, AN05 con 2,93 mg/kg, P03 con 2,15 mg/kg, AN01 con 2,14 mg/kg, LB01 con 2,08 mg/kg, P07 con 2,14 mg/kg y LM01 con 1,51 mg/kg. El valor mínimo correspondió a los puntos con resultados inferiores a 1,50 mg/kg. La distribución espacial indica una mayor presencia de selenio en los sectores donde también se registraron las concentraciones más altas de mercurio.

El vanadio solo fue detectado en AN07, donde registró una concentración de 5,038 mg/kg, correspondiente al valor máximo observado para este metal. En los demás puntos las concentraciones fueron inferiores al límite de detección (<1,500 mg/kg). La detección aislada sugiere una fuente puntual o una condición específica asociada a esta estación. Las concentraciones de zinc fueron inferiores al límite de detección analítico (<45,000 mg/kg) en todas las muestras de tejido lipídico. Ninguna estación presentó concentraciones cuantificables, por lo que no se evidencian procesos de acumulación de zinc en los peces evaluados.

III. Conclusiones

La captura efectiva de peces en gran parte de las estaciones, mostró organismos que habitan en el fondo en sustratos lodoso-arenoso, donde encuentran alimento y refugio ya que aprovechan los invertebrados enterrados en el lecho, así mismo, la presencia de macrófitas o vegetación acuática, ofrece beneficios como aporte de nutrientes, fuentes de alimento y refugio, teniendo en cuenta que algunas especies de peces, aprovechan sus raíces para dejar sus huevos y alimentarse; debido a la capacidad de movilidad voluntaria que presentan los peces, estos tienen la facilidad de reubicarse espacialmente en lugares que ofrezcan las condiciones adecuadas para su presencia y desarrollo.

Dentro de las especies de peces encontradas en los puntos monitoreados, cinco (5) de ellas son endémicas de Colombia y se encuentran en nivel de conservación Preocupación menor.

En cuanto al análisis de metales en los tejidos de peces, se detecta Estaño en los peces de siete puntos de monitoreo. Los valores obtenidos dan cumplimiento a los límites establecidos por la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de salud y Protección social. Similarmente, el Cobre (Cu), se presenta en los peces de los puntos N06- RIO NVS, SA 03 QDA. SAN ANTONIO y AN07, dando cumplimiento a los límites establecidos en la NTC 5264.

En general análisis de tejidos lipídicos en peces muestra que los niveles de metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio, molibdeno, litio, selenio y plomo se encuentran por debajo del límite de detección (<1.500 mg/kg), lo cual indica una baja presencia de estos contaminantes en las muestras evaluadas. Por otro lado, se observan variaciones significativas en la concentración de elementos esenciales, con valores que van desde el límite de cuantificación, lo que sugiere diferencias en la composición mineral entre las

distintas estaciones de muestreo. Estos resultados son relevantes para evaluar la calidad ambiental y la seguridad alimentaria de los peces en las zonas estudiadas

b. Temporada de lluvias

I. Ictiofauna

i. Riqueza, composición y abundancia

Se registró un total de 18 morfoespecies, distribuidas en nueve (9) familias, cinco (5) órdenes, una (1) clase y un (1) filo (ver ANEXOS_CHARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS_ANALISIS_TOXICOLOGICO).

Entre los grupos registrados, el orden Siluriformes presentó la mayor riqueza, con un total de 6 taxones. El orden Characiformes ocupó el segundo lugar en riqueza específica, con un total de 5 taxones registrados.

En términos de abundancia, se registró un total de 626 ejemplares. *Poecilia caucana* fue la especie más abundante registrada durante el monitoreo, con un total de 226 individuos. La segunda especie con mayor número de individuos registrados durante el monitoreo fue *Geophagus steindachneri*, con un total de 167 ejemplares.

La comunidad íctica registrada en los puntos de muestreo está conformada por especies que ocupan diferentes niveles tróficos, desde consumidores primarios y detritívoros, como *Lasiancistrus caucanus* y *Oreochromis niloticus*, hasta depredadores de niveles superiores, como *Caquetaia kraussii*. Esta diversidad funcional permite una evaluación más integral de los procesos de transferencia y acumulación de contaminantes dentro de la red trófica acuática (Tabla 5.2.2.1.15). Asimismo, se capturaron nueve (9) especies endémicas (Tabla 5.2.2.1.16).

Tabla 5.2.2.1.15. Caracterización ecológica, trófica y potencial de bioacumulación de las especies ícticas registradas en el área de estudio

Especie	Nivel trófico	Hábitos alimenticios	Representatividad ecológica y/o socioeconómica	Capacidad bioacumuladora
<i>Hyphessobrycon proteus</i>	Consumidor secundario (≈3.0)	Insectívoro-omnívoro; consume insectos acuáticos, pequeños invertebrados y ocasionalmente algas.	Especie nativa de las cuencas Magdalena, Sinú y Atrato; importante en la transferencia de energía entre macroinvertebrados y depredadores mayores.	Baja a moderada, por su pequeño tamaño y posición trófica intermedia.
<i>Hyphessobrycon natagaima</i>	Consumidor secundario (≈3.0)	Omnívoro con tendencia insectívora; pequeños invertebrados y materia orgánica.	Endémica de la cuenca del Magdalena; indicador de ambientes lénticos y humedales asociados.	Baja a moderada.
<i>Hyphessobrycon ocaseensis</i>	Consumidor secundario (≈3.0)	Insectívoro-omnívoro; consume artrópodos acuáticos y material vegetal.	Especie endémica de Colombia, asociada a quebradas y	Baja a moderada.

Especie	Nivel trófico	Hábitos alimenticios	Representatividad ecológica y/o socioeconómica	Capacidad bioacumuladora
			tributarios del Magdalena.	
<i>Saccoderma hastata</i>	Consumidor secundario ($\approx 2.8-3.0$)	Omnívoro; zooplancton, microcrustáceos, insectos y algas.	Especie característica de aguas tranquilas del Magdalena; participa en el flujo energético de la comunidad íctica.	Baja.
<i>Megalonema xanthum</i>	Consumidor secundario-alto (≈ 3.5)	Bentófago; consume larvas de insectos, crustáceos, anélidos y otros organismos del fondo	Bagre nativo del Magdalena-Cauca; representa el componente demersal de la comunidad.	Moderada a alta, por hábitos bentónicos y contacto permanente con sedimentos.
<i>Lasiancistrus caucanus</i>	Consumidor primario-secundario ($\approx 2.5-3.0$)	Detritívoro-perifítóforo; raspador de algas, biofilm y materia orgánica.	Especie endémica de la cuenca Cauca-Magdalena; contribuye al reciclaje de nutrientes.	Moderada, debido a la ingestión continua de sedimentos y perifiton.
<i>Sternopygus aequilabiatus</i>	Consumidor secundario (≈ 3.5)	Insectívoro; consume larvas acuáticas, pequeños crustáceos y otros invertebrados.	Pez eléctrico que cumple funciones de depredador de invertebrados en sistemas lóticos y lénticos.	Moderada.
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>	Consumidor secundario (≈ 3.4)	Insectívoro-bentófago; consume insectos acuáticos, larvas y pequeños invertebrados.	Pez eléctrico ampliamente distribuido; importante en cadenas tróficas de humedales y planicies inundables.	Moderada.
<i>Caquetaia kraussii</i>	Consumidor terciario (≈ 4.0)	Piscívoro y consumidor de invertebrados bentónicos.	Especie de importancia pesquera regional y consumo local en Colombia; relevante para la seguridad alimentaria de comunidades ribereñas.	Alta, debido a su carácter depredador y posición trófica elevada.
<i>Andinoacara latifrons</i>	Consumidor secundario-alto (≈ 3.5)	Omnívoro con tendencia carnívora; insectos, crustáceos, moluscos y materia vegetal.	Cíclido nativo común en sistemas andinos; importante en el control de invertebrados.	Moderada.
<i>Geophagus steindachneri</i>	Consumidor secundario (≈ 3.0)	Bentófago; tamiza sedimentos para obtener insectos, detritos	Importante en procesos de bioturbación y reciclaje de nutrientes.	Moderada a alta por alimentación directa sobre sedimentos.
<i>Oreochromis niloticus</i>	Consumidor primario-secundario ($\approx 2.0-2.8$)	Omnívoro; fitoplancton, perifiton, detritos y	Especie introducida de gran importancia para acuicultura y	Moderada; reconocida como especie utilizada

Especie	Nivel trófico	Hábitos alimenticios	Representatividad ecológica y/o socioeconómica	Capacidad bioacumuladora
		pequeños invertebrados.	seguridad alimentaria en Colombia.	frecuentemente en estudios de monitoreo de metales.
<i>Poecilia caucana</i>	Consumidor secundario (≈2.8)	Omnívoro; insectos, perifiton, algas y detritos.	Endémica de Colombia; utilizada como bioindicadora de calidad ambiental.	Moderada.
<i>Poecilia reticulata</i>	Consumidor secundario (≈2.5-2.8)	Omnívoro oportunista; insectos, zooplankton, algas y detritos.	Especie ampliamente distribuida y utilizada como bioindicadora en estudios ecotoxicológicos.	Moderada; alta tolerancia a ambientes perturbados y capacidad de acumular contaminantes trazas.

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2026

Tabla 5.2.2.1.16. Categoría de amenaza y estado de la ictiofauna

Especie	Nombre común	Endemismo	Libro rojo	UICN	Resolución 0126 de 2024
<i>Hyphessobrycon proteus</i>	Galocha, sardinita	SI	NE	LC	NE
<i>Hyphessobrycon ntagaima</i>	Galocha, sardinita	SI	NE	LC	NE
<i>Hyphessobrycon ocaseensis</i>	Galocha, sardinita	SI	NE	LC	NE
<i>Saccoderma hastata</i>	Sardina	SI	NE	LC	NE
<i>Megalonema xanthum</i>	Barbudo	SI	NE	LC	NE
<i>Lasiancistrus caucanus</i>	Cacucho, corronchito,	NO	NE	LC	NE
<i>Sternopygus aequilabius</i>	Mayupa o Caloche	SI	NE	LC	NE
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>	Pez cuchillo	NO	NE	LC	NE
<i>Caquetaia kraussii</i>	Mojarra amarilla	SI	NE	LC	NE
<i>Andinoacara latifrons</i>	Azulejo, casasola,	SI	NE	LC	NE
<i>Geophagus steindachneri</i>	Mojarra, mula	NO	NE	LC	NE
<i>Oreochromis niloticus</i>	Mojarra, tilapia del Nilo	SI	NE	LC	NE
<i>Poecilia caucana</i>	Pipona, piponcita	NO	NE	LC	NE
<i>Poecilia reticulata</i>	Pipon, bandera, gupi,	NO	NE	LC	NE

Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2026



Astyanax sp



Brachyhypopomus occidentalis



Hyphessobrycon ocaseensis



Hyphessobrycon natakaima



Hyphessobrycon proteus



Saccoderma hastata



Ancistrus sp.



Brycon sp.



Megalonema xanthum



Chaetostoma sp.



Lasiancistrus caucanus



Astroblepus sp



Trichomycterus sp.



Imparfinis sp.



Poecilia caucana



Poecilia reticulata



Cynodonichthys sp.



