

## **ANEXO 4**

### **ANÁLISIS HIDROMORFOLÓGICO Y ESTADÍSTICO**

## METODOLOGÍA

Las variables utilizadas en este análisis tienen diversos orígenes, escala espacial de representación (actuación) y “pertenencia”.

El origen de las variables hace referencia a la fuente o lugar del cual se obtuvieron los valores de las variables. En primer lugar se distinguen aquellas variables que son medidas directamente en terreno (variables *in situ*) y aquellas que la muestra proviene del terreno, pero que son medidas en laboratorio. Además se distinguen aquellas variables que fueron generadas en gabinete (variables sintéticas).

La escala espacial hace referencia a la escala a la cual las condiciones que representa la variable se pueden suponer como homogéneas. De esta forma se distingue la microescala, que hace referencia a un punto particular del río; la mesoescala que puede ser a nivel de tramo o segmento de río; y la macroescala que puede ser a nivel de subcuenca o cuenca de río.

Finalmente, también es posible agrupar las variables de acuerdo al tipo de éstas, por ejemplo variables que identifican procesos o parámetros de calidad de las aguas, parámetros físicos (como hidráulicos, morfológicos, etc.) o variables antrópicas que representan aspectos relacionados con las costumbres o actividades humanas.

De acuerdo a estas tres orientaciones o grupos, se clasificaron las variables utilizadas en los análisis estadísticos, lo cual permitió definir grupos de variables que serán sometidos a análisis, dando mayor coherencia a dichos análisis. En la Tabla 4.1 se detallan las variables utilizadas indicando una pequeña definición de estas, escala espacial y tipo de variable.

**Tabla 4.1.** Variables utilizadas en los análisis estadísticos. Se detalla el código utilizado, una descripción, el origen, tipo de variable y escala espacial asociada a esta.

Variable	Código	Descripción	Origen	Tipo de variable	Tipo de variable	Escala espacial
Temperatura	T°	Temperatura del agua en el punto de muestreo (°C)	<i>In situ</i>	Numérica	Física	Mesoescala
Oxígeno Disuelto	OD	Oxígeno Disuelto en el punto de muestreo (mg/l)	<i>In situ</i>	Numérica	Física	Mesoescala
Conductividad eléctrica	CE	Conductividad eléctrica en el punto de muestreo (mS/cm)	<i>In situ</i>	Numérica	Física	Mesoescala
pH	pH	pH en el punto de muestreo	<i>In situ</i>	Numérica	Física	Mesoescala
Profundidad	Prof	Profundidad de la columna de agua en el punto de muestreo	<i>In situ</i>	Numérica	Hidráulica	Microescala
Velocidad de fondo	Vel_f	Velocidad de fondo en el punto de muestreo	<i>In situ</i>	Numérica	Hidráulica	Microescala
Velocidad media	Vel_m	Velocidad media de la columna de agua en el punto de muestreo	<i>In situ</i>	Numérica	Hidráulica	Microescala
Sustrato	Sustrato	Describe los sustratos predominantes en el sector de muestreo de Didymo. Se utilizaron clasificaciones de Bloques, bolones, arenas, limo y materia orgánica para la descripción del sustrato	<i>In situ</i>	Categórica	Morfológica	Microescala
Bentos	Bentos	Presencia de Didymo en la comunidad bentónica	Laboratorio	Dicotómica	Biológica	Microescala

Variable	Código	Descripción	Origen	Tipo de variable	Tipo de variable	Escala espacial
Fitoplancton	Fito	Presencia de Didymo en el fitoplancton arrastrado en la columna de agua	Laboratorio	Dicotómica	Biológica	Microescala
Calcio total	Ca	Calcio total en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Fosfato	PO4	Fosfato en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Fósforo	P	Fósforo en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Fósforo total	Ptotal	Fósforo total en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Hierro total	Fe	Hierro total en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Nitrato	N03	Nitrato en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Nitrito	N02	Nitrito en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Sílice total	Si	Sílice total en el punto de muestreo	Laboratorio	Numérica	Química	Mesoescala
Distancia a frontera	Dist_frontera	Distancia desde el punto de muestreo al paso fronterizo más cercano	Gabinete	Numérica	Antrópica	Mesoescala
Distancia a camino	Dist_camino	Distancia desde el punto de muestreo al camino más cercano	Gabinete	Numérica	Antrópica	Mesoescala
Número turistas	N°_tur	Número de turistas censados por Sernatur por comuna	Gabinete	Numérica	Antrópica	Macroescala
Caudal máximo 50	Qmax50	Caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia de un 50% dividido por el caudal medio anual	Gabinete	Numérica	Hidrológica	Mesoescala
Caudal mínimo 50	Qmin50	Caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia de un 50% dividido por el caudal medio anual	Gabinete	Numérica	Hidrológica	Mesoescala
Caudal máximo 90	Qmax90	Caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia de un 50% dividido por el caudal medio anual	Gabinete	Numérica	Hidrológica	Mesoescala
Caudal mínimo 90	Qmin90	Caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia de un 50% dividido por el caudal medio anual	Gabinete	Numérica	Hidrológica	Mesoescala
Caudal máximo 10	Qmax10	Caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia de un 50% dividido por el caudal medio anual	Gabinete	Numérica	Hidrológica	Mesoescala
Caudal mínimo 10	Qmin10	Caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia de un 50% dividido por el caudal medio anual	Gabinete	Numérica	Hidrológica	Mesoescala
Geología	Geo	Litología	Gabinete	Categórica	Química	Macroescala

### **Generación de las variables de gabinete**

Las variables de gabinete fueron generadas bajo distintos criterios los cuales se detallan a continuación:

Distancia a frontera: En base a información cartográfica y a la ubicación (coordenadas UTM) se determinó la distancia lineal al paso fronterizo más próximo.

Distancia a caminos: De igual forma a la variable anterior se determinó la distancia entre el punto de muestreo y la distancia al camino más cercano, sea éste de ripio, tierra o asfalto.

Número de turistas: A cada punto de muestreo se asignó el número de turistas de acuerdo a la comuna en la cual se ubica el punto de muestreo. Esta información fue entregada por SERNATUR.

Caudal máximo 50: Esta variable representa el caudal mensual para una probabilidad de excedencia igual a 50%, la cual fue dividida por el caudal medio anual. De esta forma es posible comparar estadísticamente el régimen hidrológico en cada punto de muestreo, eliminando el sesgo de la magnitud asociada y solo considerar el rango de variación entre el caudal mensual máximo y el caudal medio anual.

Para obtener esta variable fue necesario calcular la Curva de Variación Estacional (CVE) asociada al régimen hidrológico en cada punto de muestreo.

