

Selección de Rasgos Funcionales de las comunidades de macroinvertebrados para su uso como variables indicadoras de calidad en dos ríos de la sabana de Bogotá

Michael Sebastián Velandia Garavito

26/05/2021

Introducción

Las condiciones ambientales de una gran cantidad de ríos en las áreas tropicales se ha ido deteriorando a raíz del rápido crecimiento de las poblaciones humanas, los cambios en el uso del suelo, el desarrollo agrícola e industrial, y las actividades extractivas (Dudgeon, 2017). Desde los años 90 se ha venido implementando el monitoreo con índices que integran las variables fisicoquímicas para la medición de la calidad de las aguas de los ríos y su integridad, y más recientemente, se han incorporado los índices bióticos que utilizan una variedad de grupos taxonómicos, entre ellos, los macroinvertebrados (Pinilla, 2010). Las experiencias en países templados (Fierro, 2017; Metcalfe, 1989) han demostrado que el uso de los macroinvertebrados para el biomonitoreo presenta ventajas sobre los índices físico químicos, pues integran información de cambios al corto y el largo plazo en un amplio rango de variables ambientales (Dudgeon, 2017; Fierro *et al.*, 2017).

El uso de macroinvertebrados para el biomonitoreo de la calidad de agua ha estado tradicionalmente enmarcado en un enfoque taxonómico que se basa en la tolerancia de ciertos taxones a la polución. Sin embargo, uno de los mayores limitantes para esta aproximación es la dificultad de hacer una determinación de los organismos de manera rápida y a un suficiente nivel de detalle (género o especie) para usarlos en programas de monitoreo (Cummins *et al.*, 2005).

Desde hace algunas décadas, el estudio de los rasgos funcionales de las especies de sistemas lóticos ha demostrado una gran utilidad como un buen indicador de la respuesta de las comunidades a diversos tipos de disturbios, entre los que se encuentran los de naturaleza antrópica (Ding *et al.*, 2017), y en consecuencia se ha ido desarrollando un enfoque funcional para el biomonitoreo de sistemas lóticos, principalmente en zonas templadas, con algunos ejemplos en el Neotrópico (Tomanova *et al.*, 2008).

Gran parte de los estudios que se han realizado sobre el uso de la diversidad y los rasgos funcionales en bioindicación se han ejecutado en países de zonas templadas (Charvet *et al.*, 1998; Gayraud *et al.*, 2003; Statzner *et al.*, 2005; Dolédec *et al.*, 2006), siendo mucho menor la cantidad de trabajos llevados a cabo en el trópico (Ding *et al.*, 2017). Una alta proporción de las investigaciones en el Neotrópico sobre este tema se han hecho en Brasil, con algunos otros ejemplos en países como Ecuador o Bolivia (Fossati *et al.*, 2001; Cummins *et al.*, 2005; Tomanova *et al.*, 2008). En Colombia se han realizado algunos acercamientos sobre aspectos funcionales de los macroinvertebrados en la región insular (Motta Díaz *et al.*, 2020), en Antioquia (Toro *et al.*, 2020) y en Boyacá (Torres-Zambrano y Torres-Zambrano, 2016), pero en ninguno de ellos se ha buscado identificar los rasgos más apropiados para la construcción de índices biológicos.

Un primer paso para el desarrollo de un índice biológico de macroinvertebrados con un enfoque funcional en los ríos de la sabana de Bogotá, es la evaluación de los rasgos funcionales de las comunidades de dichos macroinvertebrados con el fin de evaluar cual es su respuesta a los parámetros fisicoquímicos de estos cuerpos de agua. En el presente trabajo se busca evaluar dicha respuesta y hacer una comparación con las mediciones obtenidas por los tradicionales índices biológicos.

Metodología

Área de estudio y muestreo

Los macroinvertebrados utilizados provienen de una serie de muestreos realizados entre el año 2017 y el año 2019 en 11 estaciones de muestreo ubicadas en los ríos Frío y Neusa, en los municipios de Cajicá, Chía y Cogua (Figura 1), en el marco del “Programa nacional para la conservación de la especie endémica de Colombia pez capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*)” liderado por el Ministerio del Medio Ambiente y la Universidad Manuela Beltrán (Lemus-Portillo *et al.*, 2020). En cada punto de muestreo se tomaron datos hidrológicos y se midieron *in situ* las variables fisicoquímicas oxígeno disuelto, conductividad, pH, temperatura y turbidez. Los macroinvertebrados se colectaron con metodologías estándar de amplio reconocimiento, red Surber, red D, red de mano (Domínguez y Fernández, 2009).