Andinoacara latifrons

Fotografía 5.2.2.1.2. Registro fotográfico de algunas de las especies de ictiofauna capturadas para el análisis toxicológico

Fuente: Integral S.A., 2026, tomado de SGS Colombia S.A.S., 2025

ii. Distribución de las especies entre los puntos de muestreo

La comunidad íctica se registró en 32 de los 40 puntos monitoreados. Los sitios de monitoreo que no presentaron registros fueron: N12 Rio Nus, N16 Rio Nus, CO3 Qda La

Colorada, C05 Qda Guasca, BO2 Qda. El Balsal, BO3 Qda.El Balsal, CO2 Qda.La Colorada, PO8 Afluente Qda La Palestina.

El análisis de la composición íctica evidenció diferencias importantes en la abundancia y distribución de las especies entre los puntos de muestreo evaluados en el río Nus y sus tributarios. Las especies más ampliamente distribuidas fueron: *Poecilia caucana*, con 145 individuos distribuidos en 24 estaciones de muestreo, siendo más abundante en LM 03 Quebrada La María (40 individuos), y *Geophagus steindachneri*, registrada en 21 de los 32 puntos evaluados y con un total de 111 individuos.

Entre los cíclidos nativos, *Andinoacara latifrons* registró 38 individuos distribuidos en 14 puntos de muestreo. La mayor abundancia se observó en PO3 Quebrada La Palestina, donde se capturaron 12 individuos.

Las especies de interés ecológico con menores abundancias presentaron distribuciones más restringidas. *Astyanax* sp. fue registrada únicamente en P10 Quebrada La Palestina, con 11 individuos, mientras que *Hyphessobrycon natagaima* se encontró en tres estaciones del río Nus (NO5, NO9 y NO8), con un total de 15 individuos, destacándose la estación NO5 con 7 individuos.

Hyphessobrycon proteus solo fue capturada en NO4, con 2 individuos, y *Hyphessobrycon ocaseensis* únicamente en SA 02 Quebrada San Antonio, con un individuo.

Dentro de los representantes de la familia Loricariidae, *Chaetostoma* sp. registró 8 individuos, de los cuales 7 fueron capturados en AN 04 Afluente Nus, evidenciando una marcada concentración espacial. *Lasiancistrus caucanus* fue registrado únicamente en NO8 Río Nus con un individuo, mientras que *Ancistrus* sp. presentó dos registros aislados, uno en PO3 Quebrada La Palestina y otro en AN03 Afluente Nus. Asimismo, *Astroblepus* sp. fue observado exclusivamente en AN 04 Afluente Nus, con un individuo.

Las especies de hábitos bentónicos o asociadas a fondos profundos fueron escasas. *Megalonema xanthum* alcanzó un total de 3 individuos. Por su parte, *Imparfinis* sp. se registró únicamente en PO7 Quebrada La Palestina, con un individuo, mientras que *Sternopygus aequilabiatus* fue capturado exclusivamente en NO7 Río Nus, también con un individuo.

Entre las especies introducidas o de interés pesquero, *Oreochromis niloticus* fue registrada únicamente en SA 02 Quebrada San Antonio, con un individuo. Igualmente, *Poecilia reticulata*, especie exótica de amplia distribución en ambientes intervenidos, presentó 17 individuos distribuidos en cuatro estaciones. Finalmente, *Brycon* sp. presentó 8 individuos distribuidos en tres estaciones.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la estación de monitoreo G03 Qda. Guasca registró la mayor riqueza durante el muestreo, con un total de 6 taxones, seguida por la estación. En contraste, el resto de las estaciones evaluadas reportaron valores de riqueza iguales o inferiores a 5 taxones (Figura 5.2.2.1.44).

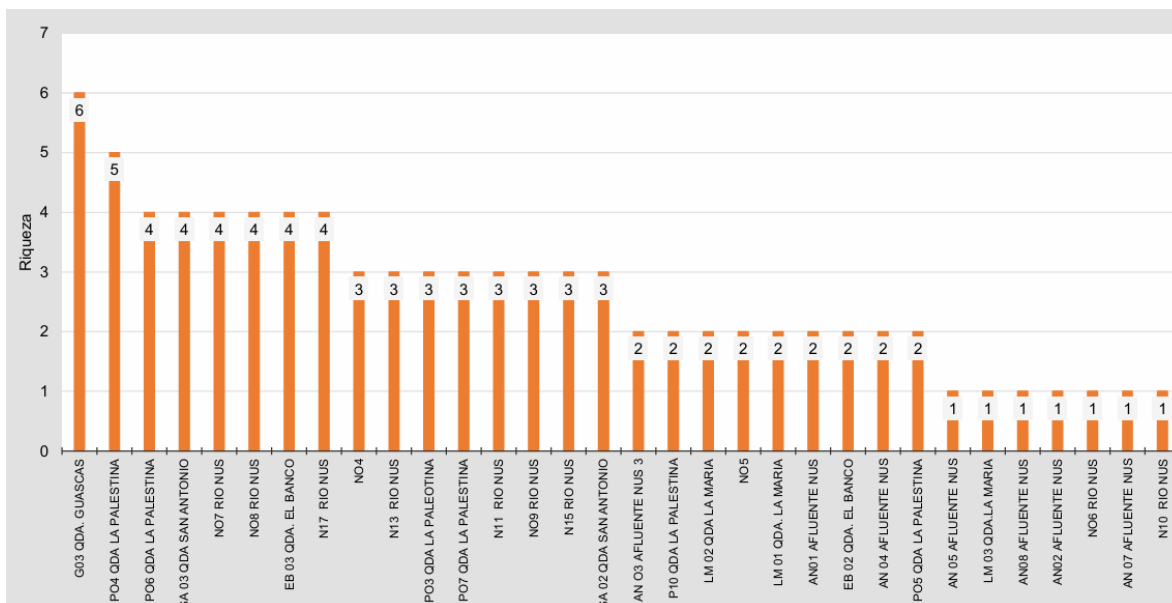


Figura 5.2.2.1.44. Riqueza de ictiofauna entre puntos de muestreo en temporadas de lluvias
Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

En términos de abundancia (Figura 5.2.2.1.45), como se mencionó en el apartado anterior, se registró un total de 626 ejemplares, siendo la estación AN 04 la que presentó la mayor cantidad de individuos con 50 registros, seguida por las estaciones G03 y ET 03, que reportaron 49 y 43 individuos, respectivamente. En contraste, los puntos de monitoreo NO1 Río Nus y NO3 Río Nus registraron la menor abundancia, con un solo individuo en cada uno.

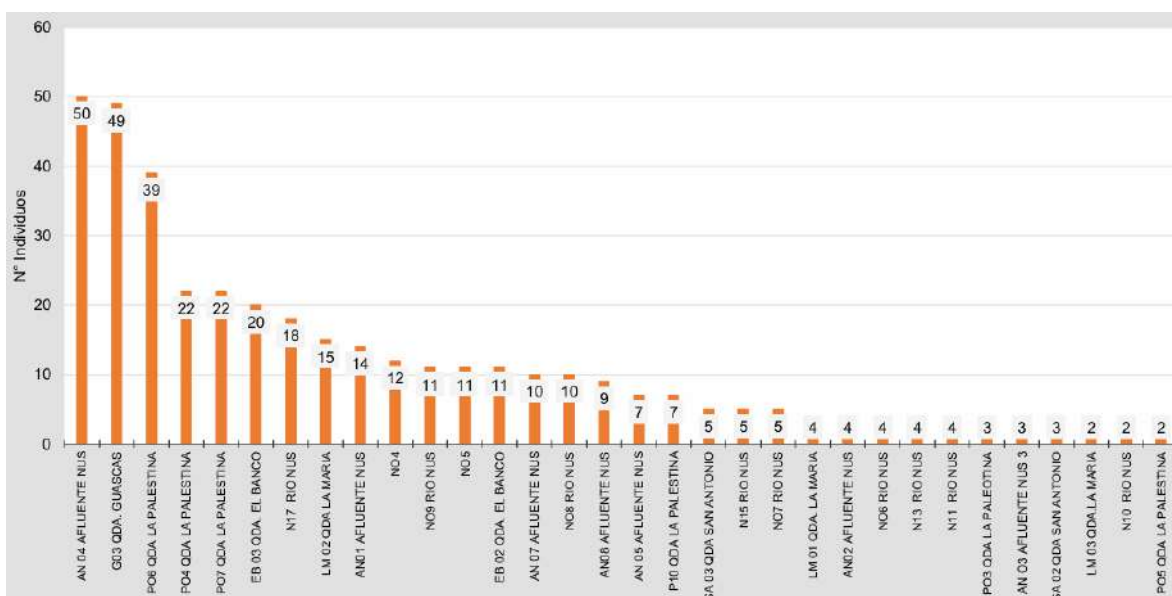


Figura 5.2.2.1.45. Abundancia de ictiofauna por punto de muestreo
Fuente: SGS Colombia S.A.S., 2025

II. Análisis de tejidos en peces

Las especies seleccionadas para el análisis de metales pesados corresponden a la totalidad de los taxones registrados durante las campañas de muestreo y representan una amplia diversidad de hábitos alimenticios, nichos ecológicos y niveles tróficos presentes en los ecosistemas evaluados. Asimismo, el análisis de metales pesados se realizó sobre muestras compuestas de peces por punto de muestreo, por lo que las concentraciones obtenidas representan el conjunto de individuos capturados en cada estación. En total, se evaluaron muestras provenientes de 26 puntos, con abundancias que variaron entre 2 y 50 individuos por sitio.

Los puntos con mayor número de organismos correspondieron a EB 03 (50 individuos), LM 03 (49 individuos), PO6 (39 individuos), PO7 (22 individuos), PO3 (22 individuos) y AN01 (20 individuos), mientras que otros sitios presentaron entre 2 y 15 individuos.

En la mayoría de los puntos, las muestras estuvieron dominadas por *Poecilia caucana*, *Geophagus steindachneri* y *Andinoacara latifrons*.

La mayoría de las estaciones registran concentraciones de arsénico, antimonio, cobalto, molibdeno, selenio y plomo por debajo de los límites de detección analítica o en concentraciones bajas. Sin embargo, se identifican incrementos puntuales de algunos metales, especialmente cadmio, cobre, mercurio y zinc, lo que sugiere aportes localizados asociados a procesos naturales o actividades antrópicas presentes en la zona de estudio (ver ANEXO_CHARACTERIZACION_ECO_ACUATICOS).

En cuanto al Antimonio (Sb), se detectaron concentraciones por encima del límite de detección en la estación PO7 Qda. La Palestina, con un valor de 3,5 mg Sb/Kg, respectivamente. Aunque no existe una normativa específica que regule los niveles de este elemento en tejidos de peces destinados al consumo humano, se ha documentado que el Antimonio puede estar presente de forma natural en rocas, aguas superficiales y suelos (Patiño, 2021). Dado que algunas especies ícticas, como *Geophagus steindachneri*, presentan hábitos alimenticios bentónicos, es posible que la presencia de este metal en los tejidos se relacione con su ingesta a partir de los sedimentos del entorno.

Para el caso del Cadmio (Cd), se detectaron concentraciones en las estaciones N13 Rio Nus, N11 Rio Nus y EB 02 Qda. El Banco, con valores que oscilaron entre 4,2 y 56,9 mg Cd/Kg. De acuerdo con lo establecido en la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Salud y Protección Social, el límite máximo permitido para este metal en carne de pescado destinada al consumo humano es de 0,05 mg/Kg, por lo que, los valores registrados en estas estaciones superan significativamente dicho umbral. Cabe mencionar que, algunos estudios han reportado procesos de bioacumulación natural de Cadmio asociados a la dieta de ciertos peces, en especial aquellas especies que se alimentan predominantemente de moluscos, los cuales tienden a bioacumular mayores niveles de este metal en sus tejidos (Storelli & Marcotrigiano, 2004), (Ortiz & Alama, 2015).