Mediante el método de transposición de cuencas se determinaron los caudales medios mensuales en cada punto de muestreo a partir de la estación fluviométrica vigente más cercana y que presentasen similitud hidrológica esperada entre la estación y el punto de muestreo.

A partir de estos datos se determinó la CVE ajustando una función de distribución de probabilidades. Para este estudio se utilizaron las funciones más comunes en hidrología (Normal, LogNormal, Gamma, Weibull, LgPearson Tipo III, General Extreme Value y Gumbel). Los parámetros fueron determinados mediante el método de los momentos y se utilizó el test de ajuste de Chi-Cuadrado para verificar el nivel de significancia del ajuste. Se consideró un nivel de significancia igual al 0.05%.

Después de obtenidas las funciones de probabilidades por mes se calculó los caudales de ocurrencia para cierto grado de probabilidad. En este caso se determinaron para las probabilidades de un 5, 10, 20, 50, 85, 90 y 95 %. Luego se grafican los resultados de caudales medios para las diferentes probabilidades versus los meses según el año hidrológico para obtener las curvas de variación estacional.

De la CVE se obtuvo el caudal máximo mensual asociado a una probabilidad de excedencia igual a 50% y el caudal medio anual se determinó a partir de los registros mensuales determinados mediante la transposición de cuencas.

Caudal máximo 50. Esta variable representa el caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia igual a 50%, dividida por el caudal medio anual. La construcción de esta variable es análoga a la desarrollada para la variable *Caudal máximo 50*.

Caudal mínimo 50. Esta variable representa el caudal mensual mínimo para una probabilidad de excedencia igual a 50%, dividida por el caudal medio anual. La construcción de esta variable es análoga a la desarrollada para la variable *Caudal máximo 50*.

Caudal máximo 10. Esta variable representa el caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia igual a 10%, dividida por el caudal medio anual. La construcción de esta variable es análoga a la desarrollada para la variable *Caudal máximo 50*.

Caudal mínimo 10. Esta variable representa el caudal mensual mínimo para una probabilidad de excedencia igual a 10%, dividida por el caudal medio anual. La construcción de esta variable es análoga a la desarrollada para la variable *Caudal máximo 50*.

Caudal máximo 90. Esta variable representa el caudal mensual máximo para una probabilidad de excedencia igual a 90%, dividida por el caudal medio anual. La construcción de esta variable es análoga a la desarrollada para la variable *Caudal máximo 50*.

Caudal mínimo 90. Esta variable representa el caudal mensual mínimo para una probabilidad de excedencia igual a 90%, dividida por el caudal medio anual. La construcción de esta variable es análoga a la desarrollada para la variable *Caudal máximo 50*.

Geología: A partir de cobertura litológica (escala 1: ) se asoció la litología a cada punto de muestreo. Las categorías de la litología son: Depósitos no consolidados, Rocas volcánicas; Rocas plutónicas e hipabisales; Rocas sedimentarias y mixtas; y Rocas metamórficas y sedimentarias.

### **Análisis estadísticos**

Una vez determinadas y construidas todas las variables consideradas como necesarias se realizaron diversos análisis estadísticos que ayuden a determinar si las variables medidas (o generadas) pueden ayudar a explicar la distribución geográfica de *Didymosphenia geminata*.

En primer lugar se realizó un análisis exploratorio, el cual consistió en Análisis de Varianza (ANOVA) con las variables numéricas para saber si existen diferencias significativas bajo la agrupación de presencia o ausencia de Didymo en el Bentos. En aquellas variables que son categóricas se realizaron test de Chi-cuadrado. Además se determinaron las correlaciones entre todas las variables con el fin de analizar si hay variables redundantes.

En segundo lugar, se realizaron Análisis de Componentes Principales (PCA) los cuales buscaron determinar si existen variables que logran explicar el comportamiento de invasión de la diatomea bentónica y saber cuál de estas variables logran una mayor varianza explicada. Los PCA se realizaron entre grupos de variables que tienen características en común. En particular, se realizaron 4 PCA. El primero de ellos consideró a las variables medidas *in situ* (temperatura, Conductividad eléctrica, pH, Oxígeno Disuelto, saturación de oxígeno, velocidad media y de fondo). Un segundo PCA se realizó con las variables ya mencionadas (*in situ*) en las cuales se agregó algunos parámetros químicos medidos en laboratorio (Calcio, Hierro, Nitrato y Sílice). Un tercer PCA se realizó incluyendo a las variables *in situ* y las variables antrópicas (distancia a frontera, distancia a camino y total turistas). Finalmente un último PCA se realizó incluyendo la totalidad de las variables hidrológicas (Caudal máximo 50, Caudal mínimo 50, Caudal máximo 90, Caudal mínimo 90, Caudal máximo 10, Caudal mínimo 10).

Por otra parte se realizaron dos Análisis Lineal Discriminante (LDA) para analizar si existen variables que son capaces de discriminar la presencia o ausencia de Didymo. El primero se realizó para el conjunto de variables *in situ*, sustrato y geología. El segundo LDA se realizó considerando los conjuntos de las variables antrópicas, hidrológicas, químicas medidas en laboratorio y sustrato.

Para cada uno de los LDA se calculó la matriz de confusión para determinar el poder de discriminación que presentan sobre la presencia o ausencia de Didymo.

## RESULTADOS

### Generación de variables

A continuación se presentan los resultados de las variables que fueron generadas sintéticamente. Para el resto de las variables analizadas referirse a las distintas fuentes de información (muestreo y resultados de laboratorio).