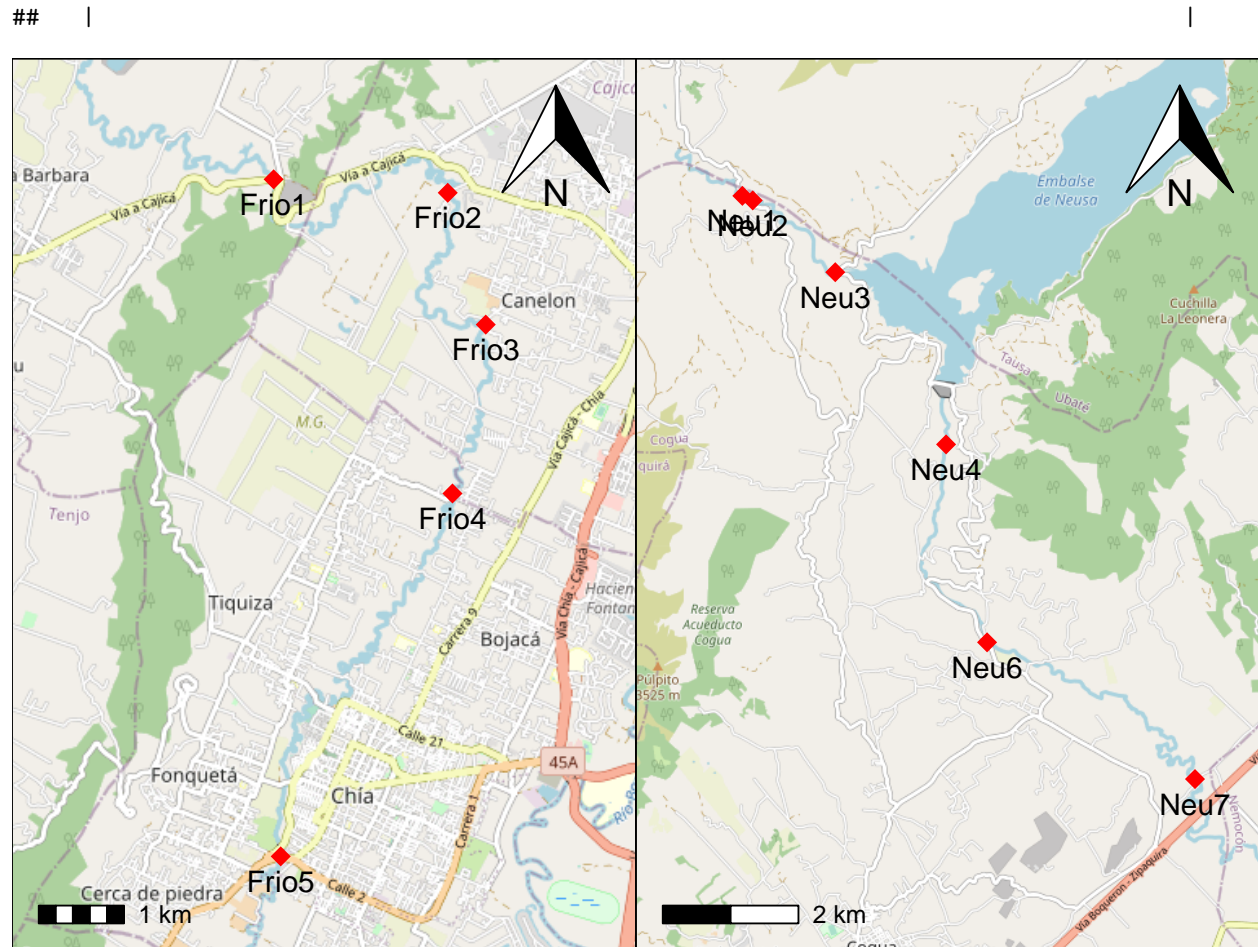


Figure 1: Estaciones de muestreo en los ríos Neusa (derecha) y Frío (izquierda).

Rasgos Funcionales

Los organismos, pertenecientes a la colección de macroinvertebrados de la Universidad Manuela Beltrán, fueron identificados hasta Familia. Los rasgos funcionales que fueron elegidos de acuerdo a la propuesta de Tomanova *et al.* (2008) incluyen rasgos tróficos (alimentación y hábitos alimenticios), fisiológicos (respiración) morfológicos (tamaño y forma corporal) y comportamentales (Movilidad y fijación al sustrato). Siguiendo la metodología del ‘Fuzzy coding’ (Usseglio-Polatera, 1994) a cada familia se le asignó un valor entre 0 y 3 para cada una de las categorías de

Table 1: Categorías de los Rasgos Funcionales. Tomado y modificado de Tomanova et al. (2008)

Rasgo Biológico	Categoría	Código
Alimento	Partículas de sedimento	SED
	Detritos finos < 1 mm	FPMO
	Detritos gruesos > 1 mm	CPOM
	Microfitas	MiPh
	Macrofitas	MaPh
	Macroinvertebrados	Mac-In
Hábitos alimenticios	Colector-recolector	CG
	Triturador	SH
	Raspador	SC
	Colector-filtrador	CF
	Predador	PR
Respiración	Tegumento	TEG
	Agallas	GLL
	Plastrón	PLA
	Espiraculos	STIG
Movilidad y fijación al sustrato	Nadador de superficie	SwS
	Nadador	Sw
	Arrastrador	CRWL
	Excavador epibentónico	EpB
	Excavador endobentónico	EnB
	Temporalmente fijo al sustrato	TA
Tamaño corporal máximo (mm)	<2.5	-
	2.5-5	-
	5-10	-
	10-20	-
	20-40	-
Forma corporal	Hidrodinámico	STRM
	Aplanado	FLAT
	Cilíndrico	CYL
	Esférico	SPH

los rasgos funcionales (Tabla 1) por medio de observaciones y mediciones directas en el laboratorio, apoyadas en una revisión de la literatura disponible.