El Cobre (Cu) fue registrado en la mayoría de los puntos de muestreo, con concentraciones entre 1,5 (en AN01 Afluente Nus) y 187,6 mg Cu/Kg (en EB 02 Qda. El Banco). Este elemento no presenta una regulación específica en la legislación colombiana como producto fresco, sin embargo, en alimentos procesados como pescado congelado o enlatado su límite permisible es de 20 mg Cu/kg según la NTC 5264.

El Hierro (Fe) fue detectado en la mayoría de las estaciones de monitoreo, con concentraciones que oscilaron entre 48,9 y 2.650,8 mg Fe/kg. Aunque las normativas

consultadas no contemplan límites específicos para este elemento en tejidos de peces destinados al consumo humano, se destaca que su presencia en altas concentraciones puede estar relacionada con su papel como macroelemento esencial en los organismos acuáticos (Márquez, Senior, Martínez, Castañeda, & González, 2008). Asimismo, el Manganeseo (Mn) es considerado un metal esencial en el metabolismo enzimático de muchas especies de peces, por lo cual, fue registrado en casi todos los puntos de monitoreo analizados, con concentraciones entre 1,7 y 186,5 mg Mn/Kg.

El análisis de los tejidos permitió detectar concentraciones de mercurio por encima del límite de detección del método analítico ($<0,15$ mg/kg) en más de la mitad de las estaciones de monitoreo. En general, los valores obtenidos se mantuvieron por debajo o próximos al umbral establecido por la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Salud y Protección Social (0,3 mg Hg/kg). No obstante, se reportaron niveles elevados en las estaciones NO4 Río Nus y SA 03 Qda San Antonio, con concentraciones de 113,9 y 44,9 mg/kg, respectivamente, superando el valor máximo permitido por la normativa mencionada.

El Plomo (Pb) fue detectado en las estaciones NO4 Río Nus y N15 Río Nus, con concentraciones de 2,2 y 1,59 mg Pb/kg, respectivamente. De acuerdo con lo establecido en la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Salud y Protección Social, el límite máximo permitido para este metal en tejidos de pescado destinados al consumo humano es de 0,3 mg/kg. En este contexto, la mayoría de las muestras analizadas cumplen con dicho estándar, excepto aquellas correspondientes a las estaciones mencionadas, las cuales superan el umbral máximo permitido para consumo.

En cuanto al Vanadio (V), se detectaron concentraciones que oscilaron entre 1,70 y 5,79 mg V/kg. Este metal no cuenta con un valor límite establecido en la normativa consultada, su presencia en los tejidos puede estar asociada a su disponibilidad ambiental y su incorporación en las redes tróficas (Domínguez, 2021).

Finalmente, el Zinc (Zn) fue identificado en los tejidos de peces de la estación NO4 Río Nus con concentraciones de 113,9 mg Zn/kg, respectivamente. Este metal no se encuentra regulado por un valor máximo permisible en la Resolución 122 de 2012. Aunque el Zinc cumple funciones esenciales en los organismos acuáticos como micronutriente, se ha documentado que concentraciones elevadas en peces pueden inducir alteraciones fisiológicas, afectando principalmente estructuras como las branquias, aletas y órganos reproductivos (Márquez, Senior, Martínez, Castañeda, & González, 2008).

III. Conclusiones

Los resultados evidenciaron una variabilidad espacial importante en la acumulación de metales en los peces, con predominio de cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y mercurio (Hg).

Entre los hallazgos más relevantes se destaca el punto NO4 Río Nus, donde se registraron las mayores concentraciones de mercurio (113,9 mg/kg), hierro (2.650,78 mg/kg), zinc (113,90 mg/kg), cobre (55,2 mg/kg) y manganeso (77,77 mg/kg), a pesar de contar únicamente con 12 individuos en la muestra compuesta.

De igual forma, algunos puntos presentaron concentraciones elevadas para metales específicos. Por ejemplo, EB 02 registró el mayor valor de cobre (187,6 mg/kg) y la concentración más alta de cadmio (56,91 mg/kg). Asimismo, el punto SA03 presentó una concentración de mercurio de 44,9 mg/kg, valor considerablemente superior al observado en la mayoría de los demás sitios.

En contraste, los puntos con mayores abundancias de peces, como EB03 (50 individuos), LM03 (49 individuos) y PO6 (39 individuos), mostraron concentraciones relativamente bajas para la mayoría de los metales analizados, con niveles de mercurio inferiores a 0,3 mg/kg y concentraciones de cobre cercanas o inferiores a 3 mg/kg. Esto sugiere que una alta abundancia de individuos no implica necesariamente una mayor acumulación de metales en los tejidos.

En relación con las concentraciones por grupo de especies, los resultados obtenidos sugieren que las concentraciones de metales están estrechamente relacionadas con la composición de especies presente en cada punto de muestreo y con sus características ecológicas. En varios de los sitios donde se detectaron las concentraciones más elevadas de metales, la muestra estuvo conformada principalmente por especies bentónicas, bentófagas u omnívoras, como *Geophagus steindachneri*, *Poecilia caucana*, *Megalonema xanthum* y *Andinoacara latifrons*. Estas especies desarrollan gran parte de su actividad alimenticia en contacto directo con el sedimento o consumiendo organismos asociados al fondo, compartimento ambiental que generalmente actúa como reservorio de metales pesados. Por esta razón, son consideradas organismos con mayor potencial para incorporar elementos traza presentes en el ambiente y reflejar condiciones de contaminación local.

Particularmente, los valores elevados de cobre, hierro, manganeso y mercurio observados en algunos puntos del río Nus y quebradas tributarias podrían estar asociados a la presencia predominante de especies bentófagas como *Geophagus steindachneri*.

Finalmente, los resultados evidencian una variabilidad espacial importante en la acumulación de metales en peces dentro del área de estudio. Los valores más altos se asociaron principalmente a puntos localizados en el río Nus y algunas quebradas tributarias, donde también se registraron especies bentófagas y de niveles tróficos intermedios a altos, reconocidas por su capacidad para incorporar contaminantes desde los sedimentos y transferirlos a través de la red trófica. Por lo tanto, la interpretación de las concentraciones debe realizarse considerando simultáneamente la composición taxonómica de las muestras, la abundancia de individuos por punto y las características ecológicas de las especies reportadas en cada estación de muestreo.

5.2.2.1.7 Correlación fisicoquímica e hidrobiológica

El análisis canónico de correspondencia (CCA) es una herramienta multivariada que permite evaluar la relación entre las variables ambientales y la composición de las comunidades biológicas, identificando gradientes ecológicos que influyen en la distribución de especies (Ter Braak, 1986). Su objetivo es determinar cómo los factores fisicoquímicos del agua condicionan la estructura y abundancia de organismos como fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados y peces, proporcionando una visión integral de la dinámica ecológica en sistemas acuáticos.

Para este estudio se seleccionaron parámetros clave que reflejan la calidad del agua y las condiciones del hábitat (Tabla 5.2.2.1.17). La conductividad, el pH y la temperatura son determinantes en la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad del ecosistema (Wetzel, 2001). El oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno indican la capacidad del medio para sostener organismos aeróbicos (Chapman, 1996), mientras que los sólidos suspendidos y la turbidez afectan la penetración de luz y la productividad primaria (Allan & Castillo, 2007). El fósforo total y el nitrógeno amoniacal son nutrientes esenciales que

regulan el crecimiento del fitoplancton y perifiton, impactando la cadena trófica y la composición de las demás comunidades (Dodds, 2002).

Para la comunidad de fitoplancton, la variabilidad acumulada en los dos primeros ejes es de aproximadamente el 60,86% (Figura 5.2.2.1.46). El primer eje (Axis 1) refleja un gradiente asociado a la calidad fisicoquímica del agua, donde los valores positivos se relacionan con condiciones de mayor turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y demanda química de oxígeno (DQO), mientras que los valores negativos corresponden a ambientes con mayor conductividad y pH. Este patrón indica que los sitios ubicados hacia el extremo positivo del eje presentan influencia de arrastre y aporte de materia orgánica, característicos de eventos de lluvia, mientras que los sitios hacia el extremo negativo reflejan aguas más mineralizadas y estables. Por otra parte, el segundo eje (Axis 2) separa ambientes cálidos y turbios, con mayor carga orgánica, de aquellos más oxigenados y claros. Las variables temperatura, turbidez y SST se proyectan hacia el extremo positivo, mientras que el oxígeno disuelto lo hace hacia el extremo negativo. Esto sugiere que los valores positivos del eje 2 corresponden a condiciones propias de aguas con menor oxigenación y mayor mezcla, mientras que los negativos indican ambientes más fríos y bien oxigenados.

En cuanto a la distribución espacial, los sitios muestreados en temporada de lluvia se ubican principalmente hacia el lado positivo del eje 1, evidenciando la influencia del incremento de caudal y el arrastre de partículas, mientras que en temporada seca los puntos se concentran más cerca del extremo negativo del eje 2, asociado a mayor oxigenación. Algunos sitios, como B03_Se, N05_Se y AN02_Se, presentan proyecciones elevadas sobre los vectores de turbidez, SST, DQO y fósforo total, lo que evidencia que, aun en ausencia de lluvias, estos puntos reciben aportes significativos de materia orgánica y nutrientes, posiblemente asociados a descargas locales o procesos internos del sistema. Entre ellos, B03_Se se comporta como un outlier al mostrar un patrón más marcado de alta carga durante la temporada seca.

Respecto a las familias, Tabellariaceae, Orthoseiraceae, Melosiraceae, Microcoleaceae y Chaetophoraceae, se proyectan hacia el extremo positivo del eje 1, lo que sugiere una mayor afinidad por ambientes turbios y con alta carga orgánica. Por el contrario, familias como Aulacoseiraceae, Stephanodiscaceae, Achnanthidiaceae y Naviculaceae se asocian a aguas más a puntos con aguas claras y mineralizadas, ubicándose hacia el extremo negativo del eje 1. El eje 2 también muestra diferencias importantes: Tabellariaceae, Oedogoniaceae y Zygnemataceae se relacionan con ambientes cálidos y turbios, mientras que Microcystaceae, Hydrodictyaceae y Selenastraceae se asocian a condiciones más oxigenadas.

En conjunto, el ACC evidencia que la variación en la composición del fitoplancton está fuertemente condicionada por la dinámica estacional y los gradientes de turbidez, temperatura y oxígeno, lo que resalta la importancia de estos factores en la estructura de las comunidades en sistemas acuáticos.