**Tabla 4.2.** Variables sintéticas generadas asociadas a cada punto de muestreo

Cuenca	Código	Distancia camino	Distancia a frontera	Total turistas	Geología	Sustrato dominante	Qmax50	Qmin50	Qmax90	Qmin90	Qmax10	Qmin10
Bio-Bío	PUNTO EXTRA-LOLEN/BIOBIO	28.385	36.129.497	362	R_mix	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO EXTRA-TALLON/BIOBIO	729.438	31.872.516	362	Dep_NC	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO2B-BALSARAHUE-SERNAPESCA	138.585	41247.99	362	Dep_NC	Me	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO2-CARACOLES-SERNAPESCA	49.144	49.400.806	362	R_vol	Limo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO5-BIOBIO-SERNAPESCA	77.346	61.452.944	362	R_mix	BloqBolo	0.267	2.535	0.279	3.407	0.126	1.520
	AMK-BIOBIO1	926.211	15.159.086	362	Dep_NC	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	AMK-BIOBIO2	118.458	16.566.626	362	R_vol	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	AMK-LIUCURA1	1.342.049	12.105.279	362	R_vol	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	AMK-LIUCURAN2	305.658	16.116.252	362	R_vol	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO EXTRA SOLO BENTOS1	330.963	23.778.842	362	R_mix	NA	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO EXTRA SOLO BENTOS2	205.942	22.535.275	362	R_mix	NA	0.232	1.885	0.216	3.062	0.109	1.185
	PUNTO1-BIOBIO-SERNAPESCA	82.744	15.081.976	362	R_vol	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO3-LONQUIMAY-SERNAPESCA	639.728	39.952.026	362	R_mix	BloqBolo	0.337	1.504	0.279	3.407	0.126	1.520
	PUNTO4-RANQUIL-SERNAPESCA	66.606	54.220.311	362	R_vol	BloqBolo	0.232	1.885	0.359	5.672	0.168	1.093
	PUNTO6-BIOBIO-SERNAPESCA	226.693	22.806.119	362	R_mix	Bolo	0.232	1.885	0.279	3.407	0.126	1.520
Imperial	AMK-CAUTIN1	131.73	68851.15	13180	R_vol	Me	0.253	2.040	0.443	3.153	0.123	0.934
	AMK-CAUTIN1*	159.331	140.267.387	S/I	Dep_NC	Bloq	0.227	2.143	0.343	3.600	0.167	1.071
	AMK-CAUTIN2	422.847	92.346.114	S/I	Dep_NC	BoloLimo	0.244	2.269	0.387	3.557	0.142	1.140
Toltén	AMK-LIUCURA2	59.587	50.326.154	59320	Dep_NC	Bolo	0.494	1.606	0.735	2.368	0.365	1.002
	AMK-ALLIPEN1	299.132	85.595.718	832	Dep_NC	BloqBolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076

Cuenca	Código	Distancia camino	Distancia a frontera	Total turistas	Geología	Sustrato dominante	Qmax50	Qmin50	Qmax90	Qmin90	Qmax10	Qmin10
Toltén	AMK-ALLIPEN2	106.862	109426.54	S/I	Dep_NC	Bolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076
	AMK-CABURGUA2	779.372	49.131.343	59320	Dep_NC	BoloAren	0.494	1.606	0.735	2.368	0.365	1.002
	AMK-CURACO1	84.412	75.123.358	832	R_mix	BloqBolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076
	AMK-CURACO2	528.869	85.025.386	832	Dep_NC	BloqBolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076
	AMK-LIUCURAS1	285.679	46.417.807	59320	Dep_NC	Bloq	0.29	1.831	0.474	3.559	0.213	0.982
	AMK-MAICHIN1	74.295	30.370.131	78	R_mix	Bolo	0.359	1.810	0.501	2.935	0.23	0.899
	AMK-MAICHIN2	80.99	28.871.822	78	Dep_NC	Bloq	0.359	1.810	0.501	2.935	0.23	0.899
	AMK-PANQUI1	1510.25	35.493.137	78	R_mix	BloqBolo	0.359	1.810	0.501	2.935	0.23	0.899
	AMK-PANQUI2	47.372	29.539.322	59320	R_plu	Bolo	0.359	1.810	0.501	2.936	0.23	0.899
	AMK-PEDRGSO1	61.927	77.110.837	40709	Dep_NC	Bolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076
	AMK-PEDRGSO2	30.889	86.853.194	40709	Dep_NC	Bolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076
	AMK-PUCON1	141.921	27.852.388	78	R_mix	Bolo	0.359	1.810	0.501	2.936	0.23	0.899
	AMK-PUCON2	177.76	50.514.351	59320	Dep_NC	Bloq	0.494	1.606	0.735	2.368	0.365	1.002
	AMK-TOLTEN1	375.086	100.886.626	83	Dep_NC	Bolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076
	AMK-TOLTEN2	144.428	137.581.599	S/I	Dep_NC	Bolo	0.41	1.978	0.484	3.337	0.316	1.076
	AMK-TRANCURA1	75.499	9.686.465	78	R_plu	Bloq	0.249	1.826	0.458	3.092	0.078	1.301
	AMK-TRANCURA2	488.665	17.982.607	78	R_plu	Bolo	0.249	1.826	0.458	3.092	0.078	1.301
Valdivia	AMK-ENCO1	967.871	38.053.657	14512	Dep_NC	Me	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-ENCO2	844.252	40.619.413	220	R_plu	Bolo	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-FUY1	59.716	20.552.118	14512	Dep_NC	Bolo	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-FUY1*	119.299	22.042.939	14512	Dep_NC	Bolo	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-FUY2	38.166	25861.13	14512	Dep_NC	Bloq	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-LLANQHUE1	24.605	29.763.027	14512	Dep_NC	Bolo	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-LLANQHUE2	943.45	33.438.099	14512	Dep_NC	Bloq	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-SANPEDRO2	229.547	87.043.511	220	R_mix	Me	0.335	1.871	0.249	1.046	0.493	3.142
	AMK-BCO ENCO1	98.505	39.943.718	220	R_plu	Bolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787



Cuenca	Código	Distancia camino	Distancia a frontera	Total turistas	Geología	Sustrato dominante	Qmax50	Qmin50	Qmax90	Qmin90	Qmax10	Qmin10
Valdivia	AMK-BCO ENCO2	730.133	40.495.827	220	Dep_NC	BloqBolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-CRUCES1	9.311	100.873.889	1188	Dep_NC	Bolo	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-CRUCES2	322.004	106.605.413	S/I	R_MyS	Bolo	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-CUACUA2	148.489	19.455.487	14512	R_plu	Bolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-FUTA1	4775.82	119.562.555	S/I	R_MyS	Aren	0.13	2.835	0.046	1.801	0.185	1.801
	AMK-HUAHUM1	332.128	12.578.627	14512	R_plu	Bolo	0.179	1.995	0.135	1.089	0.249	3.274
	AMK-HUAHUM2	30.706	16.664.916	14512	R_plu	Bolo	-	-	-	-	-	-
	AMK-HUENEHUE2	170.8	49.359.595	14512	R_mix	Bolo	-	-	-	-	-	-
	AMK-HUICHAL1*	148.508	39.465.095	220	R_plu	Bolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-LINOICO1*	2.252.567	31.863.309	14512	R_mix	Bolo	-	-	-	-	-	-
	AMK-LIQUINE1	273.475	10.432.726	14512	R_plu	Bolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-LIQUINE2	333.317	13.836.182	14512	R_plu	Bolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-LLANCAH1	139.722	32.089.075	14512	Dep_NC	Bolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-LLANCAH2	1.746.589	32.368.986	14512	R_mix	Bolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-MANIO1	17.29	60.523.018	14512	Dep_NC	Bolo	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-MANIO2	515.583	63.813.219	14512	Dep_NC	Bolo	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-NELTUME1	1.136.606	26.225.821	14512	Dep_NC	Bolo	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-NELTUME2	1.121.129	26.764.417	14512	Dep_NC	Bolo	0.084	2.120	0	1.136	0.267	3.503
	AMK-QUINCHIL1	144.998	70.924.875	220	R_plu	Bolo	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-QUINCHIL2	385.062	77.248.035	220	Dep_NC	Bolo	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-REMEHUE1	131.72	63.328.852	220	R_plu	Me	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-REMEHUE2	228.319	68.172.728	220	R_plu	Bolo	0.179	2.593	0.121	1.332	0.261	4.038
	AMK-REYEHUEI2	63.796	18.579.803	14512	R_plu	BloqBolo	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-SANPEDRO1	325.331	64.867.625	14512	Dep_NC	Bolo	0.335	1.871	0.249	1.046	0.493	3.142
	AMK-ZAHUIL1	3.582.505	44.747.613	14512	R_mix	Me	0.383	1.873	0.142	0.96	0.695	2.787
	AMK-ZAHUIL2	663.746	49.092.875	14512	R_mix	Bolo	-	-	-	-	-	-