Métodos numéricos y estadísticos

Con el fin de establecer el gradiente ambiental, se realizó un análisis de cluster y un análisis de componentes principales (PCA), para establecer diferencias entre las condiciones fisicoquímicas de las estaciones se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA). La evaluación de la respuesta de los rasgos funcionales al gradiente ambiental se realizó con un análisis de coinerencia RLQ, que vincula las matrices de variables ambientales R y rasgos funcionales Q por medio de una matriz de abundancia L (Dolédéc *et al.*, 2006). Para probar las asociaciones individuales de cada rasgo funcional con las variables ambientales se realizó un análisis *fourth corner* (Dray y Legendre, 2008). Todos los análisis fueron realizados en el software R versión 3.6.3 (R Core Team, 2020), utilizando el paquete ade4 (Dray, 2007).

Table 2: Condiciones ambientales de los rios Neusa y Frio en las estaciones trabajadas

	Fri1	Fri2	Fri3	Fri4	Fri5	Neu1	Neu2	Neu3	Neu4	Neu6	Neu7
Temperatura (C°)	15.59±1.88	16.11±2.02	16.05±2.27	16.14±1.86	15.92±1.54	11.04±0.61	11.33±0.87	11.78±0.98	14.39±0.82	14.84±0.87	15.41±1
Ox disuelto (mg/L)	4.44±1.34	5.17±1.08	4.6±1.02	4.3±1.1	2.42±1.23	7.79±0.37	7.75±0.47	7.4±0.51	7.49±0.15	7.06±0.85	7.42±0.7
pH	6.63±0.54	7.03±0.59	6.89±0.62	6.67±0.42	6.6±0.44	7.11±0.56	7.2±0.27	7.34±0.24	7.11±0.22	7.24±0.29	6.94±0.19
Conductividad (µS/cm)	70.59±4.64	71.71±5.17	73.03±8.77	79.37±8.92	123.75±13.49	100.95±38.97	97.66±28.98	91.66±37.83	76.55±22.24	68.69±20.3	72.51±19.26
Turbidez (NTU)	14.08±4.84	13±6.97	16.97±7.25	22.39±12.31	37.77±15.25	5.91±8.32	7.66±6.16	5.61±5.84	9.21±12.72	11.13±11.33	7.24±7.3
Profundidad (cm)	45.97±6.45	54.89±5.13	48.08±6.97	56.44±5.48	40.35±8.83	57.45±13.14	39.4±18.43	47.48±12.54	60.09±20.51	55.06±12.91	54.73±16.4
Velocidad (m/s)	0.16±0.1	0.24±0.15	0.34±0.19	0.51±0.19	0.16±0.06	0.15±0.11	0.18±0.09	0.18±0.09	0.23±0.05	0.25±0.11	0.18±0.05
Altitud (msnm)	2572	2565	2566	2563	2554	3051	3044	2995	2893	2631	2573
Familias	17	16	14	13	8	10	17	13	15	16	18
Total Macro	566	446	306	603	90	285	332	200	279	330	428

Resultados

Evaluación gradiente ambiental

Las características medioambientales de las estaciones evaluadas se encuentran resumidas en la tabla 2. Los resultados del análisis de cluster muestran que las estaciones evaluadas se pueden clasificar en cuatro grupos diferentes (Fig 2B), que muestra una clara diferencia entre las estaciones del río Frío y las estaciones del río Frío. En el río Frío se observa que las estaciones ubicadas en la vereda Canelon de Cajicá forman un grupo (FrioB) y la estación ubicada en la zona urbana de Chía forma el otro (FrioA). En el río Neusa se observa una diferencia de las estaciones en las condiciones físico químicas antes del embalse del Neusa (NeusaA) y después (NeusaB). Los resultados del MANOVA y del análisis post hoc entre estos cuatro grupos indica que existen diferencias significativas entre ellos (Anexo 3).

Las características hidrológicas de los ríos no varían en gran medida entre las estaciones (Tabla 2 y Anexo 2) y por lo tanto aportan poco al gradiente ambiental, por lo que fueron excluidas de los análisis posteriores.

Los resultados del PCA muestran que el 70% de la varianza de las variables fisicoquímicas se concentra en los dos primeros componentes (Fig 2C). El primer componente esta explicado principalmente por el oxígeno disuelto, la turbidez y la temperatura de las aguas y es por tanto el eje más relevante en la evaluación del gradiente ambiental de las estaciones evaluadas. En el gráfico del PCA (Fig 2A) se puede observar un gradiente de derecha a izquierda en el que se acidifica el agua, se disminuye el oxígeno disuelto y aumenta la turbidez de las aguas. Si bien también se observa un gradiente de temperatura, este no necesariamente esta relacionado con el gradiente ambiental, sino que se debe a las diferencias de altura entre estaciones (Tabla 2).

Las mediciones de pH realizadas en el río Frio muestran una alta variabilidad entre los muestreos que contrasta con las mediciones del río Neusa que en general son más homogéneas y presentan un pH neutro. La conductividad también presenta un comportamiento diferencial entre los ríos. En el caso del río Neusa, las estaciones anteriores a la represa (Neusa A) presentan valores más elevados que los presentes en las estaciones posteriores a la represa (Neusa B), sin embargo cabe resaltar que en las estaciones del grupo Neusa A, la variabilidad entre muestreos es mucho más elevada (Anexo 2) que en el resto de estaciones, razón por la cual esta alta conductividad podría deberse a razones puntuales en los periodos de muestreo. En el río Frio el gradiente de conductividad es el esperado, sin muchas diferencias entre las estaciones río arriba (Frio B) y una alta conductividad en la estación Frio5.

