



# Uso de peces y macroinvertebrados como indicadores del estado ecológico a lo largo del gradiente altitudinal: propuesta para una evaluación ecológica de los ríos bajos del occidente ecuatoriano

**Pedro Jiménez Prado**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

DIRECTORES

**Rocío López**, Univ. de Zaragoza

**Enrique Navarro**, Inst. Pirenaico de Ecología - CSIC



**CSIC**



**Universidad  
Zaragoza**

1542



# Actividades DAD

- Realizadas (mar/2019 – mar/2020)
  - Cursos recibidos:
    - Diplomado Internacional en Bioestadística, por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. Septiembre de 2019.



# Actividades DAD

- Realizadas (mar/2019 – mar/2020)
  - Participación en Congresos:
    - **Efectos del gradiente altitudinal en la forma pura del cuerpo de tres especies de peces en el río Atacames, Esmeraldas Ecuador**”, presentado durante de la cuadragésima tercera edición de las **Jornadas Nacionales de Biología**, llevadas a cabo del 25 al 30 de noviembre de 2019, en el Campus de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay.
    - **Edad, crecimiento y dieta de seis especies de peces (cuatro nativas y dos introducidas) en los ríos Atacames y Súa, provincia de Esmeraldas, Ecuador**”, presentado durante de la cuadragésima tercera edición de las **Jornadas Nacionales de Biología**, llevadas a cabo del 25 al 30 de noviembre de 2019, en el Campus de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay.



# Actividades DAD

- Realizadas (mar/2019 – mar/2020)
  - Asesoría en tesis de pregrado
    - Mera, J. 2019. *Aprovechamiento de los recursos bioacuáticos de la cuenca del río Atacames y Súa*. Tesis de pregrado en PUCESE.
    - Estrada, E. 2019. Diferencias en la población de *Eretmobrycon ecuadorensis* del río Sálima, cantón Atacames, a diferentes niveles altitudinales, como un bioindicador de la calidad ambiental. Tesis de pregrado en PUCESE.
    - Chilán P. 2020. Patrones de distribución de los peces en la provincia de esmeraldas, una aproximación biogeográfica.
    - Navarro, E. 2020. Diversidad funcional de los peces del río Atacames y Súa como una herramienta de valoración de la calidad ambiental.



# Actividades DAD

- Realizadas (mar/2019 – mar/2020)
  - Manuscritos para la tesis
    - Publicados
      - Jiménez-Prado P., J. Molinero y F. Vásquez. 2018. Length-weight relationships of six native and one introduced species in small perennial watercourses of the Chocó region of Ecuador. *Journal of Applied Ichthyology*.  
. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jai.13825>
      - Jiménez-Prado, P., F. Vásquez, D. Rodríguez y D. Taphorn. (en revisión.). Efectos de la especie invasora *Poecilia gillii* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) sobre *Pseudopoecilia fria* en ríos costeros de la región del Chocó en Ecuador. *Revista de Biología Tropical*.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/36000/41225>



# Actividades DAD

- Realizadas (mar/2019 – mar/2020)
  - Manuscritos para la tesis
    - En revisión
      - Jiménez-Prado, P. y F. Vásquez (En revisión). Composición y estructura de las comunidades de peces en el río Atacames, Pacífico, Noroccidente del Ecuador. Acta Biológica Colombiana.
      - Jiménez-Prado, P., F. Vásquez, D. Rodríguez y D. Taphorn. (En revisión). Edad, crecimiento y cambio estacional en la dieta de seis especies de peces en ríos bajos de colinas costeras del noroccidente del Ecuador, región del Chocó biogeográfico. Limnética.



# Actividades DAD

- Realizadas (mar/2019 – mar/2020)
  - Manuscritos para la tesis
    - En preparación
      - Jiménez-Prado P. y Aguirre W. Cambios en la forma del cuerpo de tres especies de peces a lo largo del cauce en dos ríos costeros del occidente ecuatoriano.
      - Molinero J., P. Jiménez-Prado, R. López. Scarcity of shredders and Plecoptera in two coastal streams of the Ecuadorian Chocó region with different land uses.
      - Arrauz I, P. Jiménez-Prado y L. Benejam. Size spectra in the fish community along the course of two coastal rivers in western Ecuador.
      - Jiménez-Prado... Desarrollo de una herramienta de evaluación del estado ecológico de los ríos bajos del noroccidente del Ecuador, región del Chocó