Cuenca	Código	Distancia camino	Distancia a frontera	Total turistas	Geología	Sustrato dominante	Qmax50	Qmin50	Qmax90	Qmin90	Qmax10	Qmin10
Bueno	AMK-BCOCUMI1	373.758	26.331.648	2606	Dep_NC	Bolo	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396
	AMK-BCOMAIHU1	488.69	16.645.076	2606	Dep_NC	BloqBolo	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-BCOMAIHU2	342.333	20.722.691	2606	Dep_NC	Bolo	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-BUENO1	124.719	68.469.958	260	Dep_NC	Bolo	0.48	1.700	0.353	1.068	0.606	2.335
	AMK-BUENO2	677.425	93.116.286	886	Dep_NC	Bolo	0.48	1.700	0.353	1.068	0.606	2.335
	AMK-CALCRRPE2	140.375	38.660.658	2606	R_mix	Bolo	0.457	1.612	0.346	0.907	0.691	2.671
	AMK-CALCRRPE1	818.573	30.952.092	260	R_plu	Bolo	0.457	1.612	0.346	0.907	0.691	2.671
	AMK-CAUNAHUE1	307.769	33.313.068	2606	R_mix	Bolo	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396
	AMK-CAUNAHUE2	309.339	37.706.775	2606	R_mix	Bolo	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396
	AMK-CHIHUIO2	494.795	10.758.908	2606	R_plu	BloqBolo	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-COIQUE1	77.773	55.936.765	2606	Lago	Aren	-	-	-	-	-	-
	AMK-CUMILAHU2	178.513	28.532.361	2606	Lago	Bolo	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396
	AMK-CUMILAHUE1	78.002	25.222.902	2606	Dep_NC	BoloAren	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396
	AMK-CURRINE2	109.081	16856.79	2606	Dep_NC	Bloq	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-FLORIN1	85.239	27619.73	2606	R_plu	Bloq	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396
	AMK-FLORIN2	256.214	32.725.219	2606	R_mix	Bolo	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396
	AMK-HUEINAHU1	2.916.472	19.433.343	260	R_plu	Bloq	-	-	-	-	-	-
	AMK-HUEINAHU2	1.909.513	22.103.032	2606	Dep_NC	Bolo	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-IGNAO1	35.724	74.215.569	S/I	Dep_NC	Bolo	0.287	1.870	0.072	1.146	0.403	3.251
	AMK-NILAHUE2	49.13	34.429.361	260	R_mix	BoloLimo	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-NILHUE1	60.723	33.608.327	260	Dep_NC	Bolo	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-RININAHU1	1.822.736	38.772.158	260	R_mix	Me	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-RININAHU2	75.145	40.689.428	260	R_mix	Bolo	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-RUPMEICA2	2918.12	19.476.483	260	R_plu	Me	0.509	1.743	0.308	0.905	0.784	2.687
	AMK-SICAHUE2	454.611	31.829.122	2606	R_mix	BloqBolo	0.215	2.175	0.099	1.365	0.44	3.396

## **Análisis estadísticos**

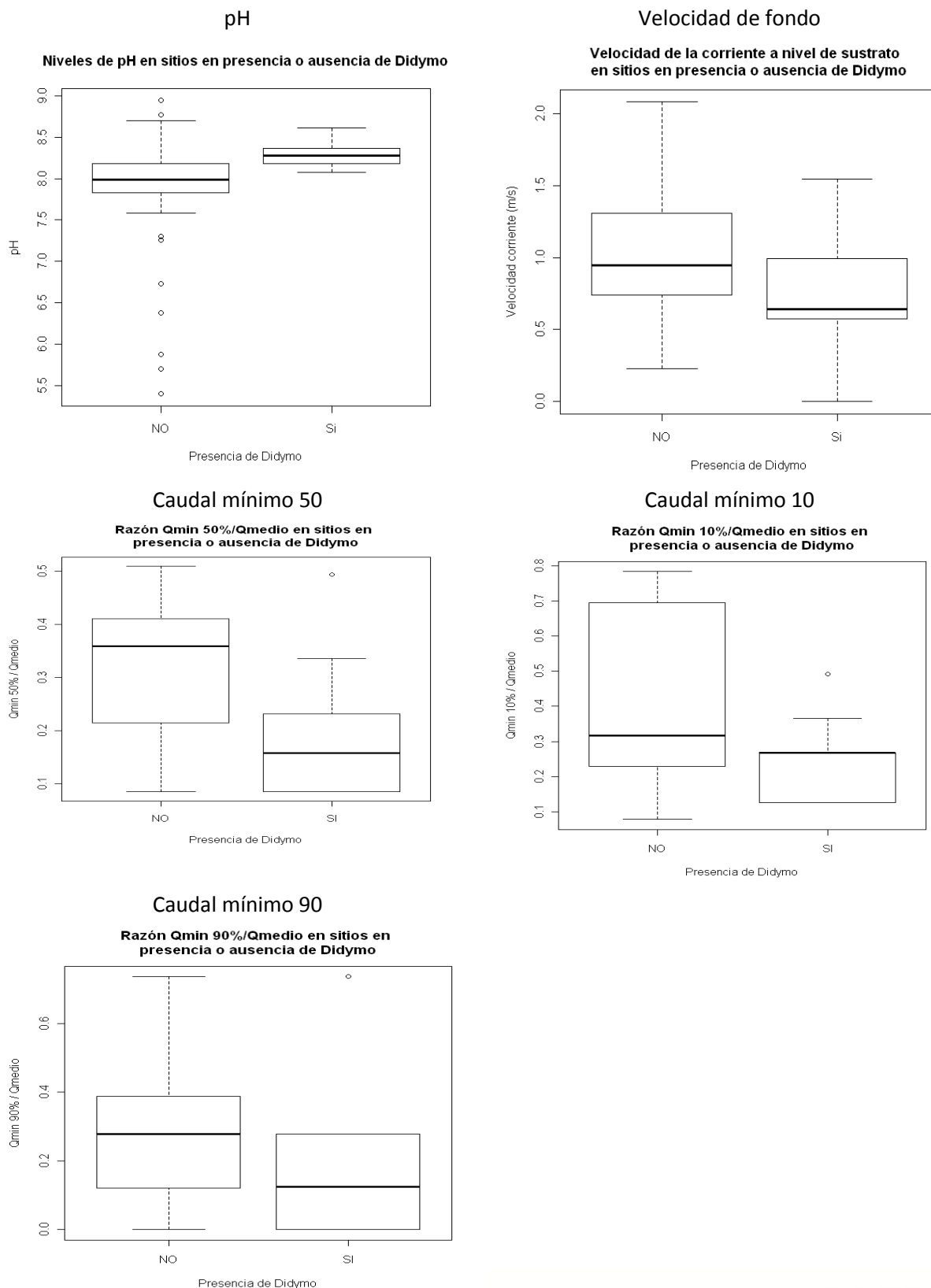
De la Tabla 4.3 se observa que las variables que presentan diferencias entre presencia y ausencia de Didymo con significancia estadística son: pH, velocidad de fondo, caudal mínimo 50, caudal mínimo 90 y caudal mínimo 10. Estas variables son principalmente físicas y actúan a diferentes escalas, por ejemplo, pH y régimen hidrológico actúan a mesoescala y velocidad de fondo a microescala. En la figura 4.1 se muestra los boxplot asociado a las variables que presentan diferencias significativas.