Respuesta de los rasgos funcionales

Las proyecciones de las categorías de cada rasgo funcional se proyectaron en el plano factorial producido por el análisis RLQ (figura 3), siendo el primer eje el más relevante en el análisis puesto que comprime el 85% de la inercia observada en las tablas de condiciones ambientales (R) y rasgos funcionales (Q).

El análisis fourthcorner revela que existen correlaciones significativas ($p = 0.05$) entre la temperatura, la turbidez y el oxígeno disuelto con el primer eje del plano factorial (Anexo 4) confirmando las tendencias observadas en el PCA.

Cuando en el plano aumenta el oxígeno disuelto y disminuye la turbidez se puede ver una tendencia hacia el aumento de organismos raspadores que se alimentan principalmente de algas y detritos finos (Fig 3 A y B) de pequeños tamaños (<1cm) con cuerpos redondeados y/o aplanados y que presentan hábitos natatorios o

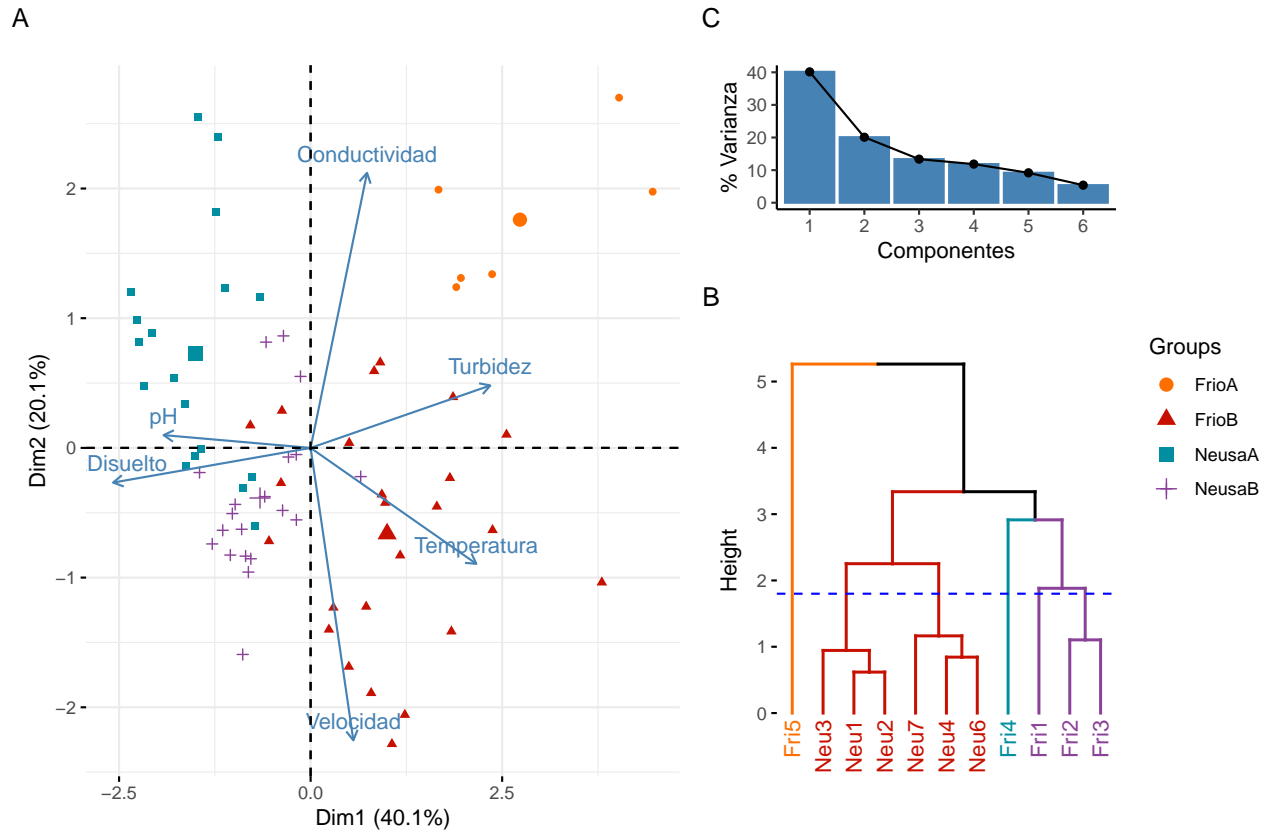


Figure 2: Analisis de Componentes Principales y Analisis Jerarquico de Cluster. A) Proyección de las variables fisicoquimicas en el plano del ACP. B) Dendrograma de las estaciones. Se utilizo como la distancia euclidia como metrica de similitud y se computo utilizando el algoritmo UPGMA C) Varianza explicada por los componentes del ACP.

excavadores (Fig 3 D, E y F). Cuando la acidez y la turbidez del agua aumenta la tendencia favorece a los organismos trituradores y a los predadores (Fig 3 A y B) de forma cilíndrica y tamaño medio (1-2 cm) que se encuentran sobre la superficie bentónica (Fig 3 D, E y F). La figura 3C muestra que las formas de respiración de los macroinvertebrados no presentan tendencias fuertes en relación a el gradiente ambiental.

Sin embargo, los resultados del análisis fourthcorner solo respaldan algunas de estas tendencias, encontrándose correlaciones negativas ($p = 0.5$) entre el primer eje del plano factorial y los organismos que se alimentan de algas (Miph) o presentan formas esféricas (SPH) y correlaciones positivas cuando los organismos son trituradores (SH), presentan formas cilíndricas (CYL) o son de tamaño medio (Anexo 4).