Tabla 5.2.2.1.17 Parámetros fisicoquímicos obtenidos y evaluados en la correlación FQ-HB

Punto	Época	Conductividad (μS/cm)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	pH
AN01	Lluvia	30	25	0,05	1,22	6,6	4	24,4	2,69	7,23
	Seca	105	25	0,09	2,42	5,56	18,67	23,3	28	5,4
AN02	Lluvia	102	25	0,05	1	7,33	8,57	23,99	9,9	6,5
	Seca	103	28,39	0,05	1	7,13	4	29,36	1	5,76
AN03	Lluvia	58	120	0,05	1	5,95	19,33	24,1	24,8	6,16
	Seca	230	29,15	0,07	1	7,80	19,67	25,29	18,7	6,62
AN04	Lluvia	99	25	0,24	4,73	4,47	67,06	22,7	70,2	7,55
	Seca	448	27,92	0,43	3,52	8,12	14	22,70	14,5	6,3
AN05	Lluvia	188	28,24	0,05	1,21	4,46	13,51	23,75	7,3	6,54
	Seca	243	54,35	0,17	1	5,32	4,67	20,72	2,1	6,82
AN07	Lluvia	79	25	0,05	1	8,94	4	24,23	3,75	6,79
	Seca	137	42,6	0,06	1,44	8,02	4	21,89	3,36	6,6
AN08	Lluvia	120	25	0,05	1	6,99	10,75	23,72	11,4	6,83
	Seca	162	25	0,06	1,15	7,77	4	21,99	1,32	6,39
B02	Lluvia	297	28,76	0,05	1	8,27	40	23,51	4,2	7,58
	Seca	351	25	0,21	1	4,37	314,67	22,93	196	7,51
B03	Lluvia	269	28,24	0,05	1	8,78	1168,57	22,83	850	7,78
	Seca	299	31,25	0,61	1	6,85	1284	27,78	1384	6,34
C02	Lluvia	438	39,71	0,05	1,64	7,68	110	22,58	112	6,81
	Seca	385	26,34	0,12	2,53	1,76	274,4	22,8	241	7,13
C03	Lluvia	143	27,45	0,53	1	6,1	462,5	25,4	417	6,6
	Seca	285	38,39	0,46	1,32	1,29	348,8	22,98	342	7,76
EB02	Seca	93	27,92	0,06	1	8,23	4	22,02	3,13	6,8
	Lluvia	60	25,53	0,05	1,84	8,69	7,33	23,69	5,42	6,46

Punto	Época	Conductividad (µS/cm)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	pH
EB03	Seca	88	32,54	0,05	1	7,88	4,4	25,06	4,37	5,82
	Lluvia	44	25	0,05	1,58	8,45	4,67	27,03	4,68	5,09
G03	Lluvia	14	54,45	0,34	1	9,4	278,57	21,59	273	6,57
	Seca	85	25	0,05	3,89	8,27	4	22,17	2,78	7,55
G05	Lluvia	33	32,25	0,05	1	8,84	67,5	22,34	77,4	7,39
	Seca	69	26,75	0,05	4,93	8,41	4	22,29	3,66	6,62
LM01	Lluvia	83	25	0,05	1	7,44	13,71	24,25	14,2	7,58
	Seca	188	25	0,07	1	7,83	4	21,65	4,28	6,75
LM02	Lluvia	80	25	0,05	1	8,61	18,57	24,4	18,1	7,23
	Seca	203	26,81	0,06	1	8,25	4,8	22,41	3,05	6,71
LM03	Lluvia	182	25,76	0,05	1	7,35	25	23,77	19,2	7,86
	Seca	292	36,75	0,11	1	7,48	7,8	23,7	7,09	6,51
N04	Lluvia	63	25	0,07	1	7,47	23,2	23,07	21,7	7,34
	Seca	83	25	0,05	1	8,5	6,4	24,23	5,24	6,4
N05	Lluvia	55	25	0,14	1	7,49	10	24	20,1	5,68
	Seca	209	35,99	0,05	1	3,74	17,7	22,78	18,2	6,99
N06	Lluvia	96	56,67	0,25	1	7,16	646,67	21,95	680	6,71
	Seca	176	25	0,11	1	5,59	6,4	22,66	0,03	6,94
N07	Lluvia	63	60	0,09	1	7,73	792	22,7	391	6,78
	Seca	145	33,36	0,06	1	5,89	6	23,87	6,27	5,65
N08	Lluvia	33	73,33	0,16	1	8,08	316,67	23,42	381	5,85
	Seca	145	80,9	0,05	1	3,69	7,6	22,86	7,47	6,93
N09	Lluvia	16	46,67	0,2	1	7,14	592	25,15	487	6,46
	Seca	137	55,29	0,05	1	5,44	6,8	23,21	6,62	6,23
N10	Lluvia	57	25	0,07	1	8,27	57,33	22,72	62,5	6,97

Punto	Época	Conductividad (μS/cm)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	pH
	Seca	191	25	0,05	1	5,43	52	22,91	0,729	7,4
N11	Lluvia	45	64,71	0,11	1	8,3	53	23,51	65,9	6,08
	Seca	137	25	0,05	1	5,19	58	23,42	56,9	7,55
N12	Seca	139	32,19	0,05	1	7,52	12	26,03	12,8	7,27
	Lluvia	62	53,33	0,14	1	8,36	101,5	22,48	112	7,73
N13	Seca	143	33,77	0,05	1	7,66	16	23,79	15	5,83
	Lluvia	42	25	0,09	1	8,61	84,5	22,99	101	6,17
N15	Seca	145	31,25	0,05	1	7,14	53	22,56	53,7	6,84
	Lluvia	40	123,33	0,12	1	6,88	587,5	23,06	382	5,67
N16	Seca	99	25,4	0,05	1	7,76	33,4	22,48	27,8	7,07
	Lluvia	104	356,67	0,1	1	7,7	573,33	22,02	459	7,2
N17	Seca	95	33,77	0,05	1000	7,97	17,2	23,14	16	6,25
	Lluvia	32	670	0,21	1	8,21	905	22,54	810	6,74
P03	Lluvia	47	253,33	0,26	1	8,58	238,33	22,36	290	6,94
	Seca	167	25	0,11	1,55	8,47	23	21,28	15,6	6,99
P04	Lluvia	175	25	0,24	1	8,23	4	24,96	1,45	6,36
	Seca	213	25	0,07	2,37	7,89	4	22,56	1	7,94
P05	Lluvia	104	32,94	0,06	1	7,99	37,5	23,02	29,5	8,11
	Seca	173	25	0,85	1	8,04	4	21,46	3,5	6,57
P06	Lluvia	43	25	0,05	1,84	8,91	10	22,69	12,2	7,71
	Seca	169	25	0,08	1,38	8,35	5	22,31	4,18	6,69
P07	Lluvia	88	25	0,05	2,12	8,97	4	23,76	2,89	7,98
	Seca	172	42,77	0,15	1	8,18	6	22,28	5,34	7,13
P08	Lluvia	31	25	0,06	1	8,48	4	22,43	2,31	8,08
	Seca	139	25	0,15	2,45	7,49	24,8	21,06	22,1	7,88

Punto	Época	Conductividad (µS/cm)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Temperatura (°C)	Turbidez (NTU)	pH
P10	Lluvia	82	25	0,08	1	7,84	6,5	25,16	8,32	7,41
	Seca	177	25	0,08	3,04	8,06	4	25,06	1,93	7,5
SA02	Lluvia	82	8,55	0,44	1	7,16	18	24,22	14,7	7,58
	Seca	109	25	0,05	1	8,03	5,4	23,18	4,06	7,34
SA03	Lluvia	64	46,6	0,08	1	7,29	9,4	25,76	7,26	7,38
	Seca	105	25,58	0,05	1	7,95	6,8	23,49	5,96	7,6

Fuente: Integral S. A., 2025

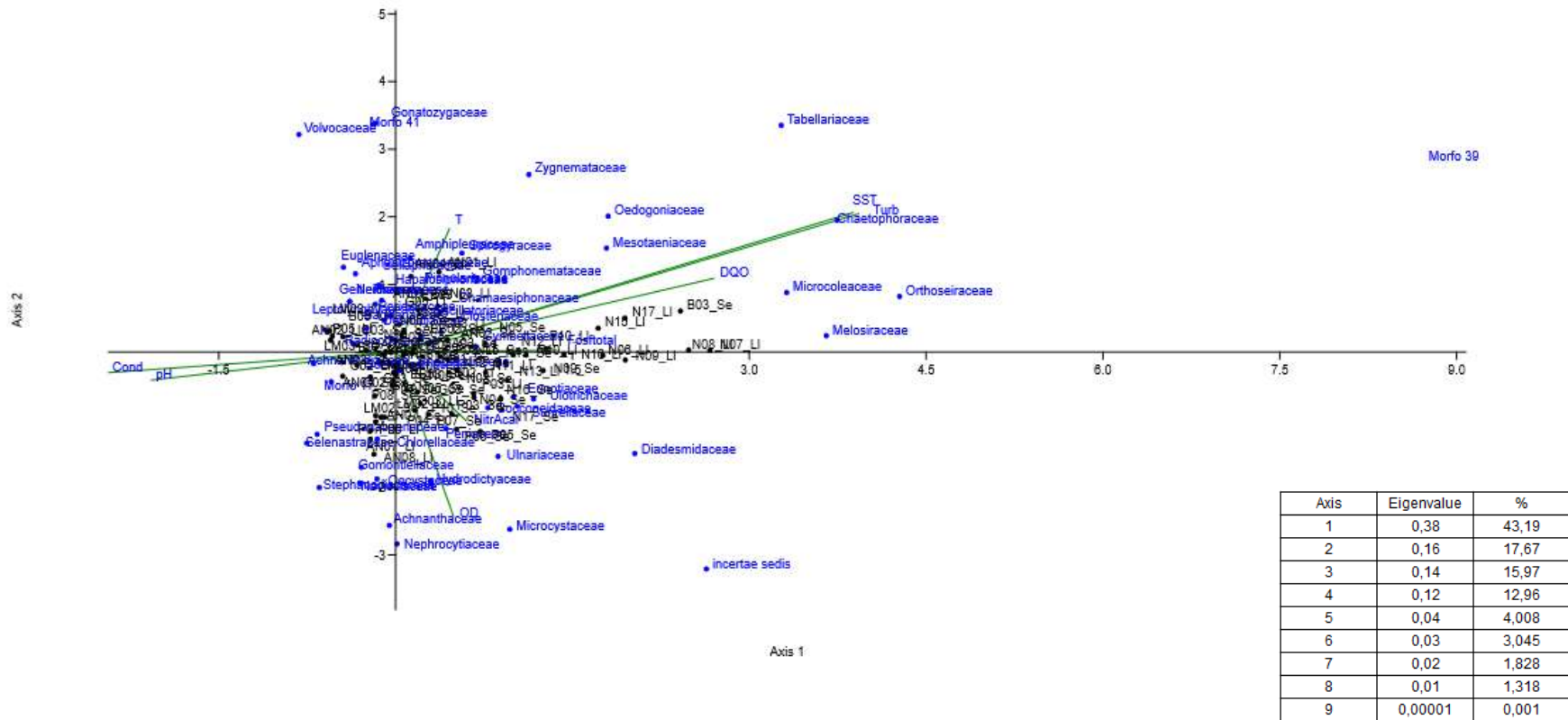


Figura 5.2.2.1.46 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad Fitoplanctónica
Fuente: Integral S. A., 2025

El análisis de correspondencia canónica (ACC), presentado en la Figura 5.2.2.1.47, permitió explorar las relaciones entre las comunidades de zooplancton, los puntos de muestreo en temporadas seca y lluviosa, y los parámetros fisicoquímicos evaluados. Los dos primeros ejes explicaron aproximadamente el 60,9 % de la inercia restringida (Eje 1: 37,02 %; Eje 2: 23,85%). El Eje 1 se asoció principalmente con el gradiente de conductividad y fósforo total, mientras que el Eje 2 reflejó variaciones relacionadas con la temperatura y el nitrógeno amoniacal. En sentido opuesto, valores negativos del Eje 2 se vincularon con pH, turbidez y sólidos suspendidos totales. Los centroides calculados para cada temporada mostraron que los puntos de la época seca se ubicaron hacia coordenadas positivas del Eje 1 y negativas del Eje 2, próximos al gradiente de conductividad y fósforo total, mientras que los puntos de la temporada lluviosa se concentraron hacia valores negativos del Eje 1 y positivos del Eje 2, asociados a mayor temperatura, nitrógeno amoniacal y oxígeno disuelto.