**Tabla 4.3.** Resultados de los ANOVA con permutación para cada una de las variables considerada en el análisis.

Variable	F value	p-anova	p-permutación
Variables <i>in situ</i>			
Temperatura	0.19	0.66	0.68
Saturación de oxígeno	0.12	0.73	0.73
Oxígeno Disuelto	0.48	0.49	0.15
pH	5.56	0.02	<b>0.02*</b>
Conductividad eléctrica	1.90	0.17	0.16
Velocidad media	3.69	0.06	0.05
Velocidad de fondo	5.66	0.02	<b>0.01*</b>
Variables de laboratorio			
Calcio	1.18	0.28	0.30
Fosfato inorgánico	0.09	0.77	0.78
Fósforo total	0.48	0.49	0.48
Fósforo inorgánico	0.11	0.74	0.75
Fósforo orgánico	0.95	0.34	0.36
Fosfato orgánico	0.95	0.34	0.34
Hierro total	0.18	0.67	0.67
Nitrato	0.01	0.94	0.85
Sílice total	0.04	0.84	0.80
Variables sintéticas			
Distancia a camino	0.98	0.32	0.32
Distancia a frontera	0.38	0.54	0.55
Total turistas	0.53	0.47	0.47
Caudal mínimo 50	15.11	0.00	<b>0.00*</b>
Caudal máximo 50	0.41	0.52	0.51
Caudal mínimo 90	4.54	0.04	<b>0.03*</b>
Caudal máximo 90	0.01	0.92	0.91
Caudal mínimo 10	6.67	0.01	<b>0.01*</b>
Caudal máximo 10	0.75	0.39	0.40

(\*) Variables con significancia estadística.

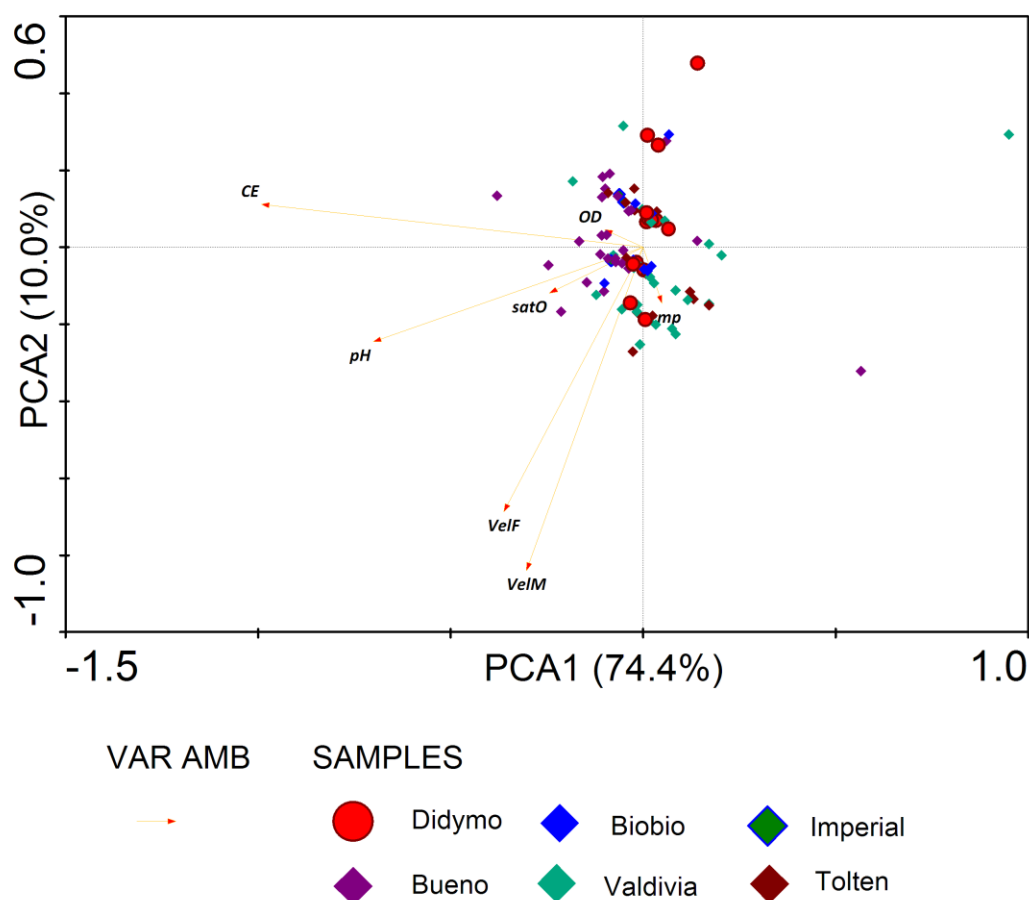
**Figura 4.1.** Boxplot de las variables que presentan diferencias significativas ante la ausencia y presencia de *Didymosphenia geminata* en ríos de la región de La Araucanía y de Los Ríos.



### Análisis de Componentes Principales (PCA)

Un primer análisis se realizó considerando las variables medidas *in situ*, es decir, temperatura, saturación de oxígeno. El resultado de este PCA se observa en la figura 4.2.