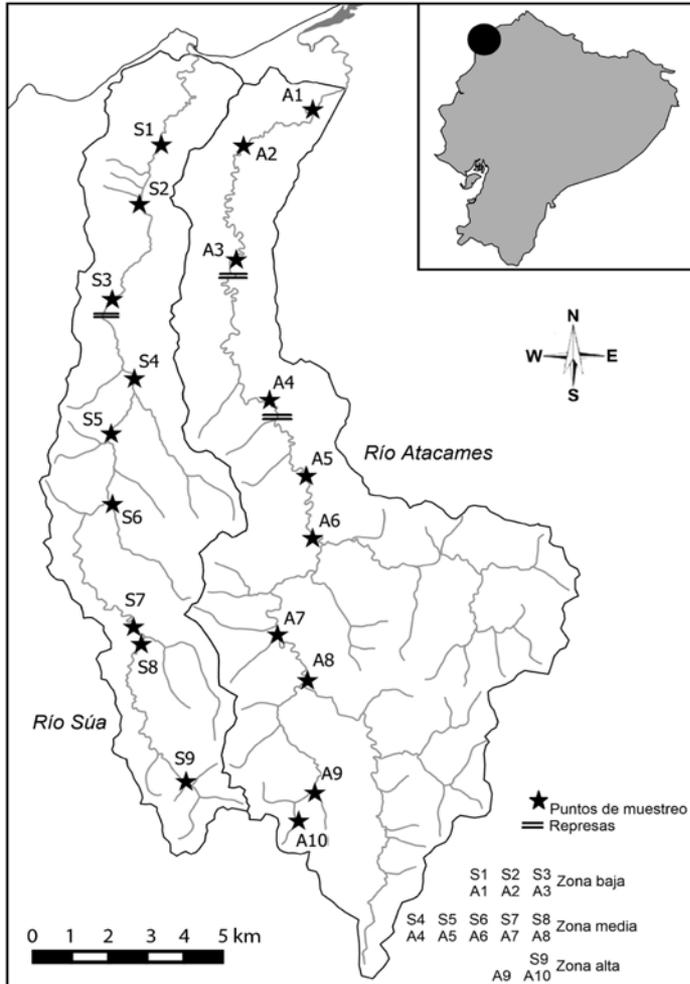


- Realizadas (mar/2019 – mar/2020)
  - Otras publicaciones
    - En revisión
      - José Iván Mojica, Pedro Jiménez-Prado, William González Daza, Cristian Martínez-González y Henry Agudelo (Ed.). Peces de la Cuenca del río Mira, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.



# Objetivos del estudio

- Determinar los cambios que presenta el ensamblaje y la estructura funcional de los peces y macroinvertebrados a lo largo del gradiente longitudinal en los ríos Atacames y Súa, del occidente ecuatoriano.
- Identificar los bioindicadores que señalan un cambio en la integridad biótica para establecer el gradiente de deterioro ambiental en los ríos Atacames y Súa, del occidente ecuatoriano.
- Diseñar una herramienta de Evaluación del Estado Ecológico mediante la valoración de bioindicadores, aplicable a los ríos bajos del occidente ecuatoriano.



El análisis está dividido en las siguientes unidades temáticas:

- Características del área de estudio.
- Riqueza y distribución de peces.
- Integridad biótica
  - Condiciones ambientales
  - Especies introducidas
  - Cambios en la forma del cuerpo de los peces
  - Macroinvertebrados y usos del suelo.
- Bioindicadores de la calidad ambiental en ríos costeros del Ecuador.

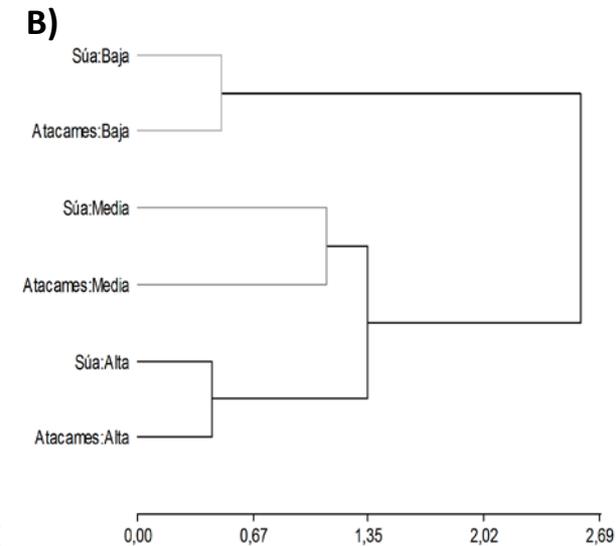
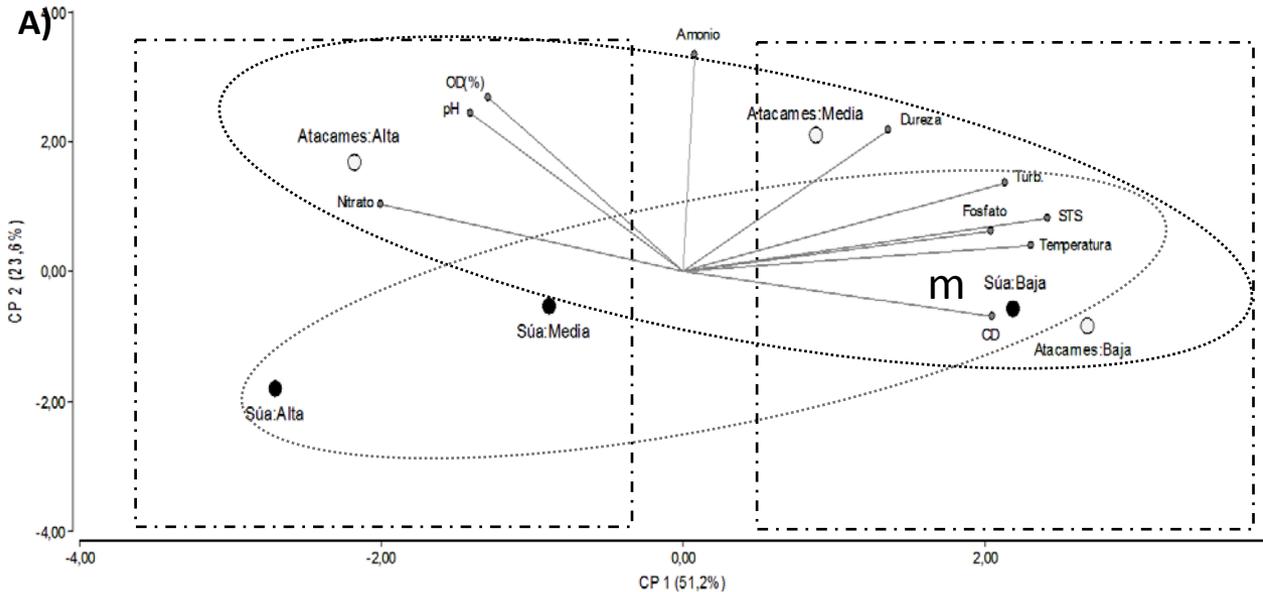
# Características del área de estudio