Durante la época seca, se destacaron Lepadellidae, Morfo 29, Morfo 42 y Clathrulinidae, ubicados en el cuadrante positivo del Eje 1 y negativo del Eje 2, en correspondencia con condiciones de mayor concentración de sales y fósforo. Por su parte, en la temporada lluviosa predominaron Brachionidae, Didiniidae, Nebelidae, Vorticellidae, Lecanidae y Morfo 15, asociados al cuadrante positivo del Eje 2, cercano a los vectores de temperatura y nitrógeno amoniacal. Otros taxones, como Paraquadrulidae, Euglyphidae y Diffugiidae, se localizaron en el cuadrante negativo del Eje 2, próximos a los gradientes de pH, turbidez y sólidos suspendidos.

Al comparar las posiciones de los sitios entre la temporada seca y la lluviosa, se observan cambios claros en relación con las variables ambientales. Sitios como EB03 y AN05 se desplazaron hacia arriba en el gráfico (Eje 2 positivo), lo que indica que durante la temporada de lluvias aumentaron la temperatura y el nitrógeno amoniacal. En cambio, el sitio N15 durante la temporada de lluvias se movió hacia la derecha (Eje 1 positivo), asociado a mayor conductividad y fósforo total. Otros sitios, como AN03, AN04 y P06 durante la temporada de lluvias, cambiaron hacia la dirección de oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno, reflejando variaciones en la calidad del agua entre ambas temporadas. Estos movimientos muestran que la comunidad de zooplancton responde a los cambios en las condiciones fisicoquímicas que ocurren con la transición de seca a lluvia.

Estos desplazamientos entre seca y lluvia reflejan la capacidad del zooplancton para responder a variaciones en la disponibilidad de nutrientes y en las condiciones fisicoquímicas del agua. El aumento de temperatura y nitrógeno amoniacal durante la temporada lluviosa favorece la presencia de familias como Brachionidae, Nebelidae, Vorticellidae, Lecanidae, Notommatidae, Morfo 15, Morfo 26, Morfo 17 y Didiniidae, mientras que, en la época seca, el incremento en conductividad y fósforo total beneficia a grupos como Lepadellidae, Clathrulinidae, Morfo 29, Morfo 42 y Morfo 34. Asimismo, los movimientos hacia gradientes de oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno evidencian ajustes en la comunidad frente a cambios en la calidad del agua y en los procesos de descomposición orgánica. En conjunto, estos patrones muestran que la estructura del zooplancton está estrechamente ligada a la dinámica estacional y a la variabilidad ambiental del sistema.

Axis	Eigenvalue	%
1	0,27	37,02
2	0,18	23,85
3	0,11	14,7
4	0,07	8,832
5	0,06	8,628
6	0,03	3,41
7	0,02	2,412
8	0,01	1,141
9	1,19E-05	0,002

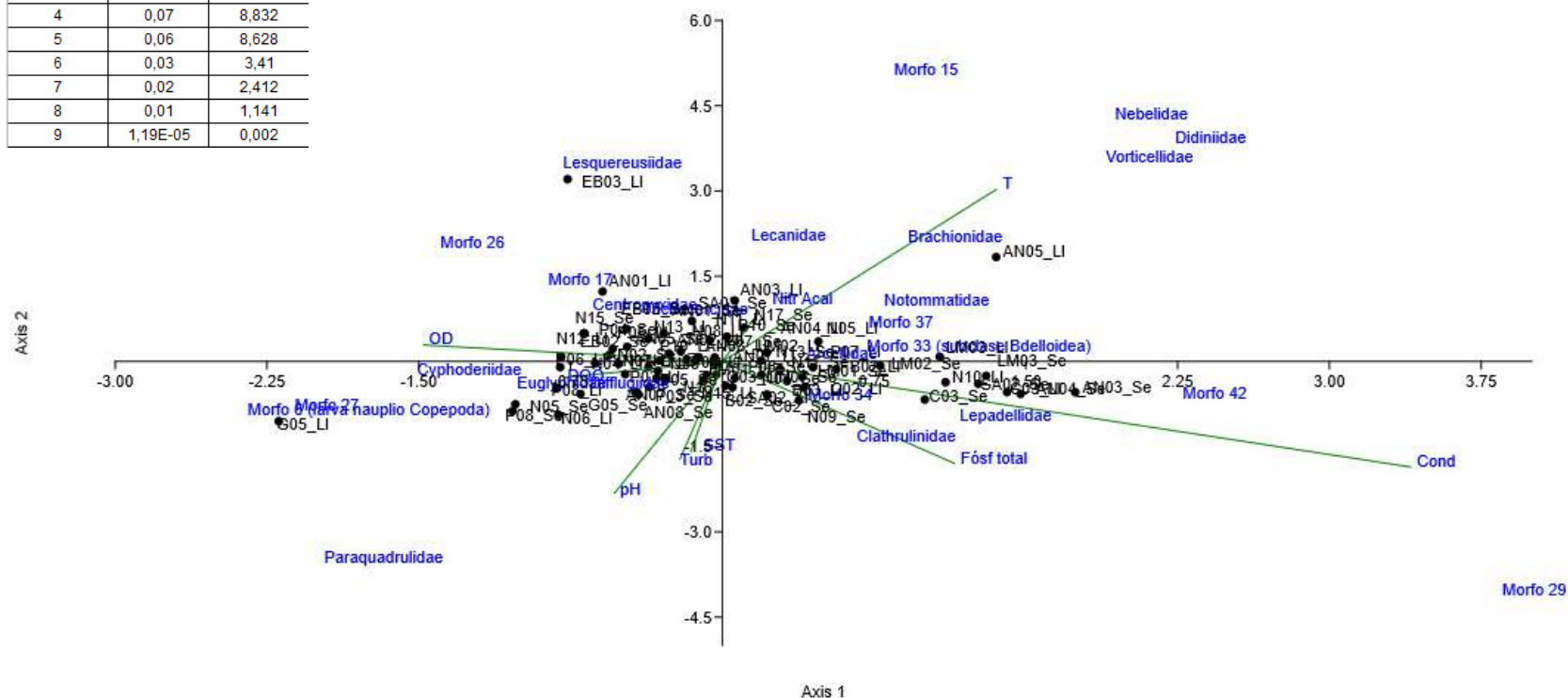


Figura 5.2.2.1.47 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad Zooplanctónica
Fuente: Integral S. A., 2025

El análisis de correspondencia canónica aplicado a las comunidades de perifiton, presentado en la Figura 5.2.2.1.48, permitió identificar los principales gradientes ambientales que estructuran la composición biológica en los puntos de muestreo. Los dos primeros ejes explicaron aproximadamente el 51,24 % de la variabilidad acumulada. El Eje 1, que explica el 34,48 % de la inercia restringida, separa ambientes más cálidos (valores positivos, asociados a la variable Temperatura) de aquellos con mayor conductividad, pH y oxígeno disuelto (valores negativos). Por su parte, el Eje 2 (16,76 % de la inercia) refleja un gradiente relacionado con carga orgánica y material particulado (variables DQO, SST, Turbidez) y nitrógeno amoniacal, frente a condiciones con menor influencia de estos factores.

En términos biológicos, las familias de perifiton más asociadas a temperaturas elevadas (Eje 1 positivo) fueron Zygnemataceae, Aphanizomenonaceae y Audouinellaceae, junto con Diploneidaceae y Chaetophoraceae, lo que indica preferencia por aguas cálidas y menos conductivas. En contraste, el extremo negativo del Eje 1, vinculado a conductividad y pH altos, agrupó familias como Cocconeidaceae, Orthoseiraceae, Mesotaeniaceae, Melosiraceae y Rhopalodiaceae, características de ambientes más alcalinos y oxigenados. Respecto al Eje 2, las familias Sphaeropleaceae, Oocystaceae, Hydrodictyaceae y Melosiraceae se asociaron a condiciones con mayor carga orgánica y sólidos suspendidos, mientras que Chlamydomonadaceae, Ulnariaceae y Stephanodiscaceae se ubicaron en el extremo opuesto, indicando afinidad por aguas más claras y con mejor oxigenación.

Durante la época de lluvia, el agua presenta mayor cantidad de materia orgánica, partículas y amonio, mientras que en la seca se caracteriza por ser más clara, con mayor oxígeno disuelto y conductividad. Esto se refleja en la distribución de los puntos: en lluvia predominan zonas asociadas a turbidez y nutrientes, y en seca, áreas que indican mejor calidad del agua. En la zona más cálida se ubican los puntos AN01_LI, B03_LI, N05_LI, B03_Se, AN02_Se, SA03_LI, AN07_LI y AN02_LI. La presencia de puntos de ambas temporadas en esta área muestra que la variabilidad térmica depende más de condiciones locales que de los puntos de muestreo, respondiendo a factores propios del microhábitat, como exposición solar y velocidad del flujo. Por otro lado, en el área de mayor carga orgánica se encuentran N16_LI, P03_LI, N17_Se, N06_LI, N17_LI, N09_LI, B02_Se, C03_Se, N15_LI, N08_LI, N16_Se, N10_LI, C02_Se y AN08_LI, lo que indica ambientes con alta disponibilidad de nutrientes y sólidos, favoreciendo el crecimiento de perifiton adaptado a condiciones eutróficas. Finalmente, en la zona cercana al vector de conductividad, pH y oxígeno disuelto, y alejada de las variables asociadas a carga orgánica y sólidos, se ubican los puntos B02_LI, N13_Se, LM03_LI, P05_LI, LM02_LI, LM03_Se, G03_Se, P03_Se, N10_Se, AN05_LI, P10_Se, LM02_Se, P07_Se, P04_LI, C03_LI, P06_Se, N11_Se, G05_Se, P04_Se y N04_Se, que representan ambientes más estables y oxigenados, donde predominan especies indicadoras de buena calidad del agua.

Aunque existe un patrón general que diferencia la época de lluvia (más materia orgánica, turbidez y amonio) de la seca (aguas más claras, con mayor oxígeno y conductividad), la distribución de los puntos muestra que en cada zona hay sitios de ambas temporadas. Esto ocurre porque la estacionalidad no es el único factor que determina las condiciones del agua. Variables locales como cobertura vegetal, exposición solar, velocidad del flujo, profundidad y aportes puntuales de nutrientes influyen en la temperatura, la turbidez y la concentración de sólidos. Por ello, encontramos puntos de seca en zonas cálidas (p. ej., B03_Se) y puntos de lluvia en áreas más limpias (p. ej., B02_LI). El patrón estacional se

mantiene en promedio, pero la variabilidad espacial genera excepciones que reflejan la heterogeneidad del sistema.