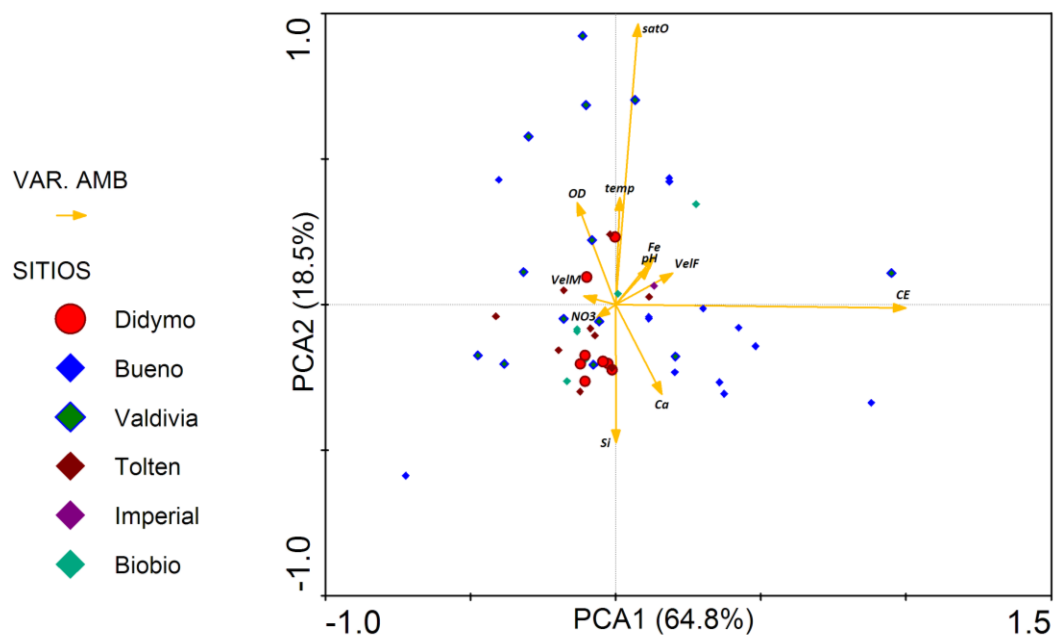
**Figura 4.2.** Diagrama bidimensional del Análisis de Componentes Principales (PCA) para las variables *in situ*.



De esta figura se observa que el PCA presenta una alta varianza explicada (84.4%), de la cual la mayor cantidad es explicada por la conductividad eléctrica y pH. En menor medida las variables velocidad de fondo (Velf) y velocidad media (VelM). A pesar de esto, estas dos últimas variables son las que mejor logran explicar la presencia o ausencia de Didymo. Esto se deduce ya que los puntos de muestreo en donde se evidenció la presencia de Didymo (puntos rojos) se alinean sobre el eje PCA2, al igual que las dos variables asociadas a la velocidad.

Un segundo PCA se realizó considerando las variables *in situ* y algunas variables químicas medidas en laboratorio (Figura 4.3).

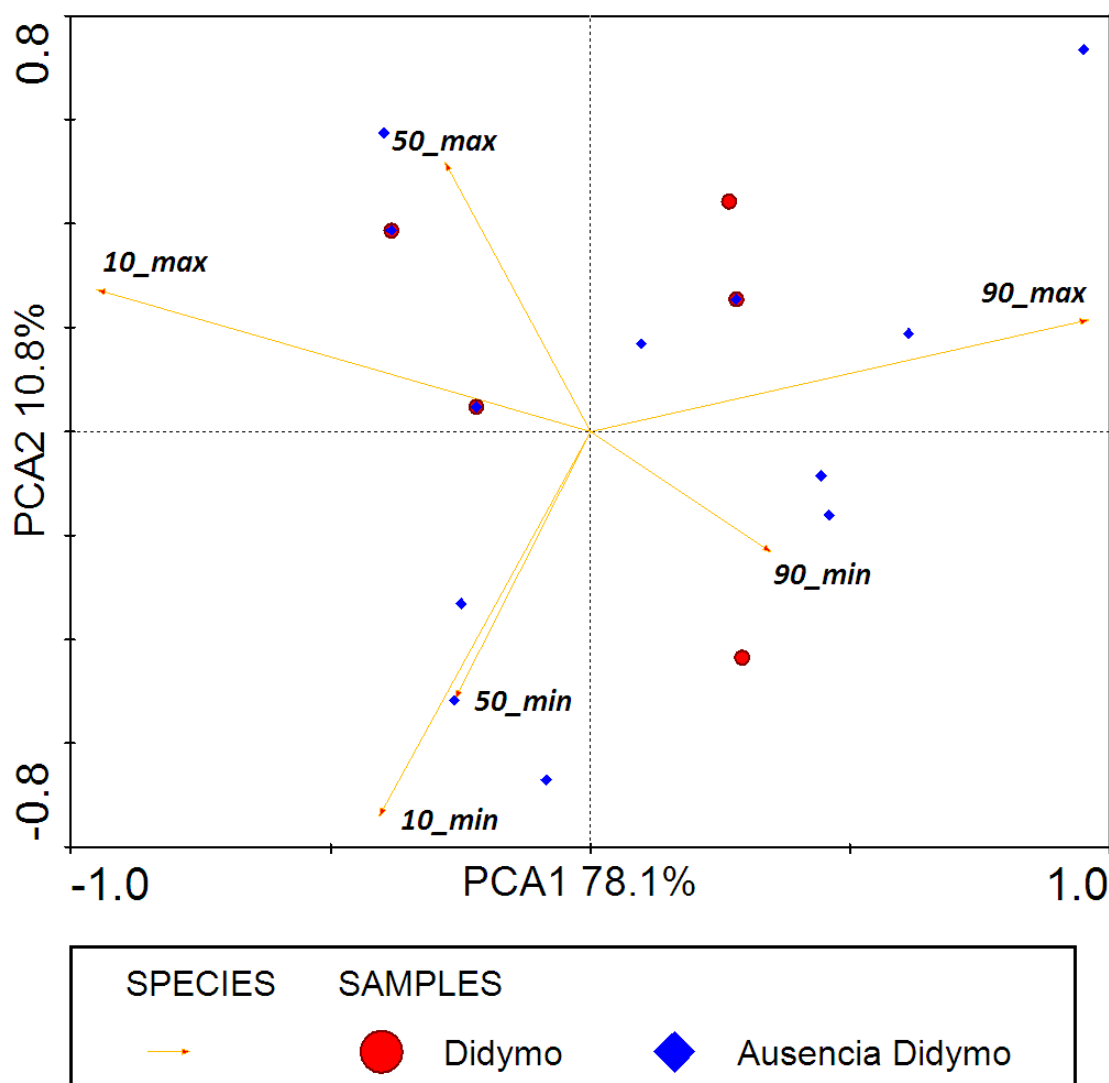
**Figura 4.3.** Diagrama bidimensional del Análisis de Componentes Principales (PCA) para las variables químicas medidas en laboratorio.



