

CONTENIDO:

<i>LISTADO DE TABLAS</i>	IV
<i>LISTADO DE FIGURAS</i>	V
<i>LISTADO DE ANEXOS</i>	IX
CAPÍTULO 1:	1
1 INTRODUCCIÓN	1
<i>REFERENCIAS</i>	6
CAPÍTULO 2:	9
2 ESTADO DEL ARTE	9
2.1. <i>Las comunidades de macroinvertebrados: procesos y escalas que las controlan</i>	14
2.1.1. <i>Procesos a macroescala</i>	15
2.1.2. <i>Procesos a escala intermedia o mesoescala</i>	18
2.1.3. <i>Procesos a microescala</i>	23
2.2. <i>Los rasgos biológicos y su relación con la ecohidrología:</i>	28
2.3. <i>REFERENCIAS</i>	31
CAPÍTULO 3:	39
3 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LAS COMUNIDADES DE MACRO-INVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN ARROYOS PRÍSTINOS DE LOS ANDES DEL SUR DE ECUADOR SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL PREDOMINANTE	39
3.1. <i>RESUMEN</i>	41
3.2. <i>INTRODUCCIÓN</i>	43
3.3. <i>Materiales y métodos</i>	46
3.3.1. <i>Área de estudio</i>	46
3.3.2. <i>Métodos</i>	49
3.3.2.1. <i>Medición de las variables ambientales</i>	49
3.3.2.2. <i>Muestreo biótico</i>	50
3.3.3. <i>Análisis estadístico</i>	51
3.4. <i>RESULTADOS</i>	54
3.5.1. <i>Características generales de las estaciones de muestreo</i>	54
3.5.2. <i>Relación entre la cobertura vegetal y las características ambientales</i> ..	58
3.5.3. <i>Relación entre la cobertura vegetal y las comunidades acuáticas</i>	59
3.5.4. <i>Relación cobertura vegetal con la estructura de los grupos tróficos</i>	67
3.6. <i>DISCUSIÓN</i>	68

3.7.1.	<i>Relación de la cobertura dominante con las características ambientales .</i>	69
3.7.2.	<i>Relación de la cobertura dominante con las comunidades acuáticas</i>	70
3.8.	CONCLUSIONES.....	72
3.9.	REFERENCIAS	74
CAPÍTULO 4:.....		81
4 FACTORES DE RIBERA Y MICROHÁBITAT DETERMINANTES EN LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE EPT EN ARROYOS ALTOANDINOS DE CABECERA AL SUR DE ECUADOR.		81
4.1.	RESUMEN.....	83
4.2.	INTRODUCCIÓN.....	84
4.3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	87
4.3.1.	<i>Área de estudio</i>	87
4.3.2.	<i>Recolección de la información</i>	89
4.3.2.1.	<i>Muestreo de variables bióticas.....</i>	89
4.3.2.2.	<i>Muestreo de variables abióticas.....</i>	90
4.3.3.	<i>Pre-tratamiento de datos</i>	93
4.3.4.	<i>Análisis estadístico</i>	96
4.4.	RESULTADOS.....	98
4.5.	DISCUSIÓN	106
4.5.1.	<i>Relevancia de la vegetación de ribera.....</i>	107
4.5.2.	<i>Relevancia de la hidromorfología</i>	109
4.5.3.	<i>Relevancia de la calidad del agua.....</i>	111
4.6.	CONCLUSIONES.....	113
4.7.	REFERENCIAS	114
CAPÍTULO 5:.....		123
5 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN HIDROLÓGICA EN LA DINÁMICA DE LAS COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS A ESCALA DE MESOHÁBITAT EN ARROYOS ANDINOS AL SUR DE ECUADOR.....		123
5.1.	RESUMEN.....	125
5.2.	INTRODUCCIÓN.....	126
5.3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	128
5.3.1.	<i>Área de estudio</i>	128
5.3.2.	<i>Método de muestreo</i>	131
5.3.2.1.	<i>Datos abióticos.....</i>	131
5.3.2.2.	<i>Datos bióticos.....</i>	132
5.3.3.	<i>Tratamiento de datos hidrológicos y biológicos.....</i>	132