Parámetros geomorfológicos y físico-químicos de los ríos Atacames y Súa divididos en tres zonas: Alta, Media y Baja. Medidas con una letra común no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). Los datos de geomorfología están basados en Montaño (2018). \* muestra diferencias significativas entre ríos ( $P < 0.05$ )

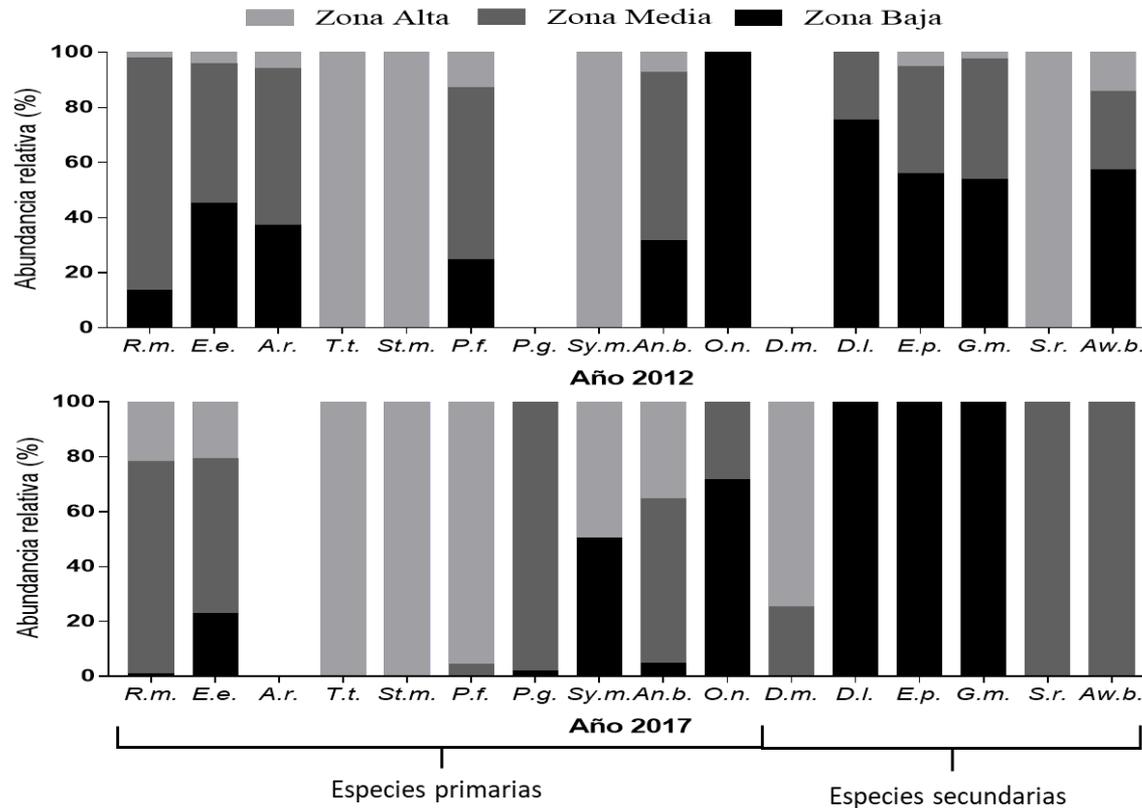
Río	Zona	Geomorfología				Físico-química										
		Drenaje (km <sup>2</sup> )	Bosque (%)	Pendiente (m m <sup>-1</sup> )	FCU (W m <sup>-1</sup> )	Valor	pH	Temperatura (°C)	CD* (µS)	OD (%)	Turbidez (FAU)	STS (mg/l)	Dureza (mg/l)	Amonio* (mg/l)	Nitrato* (mg/l)	Fosfato* (mg/l)
Atacames <sup>a</sup>	Alta <sup>a</sup>	2.65	44.65	0.0185	0.00063	Media	8.15	24	551.92	95.61	7.25	6.38	3.56	0.04	0.18	0.8
						D.E.	0.17	0.64	118.53	10.56	5.38	4.18	1.41	0.03	0.14	0.2
						Mín	7.91	22.5	383	79	1	0	1.43	0	0.03	0.5
						Máx	8.43	28	737	114	19	16	6.46	0.08	0.45	1.17
	Media <sup>b</sup>	61.06	43.14	0.0015	0.0006	Media	8.1	27.04	584.27	99.69	16.42	15.67	3.03	0.04	0.06	1.04
						D.E.	0.22	1.17	144.77	14.84	24.66	24.01	1.44	0.05	0.09	0.28
						Mín	7.66	22.5	342	74	0	0	0.47	0	0	0.47
						Máx	8.51	34	785	132.43	99	97	6.24	0.28	0.32	1.5
	Baja <sup>c</sup>	111.8	35.83	0.0009	0.00116	Media	7.83	27.16	695.44	75.22	12	15.19	3.31	0.03	0.03	1.48
						D.E.	0.2	1.27	134.71	9.89	6.4	19.4	1.83	0.03	0.03	0.26
						Mín	7.51	24	452	62	3	1	0.38	0	0	0.87
						Máx	8.2	31.5	947	92.76	25	88	7.58	0.11	0.11	1.91
Súa <sup>b</sup>	Alta <sup>a</sup>	3.5	37.3	0.0073	0.00055	Media	7.96	24.19	494.5	86.68	4.83	4.67	1.78	0.02	0.13	0.5
						D.E.	0.29	1.3	88.04	7.95	7.6	7.09	1.74	0.03	0.11	0.23
						Mín	7.66	21.5	369	74	0	0	0.05	0	0	0.26
						Máx	8.31	30	595	96.05	20	18	4.37	0.07	0.29	0.92
	Media <sup>b</sup>	27.92	27.86	0.0046	0.00104	Media	8.15	25.75	651.83	94.57	6.62	6.68	2.8	0.02	0.02	0.76
						D.E.	0.25	0.87	164.37	15.93	5.4	6.02	2.1	0.01	0.08	0.34
						Mín	7.57	23	359	68	0	0	0.05	0	0	0.14
						Máx	8.56	34	1040	123.53	25	27	10.47	0.07	0.31	1.99
	Baja <sup>c</sup>	58.37	23.83	0.0017	0.00116	Media	7.94	26.21	844.28	83.9	16.69	16.25	3.34	0.02	0.02	0.83
						D.E.	0.19	0.92	215.02	12.09	29.46	28.28	2.01	0.02	0.03	0.35
						Mín	7.69	24	478	68	1	0	1.03	0.01	0	0.15
						Máx	8.47	28.5	1144	114.1	120	112	8.38	0.06	0.15	1.31