De esta figura se aprecia que la varianza explicada por el PCA biplot es alta (83.3%), resultado similar al análisis anterior. En este caso sigue siendo la Conductividad eléctrica (CE) la variable con una mayor varianza explicada, pero al parecer son las variables Sílice y Calcio las que mejor explicarían la ausencia o presencia de Didymo, ya que se orientan sobre el mismo eje que se orientan los puntos de muestreo de Didymo (PCA2).

Un tercer PCA se realizó considerando exclusivamente a las variables asociadas a variaciones del régimen hidrológico (Figura 4.4).

**Figura 4.4.** Diagrama bidimensional del Análisis de Componentes Principales (PCA) para las variables asociadas al régimen hidrológico.



De esta figura se observa que la varianza explicada es alta (88.1%) y que las variables con una mayor proyección sobre el PCA1 son las variaciones extremas del caudal máximo (10\_max y 90\_max), con lo cual, al parecer son estas variables las que logran explicar mejor el sistema.

Por otra parte, se observa que las variables asociadas a variaciones del caudal máximo están ubicadas en los dos cuadrantes superiores (cuadrantes I y IV), mientras las variables asociadas a variaciones del caudal mínimo se ubican en los cuadrantes inferiores (II y III). La mayor presencia de puntos con presencia de Didymo se ubican en los cuadrantes I y IV, es decir en asociación con las variables asociadas a variaciones de mayor caudal (10\_max, 90\_max y 50\_max), lo cual induce a deducir que estas variables son las que explican en mayor medida la presencia de Didymo. Análogamente, las ausencias de Didymo se distribuyen en los cuadrantes II y III, con lo cual, pareciera que la ausencia de Didymo es explicada por las variables asociadas a variaciones del caudal mínimo.

Se observa que las variaciones máximas de caudal explican una gran varianza del sistema y en particular parecieran que están asociadas a la presencia de Didymo, mientras las variables asociadas a variaciones

mínimas están asociadas a la ausencia de Didymo, aunque con menor varianza explicada. Sin embargo, estas últimas muestran diferencias significativas en los resultados ANOVA. Por lo tanto, al parecer las variables asociadas con el régimen hidrológico juegan un rol importante en la discriminación de la ausencia o presencia de la Didymo.

### **Análisis discriminante**

Se realizaron dos Análisis Lineales Discriminantes (LDA) para intentar ver cuáles son las variables que tienen un mayor poder de discriminación sobre las condiciones en las cuales Didymo está presente y/o ausente.

El primero de los LDA se realizó considerando variables *in situ*, variables asociadas al sustrato del lecho del río y las variables asociadas al régimen hidrológico. Las variables asociadas al sustrato fueron determinadas de acuerdo a inspección visual en el punto de muestreo y asignando predominancia de sustrato. Las categorías utilizadas fueron: Sustrato predominantemente de Bloques (sustraBloq), Sustrato compuesto principalmente por Bloques y Bolos (sustraBloqBolo), Sustrato compuesto por Bolones y Arenas (sustraBoloAren), Sustrato compuesto por Bolones y Limo (sustraBoloLimo), Sustrato compuesto por Limo (sustraLimo) y sustrato que presenta una proporción balanceada de sus componentes (sustraMe). Otro grupo de variables asociados al sustrato es la litología del sector. Las categorías utilizadas fueron: Rocas cercanas a Lagos (tipo\_roclago), Rocas sedimentarias Mixtas (tipo\_rocR\_mix), Rocas Metamórficas y Sedimentarias (tipoR\_MyS), Rocas Plutónicas e Hipabisales (tipo\_rocR\_plu) y Rocas Volcánicas (tipo\_rocR\_vol).

Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 4.4, en donde se detalla la representación de cada parámetro en el LDA.

**Tabla 4.4.** Representación de cada parámetro en el Análisis Discriminante Lineal (LDA).

Variable	Representación	Variable	Representación	Variable	Representación
tipo_roclago	-0.74	sustraBoloAren	-1.03	CE	0.00
tipo_rocR_mix	0.03	sustraBoloLimo	-0.12	Vel_m	0.23
tipo_rocR_MyS	-0.08	sustraLimo	4.34	Vel_f	-0.95
tipo_rocR_plu	-0.87	sustraMe	1.03	50_min	-7.07
tipo_rocR_vol	-2.32	Temp	-0.10	50_max	-2.67
sustraBloq	0.11	O.	-0.01	90_max	-0.51
sustraBloqBolo	0.04	OD	0.00	90_min	-1.08
sustraBolo	-0.50	pH	0.88	10_max	-0.09
				10: max	-2.03

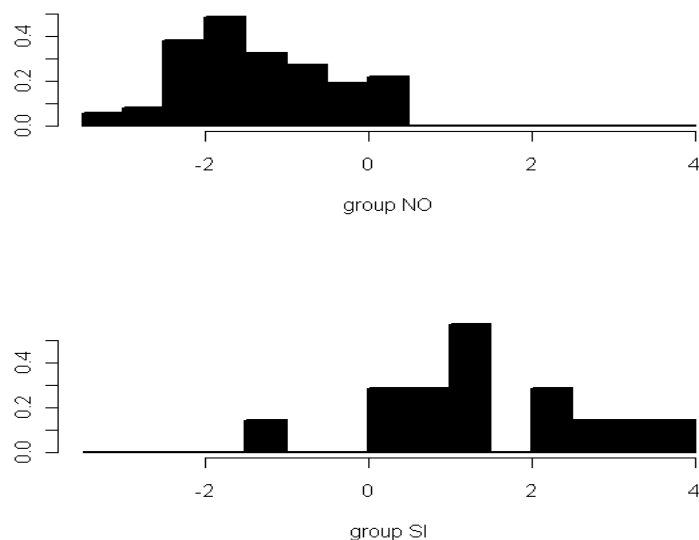
De esta tabla se observa que las variables con un mayor poder de discriminación sobre la presencia de Didymo son Caudal mínimo 50 (50\_min), Caudal máximo 50 (50\_max), Caudal máximo 10 (10\_max) y Rocas Volcánicas (tipo\_rocR\_vol), mientras que la variable con mayor poder de discriminación sobre la ausencia de Didymo es el Sustrato Limo (sustraLimo)

La representación gráfica del LDA se muestra en la figura 4.5. En esta figura se muestran las frecuencias de las variables sobre la ausencia (Group NO) o presencia (Group SI) de Didymo. Cabe hacer notar que como la variable discriminada es dicotómica (ausencia o presencia) basta con una representación en una



dimensión. De esta figura se observa una clara diferenciación entre las frecuencias de las variables asociadas a las presencia y a la ausencia de Didymo.