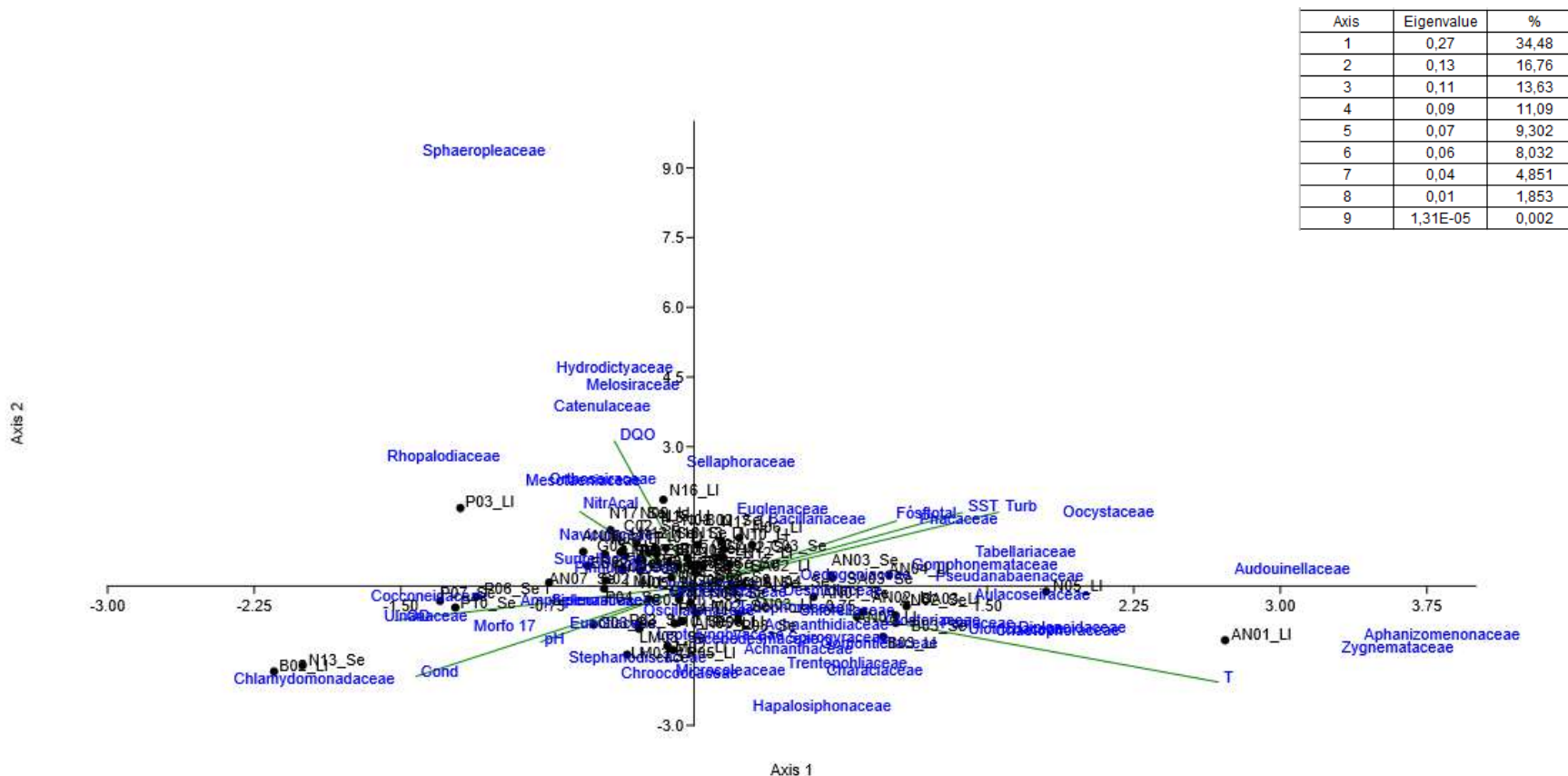


Figura 5.2.2.1.48 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad perifítica
Fuente: Integral S. A., 2025

El análisis de correspondencia canónica (CCA) realizado para las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, presentado en la Figura 5.2.2.1.49, explica en los dos primeros ejes el 64,4% de la varianza atribuible a los factores ambientales. El Eje 1 contrasta la conductividad y la demanda química de oxígeno en el extremo positivo frente al oxígeno disuelto en el extremo negativo, mientras que el Eje 2 diferencia los sólidos suspendidos totales y la turbidez (extremo negativo) frente a los nutrientes (fósforo total, nitrógeno amoniacal) y el pH (extremo positivo). En términos espaciales, los sitios muestreados en temporada de lluvia se agrupan hacia el extremo negativo del Eje 2, lo que refleja condiciones con mayor arrastre y material suspendido. Por el contrario, los sitios en temporada seca tienden a ubicarse hacia el extremo positivo del Eje 2, asociado a mayores concentraciones de nutrientes y pH, y hacia el extremo positivo del Eje 1, relacionado con mayor conductividad.

Los cambios estacionales más marcados se observaron en los puntos N05, N11 y N10, con distancias superiores a dos unidades en el plano CCA, lo que indica una transición significativa en sus condiciones ambientales entre temporadas. En el caso de N05, el desplazamiento fue hacia el extremo positivo del Eje 2, asociado a mayor concentración de nutrientes y pH en la temporada seca, mientras que N11 y N10 se movieron hacia el extremo negativo del Eje 2, vinculado a condiciones de mayor turbidez y sólidos suspendidos. Otros puntos como P05, N17, N06, N08 y N07 también mostraron desplazamientos importantes hacia el extremo positivo del Eje 2 durante la temporada seca, reflejando una tendencia hacia ambientes más enriquecidos en nutrientes. Estos patrones sugieren que la variación estacional está fuertemente ligada a los gradientes de SST y turbidez durante la lluvia y a los gradientes de nutrientes y conductividad en la época seca.

En cuanto a las asociaciones entre taxa y gradientes, las familias ubicadas en el extremo positivo del Eje 2, como Lymnaeidae, Lampyridae, Leptohyphidae, Dugesidae y Notonectidae, se relacionan con ambientes caracterizados por mayores concentraciones de fósforo total y nitrógeno amoniacal, valores más altos de pH y menor turbidez y sólidos suspendidos. Por otro lado, las familias situadas en el extremo negativo del Eje 2, como Sciaridae, Helicopsychidae, Gerridae, Heteroceridae y Thiaridae, se asocian a condiciones de mayor turbidez y sólidos suspendidos totales, vinculadas a mayor arrastre y turbulencia durante la temporada lluviosa. El extremo positivo del Eje 1, vinculado a mayor conductividad y demanda química de oxígeno (DQO), agrupa taxa como Corixidae, Chironomidae y Glossiphoniidae, mientras que el extremo negativo, asociado a mayor oxígeno disuelto, incluye grupos sensibles como Perilestidae, Oligoneuriidae y Xiphocentronidae (Roldán, 2003; Bauernfeind & Moog, 2000; Giraldo-Quintero, 2004).

Aunque el patrón general indica que en lluvia predominan los gradientes de turbidez y sólidos suspendidos, y en seca los de nutrientes y conductividad, se presentaron excepciones. Los puntos N11 y N10 mostraron cambios grandes, pero hacia el extremo negativo del Eje 2, asociados a turbidez en seca. Además, algunos sitios secos (B03_Se, EB02_Se, N16_Se, N11_Se) también se alinearon con turbidez, mientras que en lluvia otros (N11_LI, LM02_LI, P06_LI, N10_LI, P10_LI) se ubicaron hacia el extremo positivo del Eje 2, reflejando altos nutrientes y pH. Estas excepciones sugieren aportes locales, Re-suspensión o descargas puntuales que influyen en la respuesta estacional.

Axis	Eigenvalue	%
1	0,42	46,10
2	0,17	18,30
3	0,10	10,91
4	0,08	8,93
5	0,06	6,44
6	0,04	4,71
7	0,02	2,48
8	0,02	2,13
9	2,19E-05	0,002

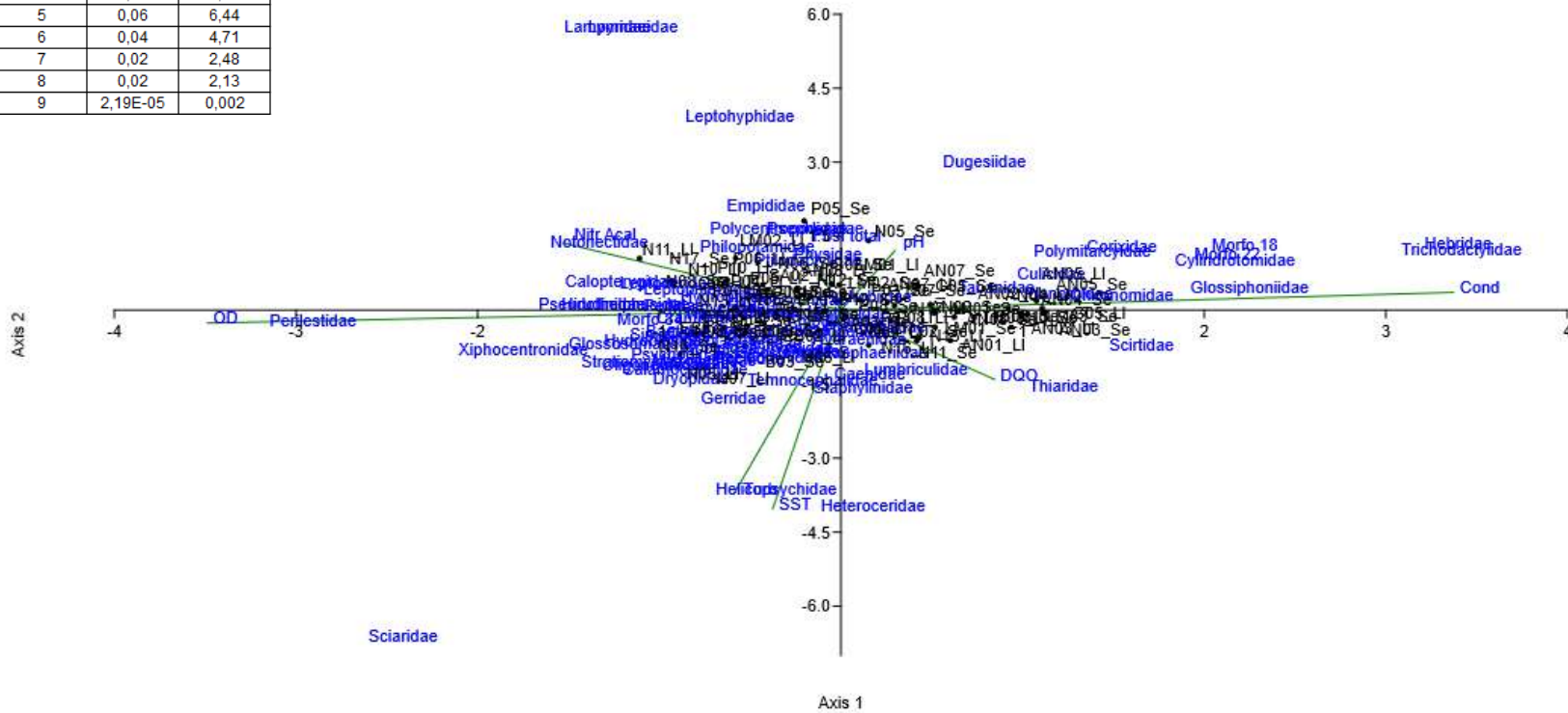


Figura 5.2.2.1.49 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados acuáticos
Fuente: Integral S. A., 2025

El análisis de correspondencia canónica (CCA) aplicado a la comunidad de peces permitió identificar un 67,12% de variabilidad explicada por los parámetros fisicoquímicos evaluados (Figura 5.2.2.1.50). El primer eje, representa un gradiente asociado principalmente a oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales y turbidez en su extremo positivo, mientras que en el extremo negativo se ubican pH y conductividad. Esto indica que los sitios con valores altos en este eje presentan aguas más oxigenadas y con mayor carga orgánica y particulada, mientras que los valores negativos reflejan ambientes más mineralizados y menos turbios. Por otra parte, el segundo eje, está dominado por los sólidos suspendidos totales y la turbidez en su extremo positivo, lo que sugiere que este eje captura el gradiente de material particulado en suspensión, típico de eventos de arrastre durante la temporada lluviosa.