# Características del área de estudio



Análisis de componentes Principales entre los parámetros físico-químicos del agua y las diferentes zonas de los ríos Atacames y Súa (A) y análisis de conglomerados entre las diferentes zonas en cada río (B)

Abundancias relativas de las comunidades de peces en el Río Atacame, Pacífico Ecuador *R.m.* = *Rhoadsia minor*; *E.e.* = *Eretmobrycon ecuadorensis*; *A.r.* = *Astyanax rubirrinus*; *T.t.* = *Trichomyterus taenia*; *St.m.* = *Sternopygus macrurus*; *P.f.* = *Pseudopocilia fria*; *P.g.* = *Poecilia gillii*; *Sy.m.* = *Symbranchus marmoratus*; *An.b.* = *Andinoacara blombergi*; *O.n.* = *Oreochromis niloticus*; *D.m.* = *Dajaus monticola*; *D.l.* = *Dormitator latifrons*; *E.p.* = *Eleotris pictus*; *G.m.* = *Gobiomorus maculatus*; *S.r.* = *Sicydium rosenbergi*; *Aw.b.* = *Awaous banana*



# Riqueza y distribución de peces



Family	Species	n	SL range (cm) (Min-Max)	W range (g) (Min-Max)	a (95% CL a)	b (95% CL b)	R <sup>2</sup>
Characidae	<i>Eretmobrycon ecuadorensis</i> †*						
	Román-Valencia, Ruiz-C., Taphorn, Jiménez-Prado & García-Alzate. 2015	2423	(1,88-10,04)	(0,14-23,85)	0,0204 (0,0200-0,0208)	3,06 (3,042-3,068)	0.989
	<i>Rhoadsia altipinna</i> Fowler, 1911	1720	(1,67-9,11)	(0,08-18,06)	0,0187 (0,0182-0,0192)	3,12 (3,098-3,134)	0.986
Poeciliidae	<i>Pseudopoecilia fria</i> (Eigenmann & Henn, 1914)	356	(1,39-2,95)	(0,04-0,61)	0,0182 (0,172-0,0193)	3,23 (3,148-3,302)	0.95
	<i>Poecilia gillii</i> (Kner, 1863)	601	(1,36-5,21)	(0,06-4,52)	<u>0,0233</u> (0,0222-0,0245)	3,16 (3,120-3,211)	0.969
Mugilidae	<i>Dajaus monticola</i> (Bancroft, 1834)	46	(2,34-11,44)	(0,20-29,72)	0,0148 (0,0138-0,0159)	3,133 (3,080-3,186)	0.996
Cichlidae	<i>Andinoacara blombergi</i> †* Wijkmark, Kullander & Barriga Salazar, 2012	303	(1,92-10,74)	(0,23-48,95)	0,0316 (0,0299-0,0334)	3,065 (3,033-3,096)	0.992
Eleotridae	<i>Gobiomorus maculatus</i> (Günther, 1859)	55	(1,87-12,78)	(0,09-27,37)	0,0124 (0,0117-0,0132)	3,037 (2,998-3,0755)	0.997

Standard length and weight (mean, standard deviation and range) and length-weight relationship for fish species from the Atacames and Súa rivers in the period from August 2016 to July 2017 (n = sample size; SL, standard length; W, weight; Min, minimum; Max, maximum; a and b, parameters of the linear regression; CL, confidence limits of parameters; R<sup>2</sup>, coefficient of determination; †, first length-weight relationship report; \*, new maximum length report). Underlined numbers represent values out of the confidence interval in Fishbase



# Integridad Biótica: condiciones ambientales

Modelo Lineal mixto global entre diversidad y variables ambientales, (P-valor/pendiente)