Indices bioticos

```
## `summarise()` ungrouping output (override with `.groups` argument)
```

```
##      bmwp_scores quality_class quality_number
## Fri1          64      Moderada              3
## Fri2          67      Moderada              3
## Fri3          77       Buena              4
## Fri4          88       Buena              4
## Fri5          27      Pobre              2
## Neu1          39      Pobre              2
## Neu2          77       Buena              4
## Neu3          58      Moderada              3
## Neu4          64      Moderada              3
## Neu6          72       Buena              4
## Neu7          85       Buena              4
```

```
##      hillsenhoff_scores quality_class quality_number
## Fri1          7.58      Muy Nociva              1
## Fri2          7.69      Muy Nociva              1
## Fri3          7.52      Muy Nociva              1
## Fri4          6.92      Nociva              2
## Fri5          7.34      Muy Nociva              1
## Neu1          6.81      Nociva              2
## Neu2          6.76      Nociva              2
## Neu3          7.10      Nociva              2
## Neu4          7.14      Nociva              2
## Neu6          6.62      Nociva              2
## Neu7          6.53      Nociva              2
```

```
##      hillsenhoff_scores quality_class quality_number
## Fri1          5.09      Regular              4
## Fri2          5.30      Regular              4
## Fri3          4.69       Buena              5
## Fri4          6.03      Malsana              3
## Fri5          6.97      Nociva              2
## Neu1          6.92      Nociva              2
## Neu2          6.78      Nociva              2
## Neu3          6.88      Nociva              2
## Neu4          6.67      Nociva              2
## Neu6          6.43      Malsana              3
## Neu7          6.13      Malsana              3
```

Discusión

Conclusiones

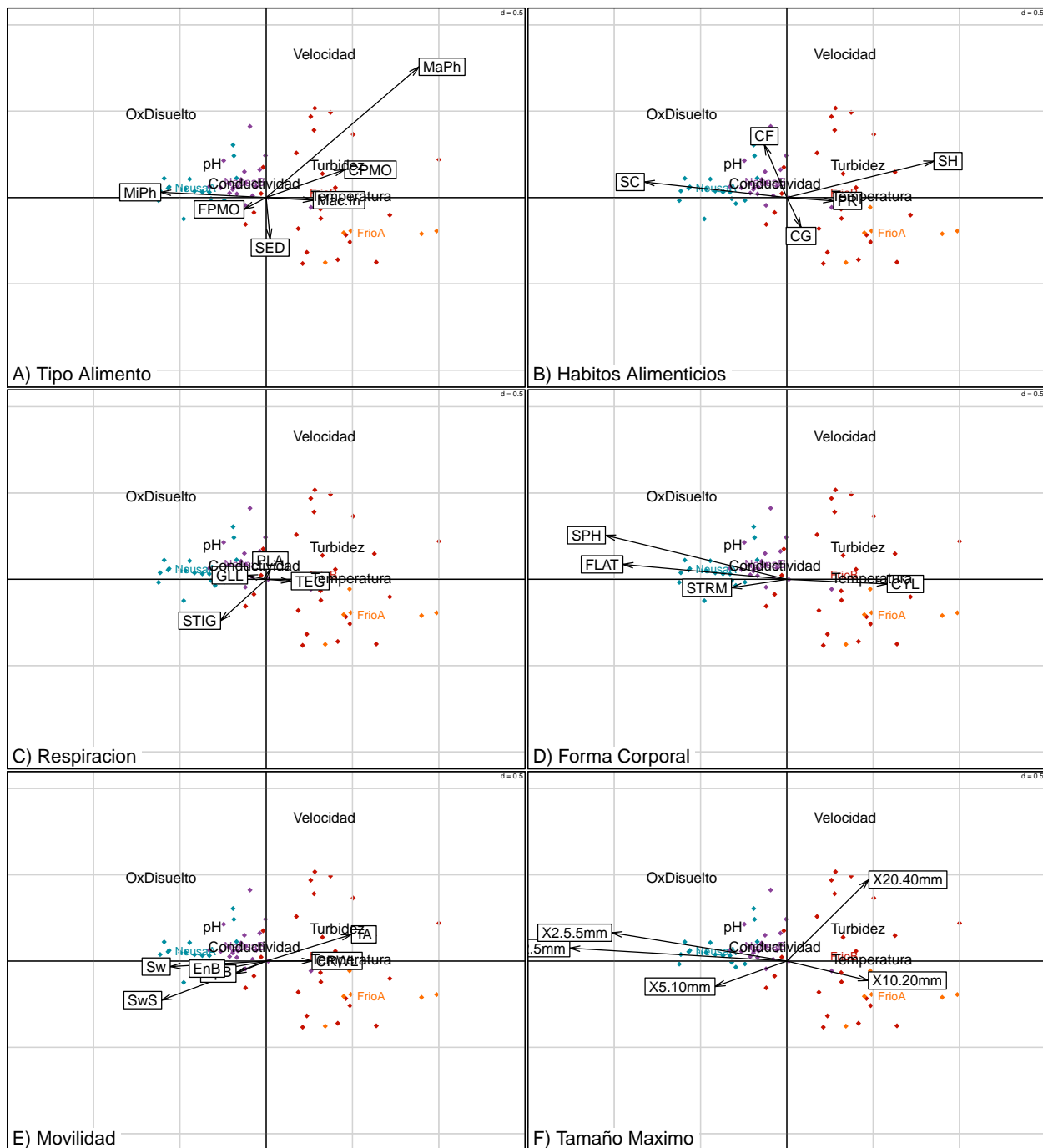


Figure 3: Analisis RLQ de los rios estudiados. A-F) Proyección de las categorías en el plano factorial del análisis RLQ. El primer eje RLQ concentra el 85% de la variación. El valor de d representa el tamaño de la cuadrícula. Los codigos de las categorías se pueden encontrar en la tabla 1.