Los puntos de la temporada seca tienden a agruparse hacia el lado positivo del primer eje, asociados a mayor oxigenación y carga orgánica, mientras que los de la temporada lluviosa se desplazan hacia el extremo positivo del segundo eje, reflejando condiciones con mayor turbidez y sólidos suspendidos. En cuanto a las familias de peces, se observan asociaciones consistentes con estos gradientes. Characidae, Cichlidae, Bryconidae y Pimelodidae se ubican hacia el lado positivo del primer eje, mostrando afinidad con aguas más oxigenadas y con mayor materia orgánica. Por otro lado, Poeciliidae, Heptapteridae y Trichomycteridae se orientan hacia el extremo negativo del primer eje, vinculadas a ambientes con mayor conductividad y pH, posiblemente más estables y menos influenciados por arrastre. Sternopygidae destaca por su posición extrema en el segundo eje positivo, lo que indica una fuerte relación con altos niveles de turbidez y sólidos suspendidos, condiciones que se intensifican en la temporada lluviosa. Loricariidae, en cambio, se ubica hacia el segundo eje negativo, lo que sugiere preferencia por aguas más claras y con menor carga de partículas.

Los puntos muestreados reflejan estos patrones: durante la temporada seca, EB02_Se, EB03_Se y LM01_Se se sitúan en el extremo positivo del primer eje, mientras que, en la temporada lluviosa, N07_LI y N09_Se se destacan por sus valores altos en el segundo eje, asociados a condiciones extremas de turbidez. Esta diferenciación estacional indica que la estructura de la comunidad íctica responde tanto a la calidad del agua como a la dinámica de sólidos suspendidos. Los resultados evidencian que la variabilidad ambiental entre temporadas influye significativamente en la distribución de las familias ícticas.

Aunque el análisis muestra una tendencia general clara entre temporadas y gradientes ambientales, se identificaron outliers que reflejan condiciones extremas. El más evidente es N07_LI, ubicado en el extremo positivo del segundo eje junto con Sternopygidae, ambos asociados a altos niveles de sólidos suspendidos y turbidez, posiblemente por crecientes súbitas o arrastre de sedimentos en época lluviosa. También destacan EB02_Se y EB03_Se hacia el extremo positivo del primer eje, indicando aguas muy oxigenadas, mientras que varios puntos (AN02_LI, AN04_LI, AN04_Se, AN05_LI, AN05_Se, AN07_LI y AN08_LI) se concentran en valores muy negativos del primer eje, sugiriendo ambientes más mineralizados y estables. Estos casos reflejan la heterogeneidad natural de los ecosistemas fluviales, donde factores locales como geomorfología, conectividad y variaciones de caudal generan condiciones particulares que influyen en la estructura de las comunidades.

Axis	Eigenvalue	%	% of total inertia
1	0,22	41,56	11,6
2	0,14	25,56	7,134
3	0,10	18,23	5,086
4	0,06	10,51	2,933
5	0,02	3,149	0,8787
6	0,0040	0,74	0,2062
7	0,0012	0,22	0,0623
8	0,0001	0,02	0,005649
9	1,64E-08	3,06E-06	8,53E-07

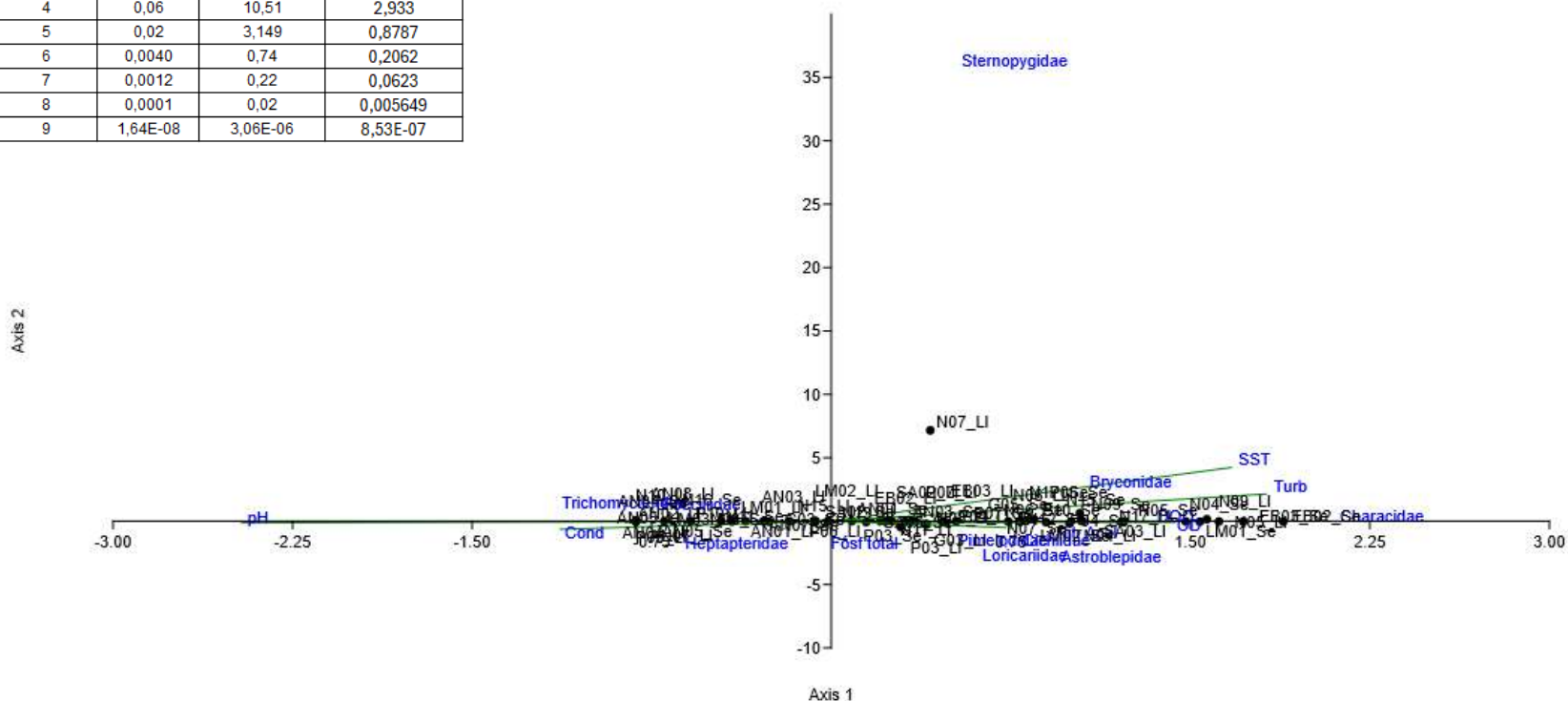


Figura 5.2.2.1.50 ACC de las variables fisicoquímicas y la comunidad de peces
Fuente: Integral S. A., 2025

BIBLIOGRAFIA

- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters* (Segunda ed.). Springer Dordrecht. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5583-6>
- Bauernfeind, E., & Moog, O. (2000). Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity : a methodological approach. *Hydrobiologia*, 422, 71–83. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1017090504518>
- Baumann, K. A., Scholl, E. A., Rantala, H. M., & Whiles, M. R. (2024). Macroinvertebrate community responses to disturbance in a fragmented river with contrasting legacies of alteration. *River Research and Applications*, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1002/rra.4385>
- Benítez-Fernández, N. C., Valadez-Rocha, V., Pérez-Legaspi, I. A., Morales-Castro, E., & Fuentes-Meza, C. (2021). Variación estacional en la distribución y diversidad de rotíferos del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Hidrobiológica*, 31(3), 209–219.
- Biggs, B. F., & Close, M. E. (1989). Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flows and nutrients. *Freshwater Biology*, 22, 209–231. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1989.tb01096.x>
- Burress, E. D. (2015). Cichlid fishes as models of ecological diversification: Patterns, mechanisms, and consequences. *Hydrobiologia*, 748, 7–27. doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-014-1960-z>
- Cajado, R. A., de Oliveira, L. S., Sanches-Corrêa, J. M., Souza da Silva-Cajado, F. K., & Zacardi, D. M. (2025). Seasonal hydrology shapes the taxonomic and functional diversity of fish associated with aquatic macrophytes in a Neotropical floodplain lake. *Aquatic Sciences*, 87(52). doi:<https://doi.org/10.1007/s00027-025-01179-x>
- Casartelli, M. R., Lavagnoli, G. J., & Ferragut, C. (2016). Periphyton biomass accrual rate changes over the colonization process in a shallow mesotrophic reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 28(e9), 1-9. doi:<https://doi.org/10.1590/S2179-975X0116>
- Chaparro, G. N. (2013). *Influencia del nivel hídrico y de la macrofitia en los patrones espaciales y temporales del zooplancton de una laguna de inundación*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Chapman, D. V. (Ed.). (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (Segunda ed.). Londres: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9781003062103>
- Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E., & Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas*, 13(12), 1-10. Obtenido de <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/investigacion3.htm>

- Criales-Hernández, M. I., Sánchez-Lobo, D. M., Rueda-Parra, A. M., & López-Gómez, S. M. (2023). Diversidad y estructura de la comunidad zooplanctónica en la Ciénaga de Paredes. *Acta Biológica Colombiana*, 28(1), 95-108.
- Cruz-Rosado, L., Contreras-Sánchez, W. M., Hernández-Vidal, U., Gómez-Gutiérrez, J., Contreras-García, M. J., & Mcdonal-Vera, A. (2020). Seasonal variability of near-surface zooplankton community structure in the southern Gulf of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(4), 649–664.
- De la Ossa-Guerra, L. E., Santos, M. H., & Artoni, R. F. (2020). Diversidad genética del cíclido Andinoacara latifrons (Steindachner, 1878) como estrategia de conservación en diferentes cuencas colombianas. *Frontiers in Genetics*, 11(815). doi:<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00815>
- Dodds, W. K. (2002). *Freshwater ecology : concepts and environmental applications*. Academic Press.
- Echaniz, S., Vignatti, A., Cabrera, G., Kihn, R., & Stella, C. (2021). Diversidad del zooplancton en ecosistemas acuáticos del noreste de La Pampa (Argentina). *evista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 23(2), 167-178.
- Echevarría, G., Rodríguez, J. P., & Machado-Allison, A. (2019). Seasonal organization of Siluriformes assemblages by their morphological traits in the Arauca river floodplain, Venezuela. *Limnetica*, 38(2), 705–718. Obtenido de <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-38-2-p-705.pdf>
- Fitzgerald, D. B., Winemiller, K. O., Sabaj Pérez, M. H., & Sousa, L. M. (2017). Seasonal changes in the assembly mechanisms structuring tropical fish communities. *Ecology*, 98(1), 21-31. Obtenido de <https://aquaticecology.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/3/2012/07/Fitzgerald-et-al-2017-Ecology.pdf>
- García-Alzate, C. A., Taphorn, D. C., Roman-Valencia, C., & Villa-Navarro, A. (2015). Hyphessobrycon natagaima (Characiformes: Characidae) a new species from Colombia, with a key to the Magdalena Basin Hyphessobrycon species. *Caldasia*, 37(1), 221. doi:<https://doi.org/10.15446/caldasia.v37n1.51228>
- Giraldo-Quintero, G. (2004). Bioindicación de la calidad del agua en corrientes altoandinas. *Tecnura*, 7(14), 17-23. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.6172>
- Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Salgado-Ugarte, I. H., & Sánchez-Herrera, A. K. (2008). Reproduction of the fish Poeciliopsis gracilis (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in a tropical shallow lake in Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1801–1812.
- Gouveia, E. J., Rondon, P. L., & Suárez, Y. R. (2022). Feeding ecology of Eigenmannia desantanai (Gymnotiformes: Sternopygidae) in southern Pantanal, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 34(e2), 1-10. doi:<https://doi.org/10.1590/S2179-975X9820>
- Guerrero L., M. C., Pinilla-Agudelo, G., & Estrada G., I. J. (2021). Ecología funcional de las algas perifíticas en el Chocó colombiano: limitación de recursos, competencia y variables ambientales. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 331-351.
- Guisande, C., Pelayo-Villamil, P., Vera, M., Manjarrés-Hernández, A., Carvalho, M. R., Vari, R. P., . . . Duque, S. R. (2012). Ecological factors and diversification among