Variable Predictora	Diversidad de tamaños	Equitabilidad de tamaños	Composición de especies. Eje 1	Composición de especies. Eje 2	Equitatividad global	Diversidad (Shannon)
Temperatura			0.004(0.315)			
pH	0.0019(-0.33)		0.05(0.21)		0.0089 (-0.33)	0.04 (-0.244)
Conductividad	0.0084(-2.411)	0.0099(0.258)				
Turbidez (log)						
Oxígeno (mg.l)						
Dureza				0.01 (-0.21)		
Fosfato						
Nitrato						
Entre ríos		0.0049(-0.5055)	0.05(0.372)			
Entre zonas		Baja: 0.01(0.74) Media: 0.0002(0.949)		Media: 0.006 (0.67)		

Frecuencias con talla y peso para *Poecilia gillii* y *Pseudopoecilia fria* en los ríos Atacames y Súa divididos en tres zonas: Alta, Media y Baja. La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) y la densidad poblacional ( $d$ ) se expresan como promedios globales para cada zona

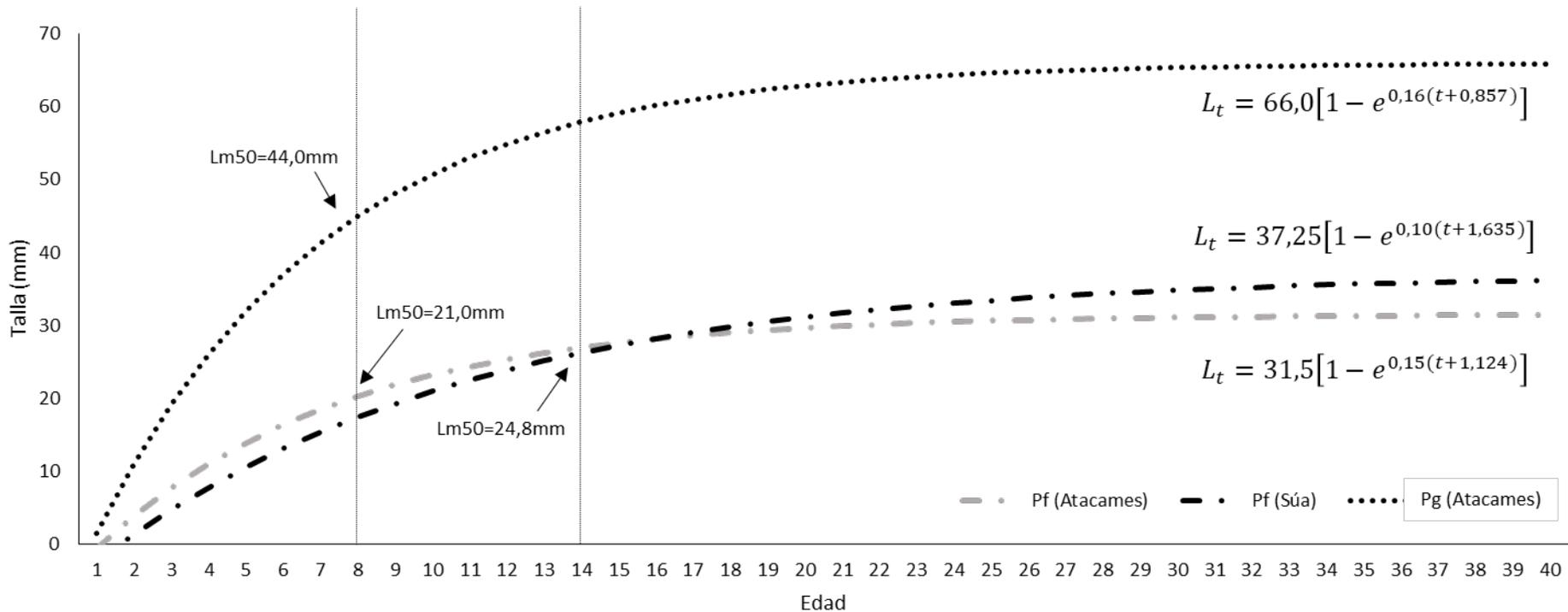
		<i>Pseudopoecilia fria</i>						<i>Poecilia gillii</i>						
Río	Zona	Medida	Media	Mín	Máx	CPUE	$d$	Zona	Medida	Media	Mín	Máx	CPUE	$d$
Atacames	Alta n = 167	Talla	19,65±3,05	13.9	28.3	27.8	0.46	Alta n = 0	Talla	-	-	-	0.0	0.00
		Peso	0,18±0,1	0.1	0.6				Peso	-	-	-		
	Media n = 8	Talla	20,02±4,38	14.2	26.0	1.3	0.02	Media n = 585	Talla	29,78±6,12	13.6	52.1	97.5	6.50
		Peso	0,2±0,12	0.1	0.4				Peso	0,85±0,56	0.1	4.5		
	Baja n = 0	Talla	-	-	-	0.0	0.00	Baja n = 16	Talla	31,89±10,16	16.0	44.5	2.7	1.17
		Peso	-	-	-				Peso	1,19±0,89	0.1	2.7		
Súa	Alta n = 136	Talla	21,4±2,76	13.9	27.7	22.7	0.38	Alta n = 0	Talla	-	-	-	0.0	0.00
		Peso	0,22±0,1	0.0	0.5				Peso	-	-	-		
	Media n = 39	Talla	21,59±3,23	15.1	29.5	6.5	0.11	Media n = 0	Talla	-	-	-	0.0	0.00
		Peso	0,23±0,11	0.1	0.5				Peso	-	-	-		
	Baja n = 7	Talla	22,2±3,06	17.0	24.9	1.2	0.02	Baja n = 0	Talla	-	-	-	0.0	0.00
		Peso	0,25±0,13	0.1	0.5				Peso	-	-	-		