Bibliografía

- Charvet, S., Kosmala, A., & Statzner, B. (1998). Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: Perspectives for a general tool in stream management. *Archiv Fuer Hydrobiologie*, 142(4), 415-432.
- Chevenet, F., Dolédec, S. and Chessel, D. (1994) A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology*, 31, 295–309.
- Cummins, K. W., Merritt, R. W., & Andrade, P. C. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 69-89.
- Ding, N., Yang, W., Zhou, Y., González-Bergonzoni, I., Zhang, J., Chen, K., Vidal, N., Jeppesen, E., Liu, Z., & Wang, B. (2017). Different responses of functional traits and diversity of stream macroinvertebrates to environmental and spatial factors in the Xishuangbanna watershed of the upper Mekong River Basin, China. *Science of The Total Environment*, 574, 288-299.
- Doledec, S., Chessel, D., ter Braak, C.J.F. and Champely, S. (1996) Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*, 3, 143–166.
- Dolédec, S., Phillips, N., Scarsbrook, M., Riley, R. H., & Townsend, C. R. (2006). Comparison of structural and functional approaches to determining landuse effects on grassland stream invertebrate communities. *Journal of the North American Benthological Society*, 25(1), 44-60.
- Domínguez, E., & Fernández, H (eds). (2019), Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. Fossati, O., Wasson, J.-G., Héry, C., Salinas, G., & Marín, R. (2001). Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). *Archiv Für Hydrobiologie*, 151(1), 33-50.
- Dray S, Dufour A (2007). “The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists.” *Journal of Statistical Software*, 22(4), 1-20. doi: 10.18637/jss.v022.i04 (URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>).
- Dray, S. and Legendre, P. (2008) Testing the species traits-environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology*, 89, 3400–3412.
- Dudgeon, D. (2011). *Tropical Stream Ecology*. Elsevier. USA
- Fierro, P., Valdovinos, C., Vargas-Chacoff, L., Bertrán, C., & Arismendi, I. (2017). Macroinvertebrates and Fishes as Bioindicators of Stream Water Pollution. *Water Quality*. <https://doi.org/10.5772/65084>
- Gayraud, S., Statzner, B., Bady, P., Haybachp, A., Schöll, F., Usseglio-Polatera, P., & Bacchi, M. (2003). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: An initial assessment of alternative metrics. *Freshwater Biology*, 48(11), 2045-2064.
- Lemus-Portillo, C., Echavarria-Pedraza, M. C., Rojas, J. E., Alvarez-Diaz, J. E., León-Pardo, K. J., Aguilar-Orjuela, S., & Maldonado, J. F. (2020). Estado de conservación y distribución del pez de agua dulce Capitán de la Sabana *Eremophilus mutisii* en Cundinamarca, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 42(112).
- Metcalfe, J. L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 60(1), 101–139. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90223-6](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90223-6)
- Motta Díaz, A. J., Longo, M., & Aranguren-Riaño, N. (2020). Variación temporal de la diversidad taxonómica y rasgos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos en ríos temporales en la isla de Providencia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 39(107), 82-100.
- Statzner, B., Bady, P., Dolédec, S., & Schöll, F. (2005). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: An initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches. *Freshwater Biology*, 50(12), 2136-2161.

- Pinilla, G. (2010). An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogotá city, Colombia. *Ecological Indicators*, 10(4), 848–856. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.01.006>
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Tomanova, S., Moya, N., & Oberdorff, T. (2008). Using macroinvertebrate biological traits for assessing biotic integrity of neotropical streams. *River Research and Applications*, 24(9), 1230-1239. <https://doi.org/10.1002/rra.1148>.
- Toro, J. A. R., Ramirez, N. J. A., Lopez, J. P. S., Atilano, E. H., & Macías, F. de J. V. (2020). Energía calórica, biomasa y estructura de los macroinvertebrados acuáticos en la reserva La Nitrera, Concordia, Antioquia, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 29-36.
- Torres-Zambrano, N. N., & Torres-Zambrano, D. R. (2016). Macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Los Alisos, Firavitoba—Boyacá. *Intropica*, 11, 47-56.
- Usseglio-Polatera, P. (1994). Theoretical habitat templets, species traits, and species richness: Aquatic insects in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology*, 31(3), 417–437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01749.x>