- Neotropical Characiforms. *International Journal of Ecology*, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1155/2012/610419>
- Hamid, M. A., Md Sah, A. S., Idris, I., Mohd Nor, S. A., & Mansor, M. (2023). Impacts of tilapia aquaculture on native fish diversity at an ecologically important reservoir. *PeerJ*, 11(e15986), 1-19. doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.15986>
- Helfman, G. S., Collette, B. B., & Facey, D. E. (2009). *The diversity of fishes: Biology, evolution, and ecology* (Segunda ed.). Wiley-Blackwell. doi:<https://doi.org/10.1002/9781444316044>
- Hernández-Abrams, D. D., Connelly, S., Freeman, M. C., Gutiérrez-Fonseca, P. E., & Wenger, S. J. (2023). Seasonal variability in macroinvertebrate assemblages in paired perennial and intermittent streams in Costa Rica. *Hydrobiologia*, 850, 215–230. doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-022-05055-9>
- Huertas-Farías, K., Guevara, G., & Reinoso-Flórez, G. (2023). Fitoplancton de un humedal tropical somero de zonas bajas y su relación con variables fisicoquímicas. *Acta Biológica Colombiana*, 28(1), 75 - 85. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/abc.v28n1.97060>
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river–floodplain systems. En D. P. Dodge, *Proceedings of the International Large River Symposium* (págs. 110-127). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences.
- Karr, J. R., & Chu, E. W. (1999). *Restoring life in running waters: Better biological monitoring*. Island Press. Obtenido de <https://islandpress.org/books/restoring-life-running-waters>
- Komárek, J., & Anagnostidis, K. (2005). *Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales*. Akademischer Verlag.: Elsevier/Spektrum.
- Larned, S. T. (2010). A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), 182–206. doi:<https://doi.org/10.1899/08-063.1>
- Lee, R. E. (2008). Euglenophyta. En *Phycology* (págs. 245–261). Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/CBO9780511812897.010>
- López M., M. T., De Mattos B., C. E., Echenique, R. O., Ramírez-Restrepo, J. J., & Palacio, J. A. (2017). Charophyta, Chlorophyta y Cryptophyta del embalse Riogrande II (Antioquia), Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 50-67. doi:<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21068/c2017.v18n01a4>
- López-Giraldo, A. T., Ríos-Pulgarín, M. I., & Gil-Guarín, I. C. (2023). Características del hábitat que regulan la estructura de las comunidades de macroinvertebrados en ríos tropicales de montaña (Antioquía, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 71(1), 1–25. doi:<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.52093>
- Lundberg, J. G., & Dahdul, W. M. (2008). Two new cis-Andean species of the South American catfish genus *Megalonema* allied to trans-Andean *Megalonema xanthum*, with description of a new subgenus (Siluriformes: Pimelodidae). *Neotropical Ichthyology*, 6(3), 439-454. doi: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252008000300018>
- Maldonado-Ocampo, J., Ortega-Lara, A., Usma, J. S., Galvis V., G., Villa-Navarro, F. A., Vásquez G., L., . . . Ardila R., C. (2012). *Peces de los Andes de Colombia: Guía de*

- campo. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos «Alexander von Humboldt».
- Mancera, N., & Álvarez, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *11*, 3-23. *Acta Biológica Colombiana*.
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., Castañeda, J., & González, Á. (2008). Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la Laguna de Castillero, Venezuela. *18*(2), 121-133. *Revista científica*.
- Martínez-Cuesta, L. M., & Mosquera-Murillo, Z. (2022). Variación espacial de la comunidad de algas del perifiton en quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *46*(178), 192–205. doi:<https://doi.org/10.18257/raccefyn.1593> [www.scielo.org.co]
- Mazzoni, T. S., Viadanna, R. R., & Quagio-Grassiotto, I. (2021). Effects of salinity variation on the survival and reproductive success of *Xiphophorus maculatus* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Aquaculture Research*, *52*(12), 6270–6283. doi:10.1111/are.15499
- Mecalco-Hernández, Á., Castillo-Rivera, M. A., Sanvicente-Añorve, L., Flores-Coto, C., & Álvarez-Silva, C. (2018). Variación estacional y nictímera en la distribución del zooplankton dominante en una laguna costera tropical. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, *53*(1), 39–49. doi:<https://doi.org/10.4067/S0718-19572018000100039>
- Mellado-Hernández, S. V., Rangel-Ruíz, L. J., & Gamboa-Aguilar, J. (2015). Riqueza de moluscos acuáticos en las cuencas hidrológicas Río Grijalva-Villahermosa y Río Tonalá, Lagunas del Carmen-Machona en Tabasco, México. *Hidrobiológica*, *55*(2), 239–250. doi:[https://doi.org/10.1016/S0188-8897\(15\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0188-8897(15)00023-9)
- Mojica, J. I., Usma, J. S., Álvarez-León, R., & Lasso, C. A. (Edits.). (2012). *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia*. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales.
- Monteyro, M., Biasotti, A., Galea, M. J., & Sosa, R. (2025). Variación interanual en las comunidades algales y calidad del agua de una laguna periurbana. *Cymbella*, *11*(1), 47-62. Obtenido de https://cymbella.fcien.unam.mx/articulos/V11/01/V11N01_2025_original2.html#regreso
- Moreno R., F., Caro C., C. I., Pinilla, G. A., & Osorio, D. P. (2017). Estado actual del conocimiento sobre microalgas del perifiton y macroinvertebrados bentónicos en el departamento del Meta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, *22*(3), 274-306.
- Motta-Díaz, Á., Ortega-Corredor, L., Niño-Fernández, Y., & Aranguren-Riaño, N. (2016). Functional feeding groups of aquatic macroinvertebrates in a tropical stream (Colombia). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *19*(2), 425–433. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-42262016000200019

- Nelson, J. S., Grande, T. C., & Wilson, M. V. (2016). *Fishes of the world* (Quinta ed.). Wiley. doi:<https://doi.org/10.1002/9781119174844>
- Olaya-Nieto, C. W., Macea-Portillo, R. R., Petro-Hoyos, Y. R., Martínez-González, A. L., Tordecilla-Petro, G., Segura-Guevara, F. F., & Solano-Peña, D. C. (2020). Hábitos alimentarios de la morrúa (*Geophagus steindachneri*, Cichlidae) en la ciénaga de Betancí, cuenca del río Sinú, Colombia. En *Tópicos Integrados de Zoología 2* (págs. 24-37). Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Córdoba.
- Ortega-Lara, A., Murillo, O., Pimienta, C., & Sterling, E. (1999). *Los peces del alto Cauca: riqueza ictiológica del Valle del Cauca*. Cali, Colombia: Ed. Imagen Corporativa.
- Ortiz, D., & Alama, S. (2015). Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo. *18(36)*, 35-41. Rev del Instituto de Investigación (RIIGEO).
- Osorio A., F. J., Rodríguez B., J., & Montoya M., Y. (2015). Sucesión de microalgas perifíticas en tributarios del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, *20(2)*, 119-131.
- Pacheco, J. P., Calvo, C., Aznarez, C., Barrios, M., Meerhoff, M., Jeppesen, E., & Baattrup-Pedersen, A. (2022). Periphyton biomass and life-form responses to a gradient of discharge in contrasting light and nutrients scenarios in experimental lowland streams. *Science of the Total Environment*, *86(150505)*, 1-9. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10810/62273>
- Pardo, I., García, L., Delgado, C., Costas, N., & Abraín, R. (2010). *Protocolos de muestreo de comunidades biológicas acuáticas fluviales en el ámbito de las Confederaciones Hidrográficas del Cantábrico y Miño-Sil*. Convenio entre la Universidad de Vigo y las confederaciones Hidrográficas del Cantábrico y Miño-Sil.
- Portilla, K., Velarde, E., Oña, T., Decaestecker, E., Teixeira de Mello, F., & Muylaert, K. (2023). Effects of the invasive fish *Poecilia reticulata* on the behavioral response of *Daphnia pulex* to the exotic submerged macrophyte *Egeria densa*. *Hydrobiologia*, *851*, 1183–1201. doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-023-05377-2>
- Quesada-Alvarado, F., Umaña-Villalobos, G., Springer, M., & Picado-Barboza, J. (2020). Variación estacional y características fisicoquímicas e hidrológicas que influyen en los macroinvertebrados acuáticos en un río tropical. *Revista de Biología Tropical*, *68*, 54–67. doi:<https://doi.org/10.15517/rbt.v68is2.44332>
- Ramírez G., A., & Viña-Vizcaino, G. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de Análisis*. Bogotá: Panamericana, Formas e Impresos S. A.
- Ramírez, A. M., & Plata-Díaz, Y. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana*, *13(1)*, 161–176. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n1/v13n1a14.pdf>
- Ramírez-Restrepo, J. J. (2000). *Fitoplancton de Agua Dulce: Aspectos Ecológicos, Taxonómicos y Sanitarios*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col* (Primera ed., Vol. Ciencia y tecnología). Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Román-Valencia, C. (2001). Ecología trófica y reproductiva de *Trichomycterus caliense* y *Astroblepus cyclopus* (Pisces: Siluriformes) en el río Quindío, Alto Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 49(2), 657-666. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000200025
- Round, F. E. (1990). *The diatoms: Biology and morphology of the genera*. . Cambridge : Cambridge University Press.
- Taphorn, D. C., Armbruster, J. W., Villa-Navarro, F., & Ray, C. K. (2013). Trans-Andean *Ancistrus* (Siluriformes: Loricariidae). *Zootaxa*, 3641(4), 343–370. doi:<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3641.4.2>
- Ter Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167–1179. doi:<https://doi.org/10.2307/1938672>
- Velandia, D. (2009). Caracterización íctica a nivel altitudinal de las quebradas Mason y Santa Rosa en el parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Vélez-Azañero, A., Lozano, S., & Cáceres-Torres, K. (2016). Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la Cuenca Baja del Río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 69-79. doi:<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.745>
- Vis, M. L., & Necchi, O. J. (2021). *Freshwater Red Algae: Phylogeny, Taxonomy and Biogeography*. Springer.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (Tercera ed.). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/C2009-0-02112-6>
- Zúñiga-Upegui, P. T., Villa-Navarro, F. A., García-Melo, L. J., García-Melo, J. E., Reinoso-Flórez, G., Gualtero-Leal, D. M., & Ángel-Rojas, V. J. (2014). Aspectos ecológicos de *Chaetostoma* sp.(Siluriformes: Loricariidae) en el alto río Magdalena, Colombia. Resumen Se determinaron los hábitos alimenticios y reproductivos de *Chaetostoma* sp. en el alto río Magdalena, Colombia. Los muestreos fueron mensuales entr. *Biota Colombiana*, 15(2), 81-160. Obtenido de <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/322/320>