Parámetros de edad y crecimiento para la población de *Pseudopoecilia fria* del río Atacames y del río Súa; así como para *Poecilia gillii*, presente solo en el río Atacames.  $K$  = Tasa de crecimiento;  $L_{\infty}$  = Longitud asintótica;  $T_0$  = Edad teórica al nacimiento;  $\phi'$  = Rendimiento para índice de crecimiento;  $M$  = mortalidad;  $Lm50$  = Edad calculada de la primera maduración

	$K$ (año <sup>-1</sup> )	$L_{\infty}$ (mm)	$t_0$	$\phi'$	$M$ (año <sup>-1</sup> )	$Lm50$ (mm)
<i>Poecilia gillii</i>	0,16	66,0	-0,857	2,84	0,42	44,0
<i>Pseudopoecilia fria</i> en Atacames	0,15	31,5	-1,124	2,17	0,49	21,0
<i>Pseudopoecilia fria</i> en Súa	0,10	37,45	-1,635	2,14	0,36	24,8



# Integridad Biótica: Especies introducidas



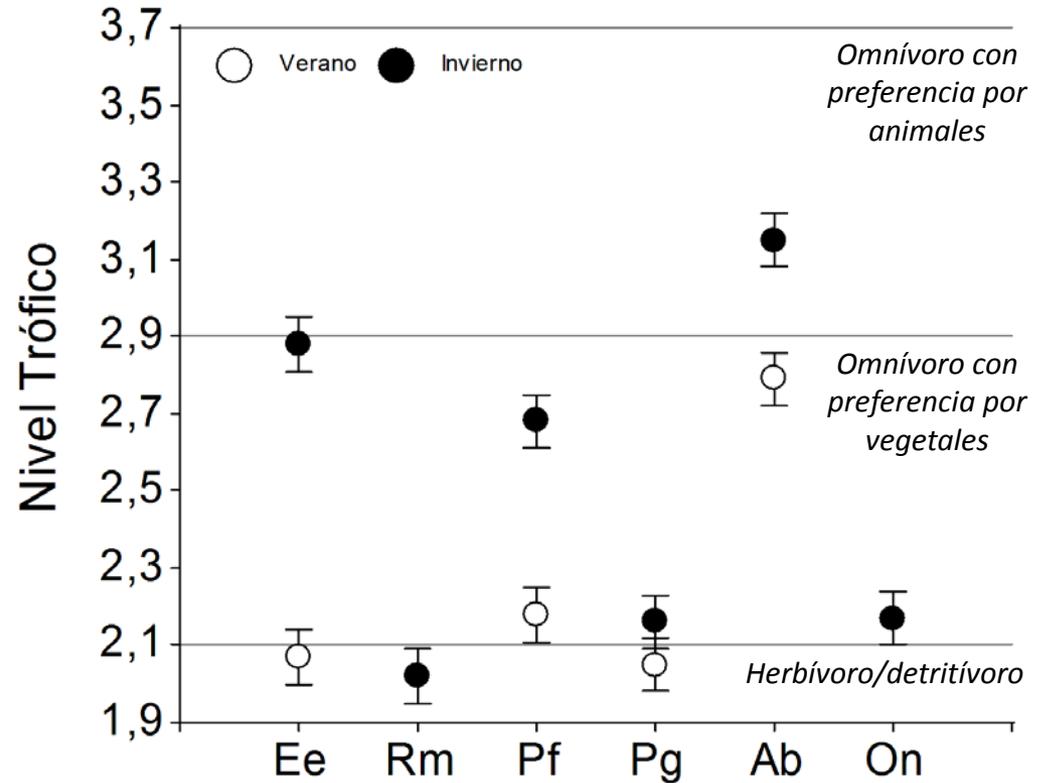
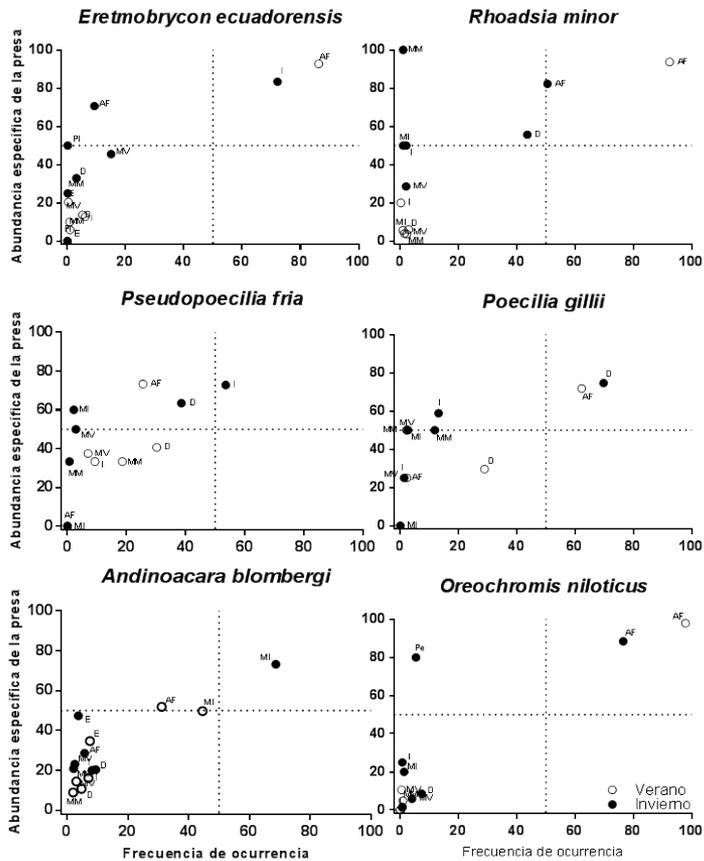
Curvas de crecimiento de *Pseudopoecilia fria* (Pf) y *Poecilia gillii* (Pg) en los ríos Atacames y Súa