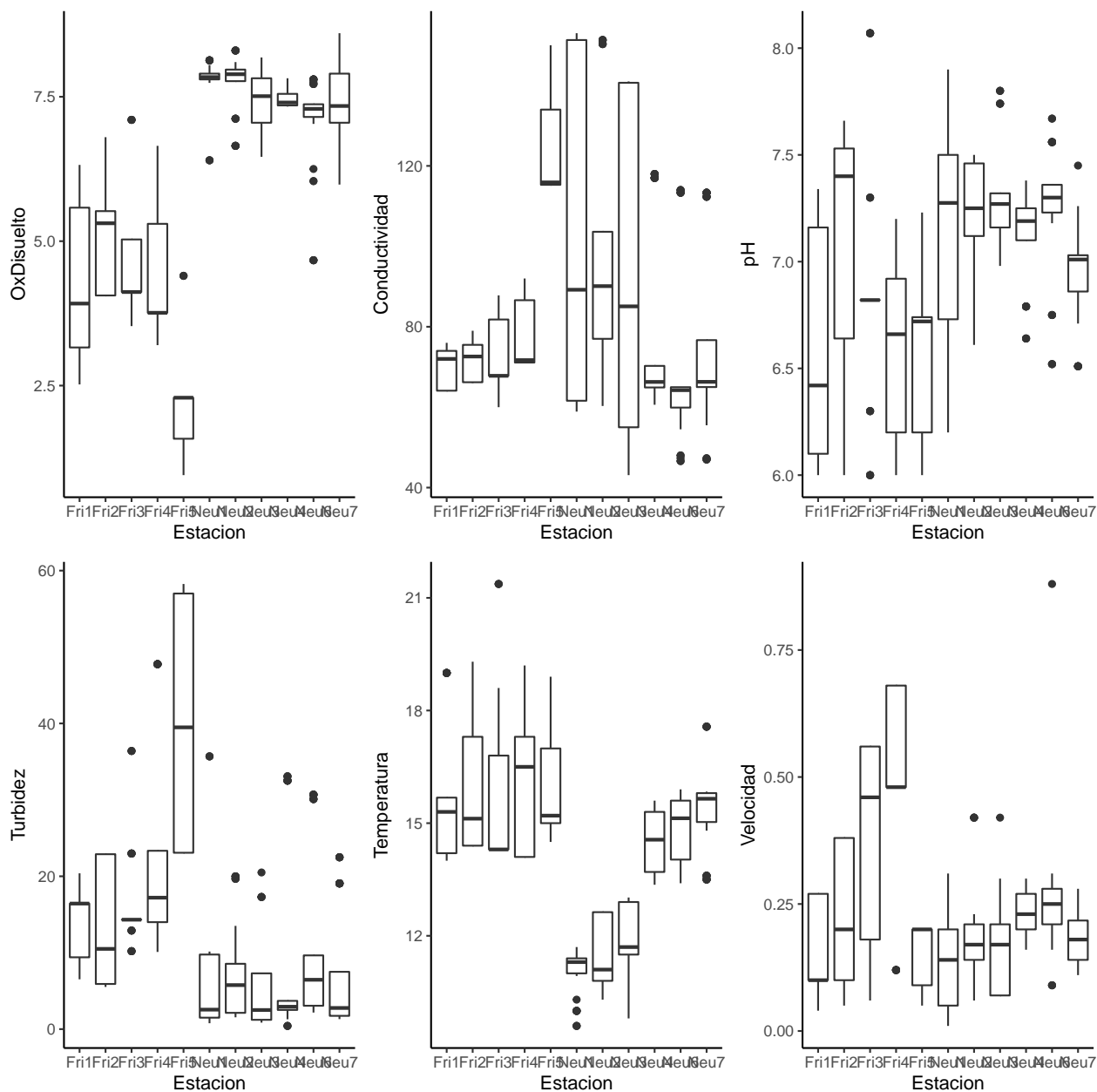
Anexos

Table 3: Anexo1 : Clasificación de los rasgos funcionales basados en la metodología del Fuzzy Code para las familias de macroinvertebrados presentes en los ríos de la Sabana de Bogotá.

Familia	Tipo Alimento						Habitats Alimenticios					Respiracion				Forma Corporal				Movilidad						Tamaño Maximo					
	SED	FPMO	CPMO	MiPh	MaPh	Mac.In	CG	SH	SC	CF	PR	TEG	GLL	PLA	STIG	STRM	FLAT	CYL	SPH	SwS	Sw	CRWL	EpB	EnB	TA	X.2.5mm	X2.5.5mm	X5.10mm	X10.20mm	X20.40mm	
Aeshnidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Baetidae	1	3	1	2	0	0	3	0	2	0	0	1	2	0	0	2	0	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	3	1	0
Ceratopogonidae	0	1	0	1	0	3	1	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	3	0
Chironomidae	1	3	1	1	0	0	3	1	1	0	0	3	2	0	0	0	0	3	0	0	1	2	3	1	1	0	0	0	1	3	0
Coenagrionidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1	3	0	0	2	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0	0	0	3	0
Corixidae	0	2	0	3	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0
Elmidae	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	3	0	0
Empididae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	3	0	0	0	0
Gerridae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Glossophniidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	2	0
Helicopsychidae	0	3	0	1	0	0	1	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0
Hyalellidae	0	3	1	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3	0	0	2	3	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0
Hydrophilidae	0	2	2	2	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	0	2	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Leptoceridae	0	1	3	0	1	0	1	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	3	0
Libellulidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	3	0
Lymnaeidae	0	2	0	3	1	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0	3	0	0	0
Naididae	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0
Notonectidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	0	2	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Physidae	0	1	0	3	0	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0	0	3	0	0
Planariidae	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Planorbidae	0	2	0	3	0	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3	1	0	0	3	0	0	0	0
Polycentropodidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	3	0	0
Simuliidae	0	3	1	1	0	0	0	0	1	3	0	3	1	0	1	0	0	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0	3	0	0	0
Sphaeriidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	3	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0
Tipulidae	1	3	1	1	1	0	0	0	3	0	0	2	2	0	2	0	0	3	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Tricorythidae	1	3	1	1	0	1	3	1	2	0	0	1	3	0	0	0	1	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Staphylinidae	0	3	0	0	0	1	2	2	0	0	1	0	0	3	0	1	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0
Gyrinidae	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
Mesoveliidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	0	1	1	3	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0
Philopotamidae	0	3	0	1	0	0	0	1	0	3	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	1	0	0
Hydroptilidae	0	1	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	2	0	3	0	0	0	0
Lumbricidae	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0
Muscidae	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	3	1	0	0	2	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	2	3	0	2	0
Dytiscidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
Ptilodactylidae	0	1	1	2	0	0	0	0	3	3	0	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	3	3	0	0	0	0	2	2	3	0