**Figura 4.5.** Representación gráfica de la frecuencia de las variables consideradas en el primer LDA.



La matriz de confusión asociada a este LDA se muestra en la Tabla 4.5. En ella se aprecia que el modelo presenta un alto poder de discriminación, puesto que tiene un alto porcentaje de acierto entre los “SI” modelado y los observados, al igual que los “NO”, destacando el alto poder de discriminación entre los NO observado y predichos.

**Tabla 4.5.** Matriz de confusión asociada al LDA realizado.

Predicción	Presencia de Didymo	
	SI	NO
SI	10	0
NO	3	74

El segundo LDA se realizó entre los grupos de las variables antrópicas, químicas *in situ*, químicas de laboratorio, sustrato y geología, y finalmente las variables asociadas al régimen hidrológico.

Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 4.6, en donde se detalla la representación de cada parámetro en el LDA.

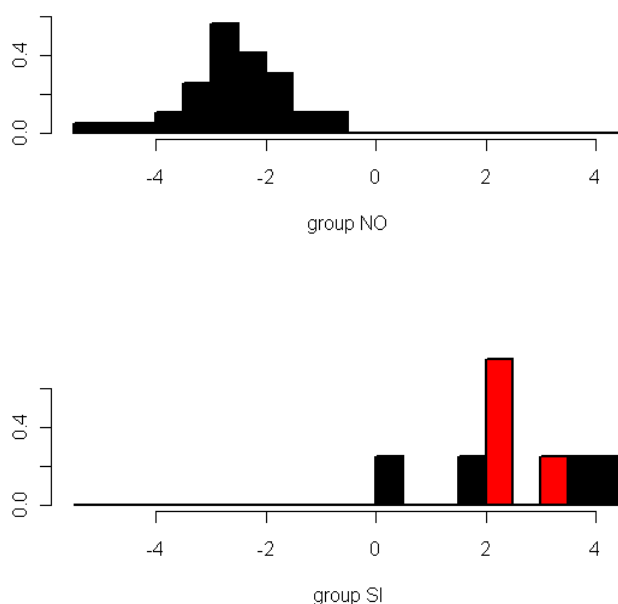
**Tabla 4.6.** Representación de cada parámetro en el Análisis Discriminante Lineal (LDA).

Variable	Representación	Variable	Representación	Variable	Representación
carr_dist	0.00	sustraBoloLimo	-5.06	P	23.16
dist_frente	0.00	sustraMe	-0.34	Fe	2.50
tipo_rocLago	-1.39	O.	0.06	Si	0.06
tipo_rocR_mix	1.32	OD	-0.03	50_min	-3.05
tipo_rocR_MyS	-2.56	pH	0.89	50_max	0.86
tipo_rocR_plu	1.81	Vel_m	2.03	90_max	-3.49
tipo_rocR_vol	-0.45	Vel_f	-3.56	90_min	-4.91
sustraBloqBolo	-3.39	CE	0.02	10_max	-2.55
sustraBolo	-4.59	Ca	0.03	50_min	-6.80
sustraBoloAren	-2.65	PO4	-14.98		

De esta tabla se observa que las variables con un mayor poder de discriminación sobre la presencia de Didymo son el fosfato (PO4), Caudal mínimo 50 (50\_min), Caudal mínimo 90 (90\_min), Sustrato de Bolones y Limos (sustraBoloLimo), el Sustrato tipo Bolón (sustraBolo), Caudal máximo 90 (90\_max) y la velocidad de fondo (Vel\_f). Análogamente, las variables que discriminan la ausencia de Didymo son el fósforo (P) y el Hierro (Fe).

La representación gráfica del LDA se muestra en la figura 4.6. En esta figura se muestran las frecuencias de las variables sobre la ausencia (Group NO) o presencia (Group SI) de Didymo.

**Figura 4.6.** Representación gráfica de la frecuencia de las variables consideradas en el primer LDA.



La matriz de confusión asociada a este LDA se muestra en la Tabla 4.7. En ella se aprecia que el modelo presenta un alto poder de discriminación, puesto que tiene un alto porcentaje de acierto entre los “SI” modelado y los observados, al igual que los “NO”, destacando el alto poder de discriminación entre los NO observado y predichos.

**Tabla 4.7.** Matriz de confusión asociada al LDA realizado.

Predicción	Presencia de Didymo	
	SI	NO
SI	7	0
NO	1	47

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Existe una notoria influencia de las variables orientadas a procesos físicos en la discriminación de ausencia y presencia de Didymo. En primer lugar se observa que las variables físicas como velocidad de fondo, pH y las variables asociadas al régimen hidrológico presentan diferencias significativas bajo presencia o ausencia de Didymo.

Así mismo, se observa que variables como la conductividad eléctrica presentan un alto porcentaje de la varianza explicada (PCA), sin embargo son las velocidades de fondo y media en la columna los que mejor explican el sistema. En las variables hidrológicas, se apreció un claro poder de discriminación en la ausencia y presencia de Didymo.

Existen variables químicas que también presentan poder de discriminación importantes, destacando el PO<sub>4</sub> para presencia de Didymo y P para ausencia. Así mismo, el Ca y Si mostraron varianzas importantes en explicar el sistema (PCA). El resto de las variables no presenta diferencias significativas. Es notoria la ausencia de variables químicas que sean capaces de discriminar la presencia de Didymo. Si bien este hecho es contradictorio con mucha información científica, no es de extrañar que a la luz de estos datos no se pueda llegar a resultados más concluyentes, debido a los límites de detección de las metodologías aplicadas en el país para determinar la concentración de los compuestos. Otro resultado interesante fue la poca capacidad de discriminación o de varianza explicada de las variables antrópicas. Bajo este análisis sería conveniente incluir otro tipo de variables asociados a otras actividades antrópicas como si es lugar de recreación, pesca deportiva, etc.

Si bien, estos resultados entregan importantes avances en determinar las variables que tiene una mayor influencia y/o discriminación en la presencia y/o ausencia de Didymo, no hay que dejar de mencionar que la propagación de Didymo está en avance y no se ha logrado un estado “estacionario” o avanzado de propagación, es decir, se encuentra en un estado inmaduro, por lo que podrían haber nuevos ríos o nuevos rangos fisicoquímicos que podrían ser invadidos por Didymo y que no han sido capturado en los muestreos realizados.

A pesar de este estado inmaduro de avance de la Didymo, estos análisis dan un primer apronte de las variables con una mayor influencia o poder de discriminación. Bajo este concepto, las variables físicas, tanto aquellas relacionadas con el sustrato, con el régimen hidrológico y las velocidades de escurrimiento (velocidad media de la columna de agua y fondo del lecho) han manifestado en uno u otro análisis la influencia sobre la presencia o ausencia de Didymo, con lo cual se recomienda el incluir estas variables (u otras similares) en futuros estudios relacionadas con la distribución o abundancia de *Didymosphenia geminata*.