# Integridad Biótica: Especies introducidas

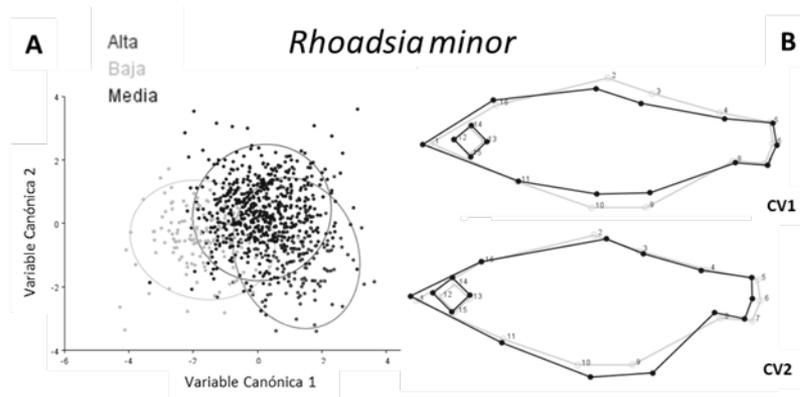
Dieta y nivel trófico de las especies según su alimentación en verano e invierno.

Ee = *Eretmobycon ecuadorensis*; Rm = *Rhoadsia minor*; Pf = *Pseudopoecilia fria*; Pg = *Poecilia gillii*; Ab = *Andinoacara blombergi*; On = *Oreochromis niloticus*

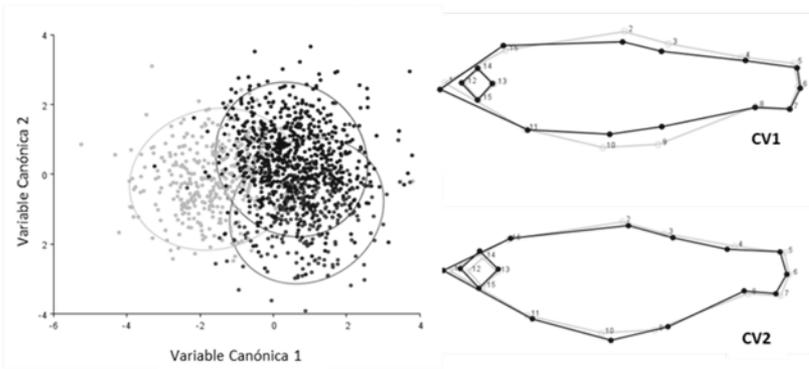


# Integridad Biótica: Cambios en la forma de los peces

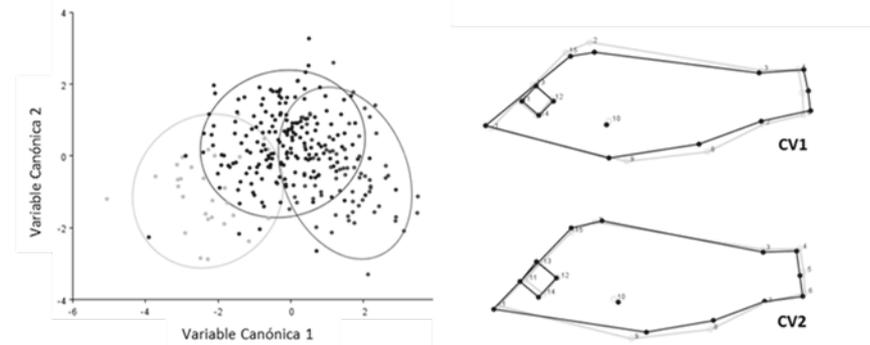
Análisis de Variante Canónicas con grupos definidos por zona de colección (Bajo = sitios 1-3, medio = sitios 4-9, alto = sitios 9-10) combinados para los dos ríos. A (izquierda).\_ Distribución de especímenes en las variantes canónicas 1 y 2 codificados por zona de colección. B (derecha).\_ Variación en la forma del cuerpo asociada con las variantes canónicas (CV1 y CV2).

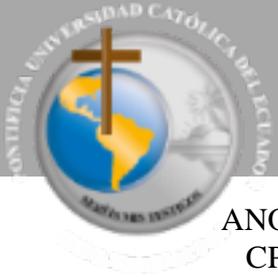


## *Eretmobycon ecuadorensis*



## *Andinoacara blombergi*

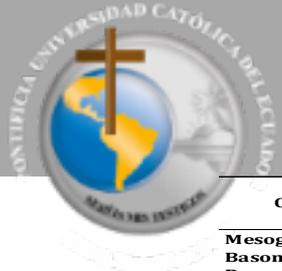




# Integridad Biótica: Macroinvertebrados y usos del suelo

ANOVA de tres vías (Corriente x Sitio x Tiempo) con el factor de Sitio anidado en el factor de Corriente para la CPOM bentónica. Los datos se han transformado con la función de la raíz cuadrada (n. s., no significativo).