Anexo 2

El análisis univariado de las variables fisicoquímicas e hidrológicas. En las figuras se observan los diagramas de caja que corresponde a un análisis descriptivo de las variables. Los gráficos cuantil-cuantil indican que tan bien se ajustan las variables a una distribución normal.



Anexo 3

Resultados del análisis de varianza multivariado de los grupos generados por el análisis de cluster. El análisis post hoc incluyó múltiples tests de Hotelling entre los pares de grupos.

```
## [1] "Global"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion  3  1.4739   89.82    15  1395 < 2.2e-16 ***
## Residuals      467
```

```

## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuA_NeuB"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion  1 0.81954    263.4      5    290 < 2.2e-16 ***
## Residuals      294
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuA_FrioA"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion  1 0.9046    263.59      5    139 < 2.2e-16 ***
## Residuals      143
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuA_FrioB"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion  1 0.84652    317.7      5    288 < 2.2e-16 ***
## Residuals      292
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuB_FrioA"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion  1 0.84053    180.26      5    171 < 2.2e-16 ***
## Residuals      175
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuB_FrioB"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion  1 0.71112    157.54      5    320 < 2.2e-16 ***
## Residuals      324
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##

```

Table 4: Anexo 4: Resultados del Analisis Fourthcorner de las correlaciones (Pearson) entre el primer eje del plano factorial RLQ y los rasgos funcionales y las variables ambientales. Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

	Obs	Std.Obs	Pvalue	
Traits				
AxcR1 / SED	0.011956114	0.079265145	0.937012597480504	
AxcR1 / FPMO	-0.115593402	-0.534981245	0.644871025794841	
AxcR1 / CPMO	0.226969534	1.214376311	0.270345930813837	
AxcR1 / MiPh	-0.380327084	-1.900743934	0.0391921615676865	*
AxcR1 / MaPh	0.178265711	1.152958874	0.2875424915017	
AxcR1 / Mac.In	0.115732153	0.524336875	0.650269946010798	
AxcR1 / CG	0.055683994	0.288329886	0.796640671865627	
AxcR1 / SH	0.316708640	1.695972826	0.0679864027194561	.
AxcR1 / SC	-0.414527036	-2.130837365	0.0197960407918416	*
AxcR1 / CF	-0.013006266	-0.065883795	0.948210357928414	
AxcR1 / PR	0.115479925	0.519758509	0.644271145770846	
AxcR1 / TEG	0.152482846	0.746437438	0.513897220555889	
AxcR1 / GLL	-0.116357577	-0.540791412	0.647270545890822	
AxcR1 / PLA	0.004082403	-0.002478804	0.997800439912018	
AxcR1 / STIG	-0.041400271	-0.220213421	0.845230953809238	
AxcR1 / STRM	-0.176516714	-0.884109935	0.445510897820436	
AxcR1 / FLAT	-0.333454724	-1.693332003	0.0711857628474305	.
AxcR1 / CYL	0.460700175	2.175146589	0.00939812037592481	**
AxcR1 / SPH	-0.270111154	-1.564031077	0.120775844831034	
AxcR1 / SwS	-0.065884325	-0.417615439	0.597880423915217	
AxcR1 / Sw	-0.263534026	-1.444357580	0.159368126374725	
AxcR1 / CRWL	0.226895332	1.069271107	0.344931013797241	
AxcR1 / EpB	-0.085998897	-0.403986583	0.721855628874225	
AxcR1 / EnB	-0.111020917	-0.682881964	0.428314337132573	
AxcR1 / TA	0.232470477	1.179199760	0.280143971205759	
AxcR1 / X.2.5mm	-0.095691767	-0.716756008	0.360527894421116	
AxcR1 / X2.5.5mm	-0.305705839	-1.605687644	0.0881823635272945	.
AxcR1 / X5.10mm	-0.195864034	-0.969827555	0.388522295540892	
AxcR1 / X10.20mm	0.355138799	1.699432367	0.0791841631673665	.
AxcR1 / X20.40mm	0.121871298	0.643242236	0.563087382523495	
Enviromental				
Temperatura / AxcQ1	0.3879601285	2.552315002	0.00459908018396321	**
OxDisuelto / AxcQ1	-0.4780835622	-2.398057831	0.00919816036792642	**
pH / AxcQ1	-0.2447160111	-2.234850626	0.0235952809438112	*
Velocidad / AxcQ1	0.2652898407	2.143656810	0.0265946810637872	*
Conductividad / AxcQ1	-0.0535680150	-0.478113999	0.644271145770846	
Turbidez / AxcQ1	0.3240293029	2.572106710	0.00459908018396321	**