Variable	Factor	F	<i>p</i>	
CPOM total (g m <sup>-2</sup> )	Stream	F <sub>1,7</sub> = 0.15	n. s.	Atacames = Súa
	Site	F <sub>7,79</sub> = 3.01	<i>p</i> < 0.01	
	Time	F <sub>1,7</sub> = 13.77	<i>p</i> < 0.01	January < November
	Stream x Time	F <sub>1,7</sub> = 0.31	n. s.	
Riparian (g m <sup>-2</sup> )	River	F <sub>1,7</sub> = 0.06	n. s.	Atacames = Súa
	Site	F <sub>7,79</sub> = 4.67	<i>p</i> < 0.001	
	Time	F <sub>1,7</sub> = 6.17	<i>p</i> < 0.001	January < November
	River x Time	F <sub>1,7</sub> = 0.09	n. s.	
Non-cultivated (g m <sup>-2</sup> )	River	F <sub>1,7</sub> = 1.49	n. s.	Atacames = Súa
	Site	F <sub>7,79</sub> = 7.61	<i>p</i> < 0.001	
	Time	F <sub>1,7</sub> = 0.83	n. s.	January = November
	Stream x Time	F <sub>1,7</sub> = 0.14	n. s.	
Cultivated (g m <sup>-2</sup> )	Stream	F <sub>1,7</sub> = 1.09	n. s.	Atacames = Súa
	Site	F <sub>7,79</sub> = 2.55	<i>p</i> < 0.05	
	Time	F <sub>1,7</sub> = 4.34	n. s.	January = November
	Stream x Time	F <sub>1,7</sub> = 0.51	n. s.	



# Integridad Biótica: Macroinvertebrados y usos del suelo

ORDEN	FAMILIA	Verano						Invierno						Total
		Atacames			Súa			Atacames			Súa			
		Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	
Mesogastropda	Ampullariidae					1	2							3
Basommatophora	Ancylidae				15			2	4				162	4
Decapoda	Atyidae				230	984	66	692	503		99	118		179
Ephemeroptera	Baetidae	57	1370	249				21						4368
Ephemeroptera	Caenidae	5		4				3						30
Odonata	Calopterygidae	13	2	8				6			1			27
Diptera	Ceratopogonidae	9	18	1	6	5	1	6					10	56
Diptera	Chironomidae	404	259	120	180	152	79	213	112		7		4	1530
Gordioidea	Chordodidae	3	5	22			10	6	6					52
Coleoptera	Chrysomelidae							1					6	7
Odonata	Coenagrionidae	65	96	16	9	69	1	31	9		4		18	318
Veneroidea	Corbiculidae		4	1		2	4	7				2		20
Megaloptera	Corydalidae	5	11		1	13		3	2		1	1		37
Diptera	Culicidae							3						3
Diptera	Dolichopodidae	13			11	3	2	17			2		3	51
Turbellaria	Dugesidae	5	70	14	9	106		6	3				70	283
Coleoptera	Elmidae	118	886	12	50	413	2	129	214		36	1		1861
Diptera	Empididae	3	44		1	2		1	4					55
Hemiptera	Gerridae			1		1								2
Glossiphoniidae	Glossiphoniidae		24								2		9	35
Trichoptera	Glossosomatidae		9			3			10				9	31
Odonata	Gomphidae	2	4		4	14	3		2					29
Acari	Hydraacarina													1
Coleoptera	Hydraenidae	4											117	121
Hemiptera	Hydrometridae				1									1
Coleoptera	Hydrophilidae				1								54	55
Trichoptera	Hydropsychidae	654	2025	102	38	808		308	192		45	2	1	4175
Trichoptera	Hydroptilidae		78	1	12	58	8		4		1			162
Trichoptera	Leptoceridae			6	1	1	1							371
Ephemeroptera	Leptohyphidae	345	4228	19	269	2408	807	870	778		35	23	31	9813
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	220	56	30	51	718	2	221	84		56	3	2	1443
Odonata	Libellulidae	22	46	3	1	256		9	12		1	1	148	499
Basommatophora	Lymnaeidae				1		36		11		10			58
Odonata	Megapodagrionidae	1	1		1	1		9			2			15
Hemiptera	Naucoridae		4						2					6
Ostracoda	Ostracoda				1								15	19
Decapoda	Palaemonidae	1		29	2	2	1		1			1		37
Plecoptera	Perlidae				2								10	12
Trichoptera	Philopotamidae	98	215	1	7	123		98	176		7	1		726
Basommatophora	Physidae								12					12
Tricladida	Planariidae	5	70		9									84
Odonata	Platystictidae	1	1										1	3
Basommatophora	Planorbidae												6	6
Trichoptera	Polycentropodidae	61	160	33	7	39		48	92		3			443
Coleoptera	Psephenidae	63	1		44			6			10			124
Decapoda	Pseudothelphusidae	1												1
Coleoptera	Ptilodactylidae	27			4			23			35		3	92
Lepidoptera	Pyralidae (Crambidae)	1	53	1	2	8			14					79
Coleoptera	Scirtidae	1			1									2
Diptera	Simuliidae		161			21		1	7					190
Veneroidea	Sphaeridae						2		3		1			6
Coleoptera	Staphylinidae							2						2
Diptera	Stratiomyidae	11		1	4	2		1						19
Diptera	Tabanidae					1							258	259
Mesogastropda	Thiaridae		25	73	12	46	8		187		65	18	7	441
Diptera	Tipulidae	19	26	2	20	72		47	1		3	3		193
Decapoda	Trichodactylidae							3					4	7
Oligochaeta	Tubificidae	26	18	14	1	20		4	3		1			87
Hemiptera	Veliidae	2	8		4									14
	<b>Total</b>	<b>2265</b>	<b>9978</b>	<b>763</b>	<b>1012</b>	<b>6352</b>	<b>1039</b>	<b>2784</b>	<b>2455</b>		<b>427</b>	<b>174</b>	<b>1319</b>	<b>28568</b>