5.3.4.	<i>Análisis estadístico</i>	136
5.4.	RESULTADOS	138
5.4.1.	<i>Variables hidrológicas críticas</i>	139
5.4.2.	<i>Efecto de los eventos hidrológicos</i>	143
5.5.	DISCUSIÓN	149
5.5.1.	<i>Variables hidrológicas esenciales</i>	150
5.5.2.	<i>Efecto de los eventos hidrológicos</i>	153
5.6.	CONCLUSIONES	157
5.7.	REFERENCIAS	159
CAPÍTULO 6:		167
6 RESPUESTAS PROGRESIVAS DE LOS PRINCIPALES MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS A LOS CAUDALES BAJOS EN ARROYOS ALTOANDINOS DE CABECERA AL SUR DE ECUADOR		167
6.1.	RESUMEN	169
6.2.	INTRODUCCIÓN	170
6.3.	MATERIALES Y MÉTODOS	172
6.3.1.	<i>Área de estudio</i>	172
6.3.2.	<i>Métodos</i>	174
6.3.2.1.	<i>Muestreo biótico</i>	174
6.3.2.2.	<i>Muestreo abiótico</i>	175
6.3.3.	<i>Análisis hidrológico</i>	175
6.3.4.	<i>Análisis estadístico</i>	177
6.4.	RESULTADOS	179
6.5.	DISCUSIÓN	188
6.6.	CONCLUSIONES	193
6.7.	REFERENCIAS	193
CAPÍTULO 7:		201
7 DISCUSIÓN GENERAL		201
7.1.	DISCUSIÓN	203
7.2.	REFERENCIAS	207
CAPÍTULO 8:		213
8 CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN		213
8.1.	CONCLUSIONES	215
8.2.	LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	217
8.3.	REFERENCIAS	218
ANEXOS		221

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1. Variables ecohidráulicas relacionadas con la biota acuática.....	24
Tabla 3.1. Valores promedio (para N = 5) y error estándar (\pm ES) de las variables ambientales observadas en las 10 estaciones de monitoreo ubicadas en las microcuencas de los ríos Zhurucay and Pallcayacu (Ecuador) en función de las coberturas pajonal (TG), bosque de Quinua (QF) y bosque montano alto (HMF).	56
Tabla 3.2. Macroinvertebrados encontrados en las 10 estaciones de muestreo ubicadas en las microcuencas de los ríos Zhurucay y Pallcayacu (Ecuador).....	59
Tabla 3.3. Resultados del análisis de Redundancia (RDA) en relación a la selección de variables que explican en cierta medida la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en función de la cobertura vegetal estudiada.	66
Tabla 4.1. Valores promedios (\bar{X}) y desviación estándar (\pm SD) de las variables abióticas de los cuatro tramos de estudio (TG1, TG2, QF1, QF2, donde TG representa tussock grass y QF a Quinua forest) en la microcuenca alta del río Zhurucay. Los acrónimos de las variables se indican entre corchetes []. ^a Variable no incluida en el análisis. ^b Las seis categorías de sustrato analizadas se resume en tres grupos. Environmental factors (Fac-Amb. indicate the 3 groups of factors considered; e.g., riparian corridor and large-scale variables (1), hydromorphological variables (2), and physico-chemical variables (3).	91
Tabla 4.2. Valores promedios (\bar{X}) y error estándar (\pm SD) de las abundancias absolutas de los taxones encontrados en cuatro tramos (TG1, TG2, QF1, y QF2, donde TG representa al pajona and QF representa al bosque de Quinua) en la microcuenca alta del Zhurucay. N = número de muestras en todo el estudio.	100
Tabla 5.1 Descripción de los índices hidrológicos calculados sobre caudales diarios medios. N _i se refiere al número total de índices hidrológicos obtenidos (de 1 a 6) en función del número de días (n) utilizados en el cálculo.	134
Tabla 5.2. Coeficientes beta del análisis de regresión múltiple de las variables hidrológicas relevantes sobre (a) métricas de la comunidad y (b) los tres taxones más abundantes de macroinvertebrados en cada mesohábitat. La magnitud del valor indica su importancia en la ecuación de la regresión. El tamaño muestral fue, N = 141 en el mesohábitat poza (^{Po}), N = 144 en el mesohábitat tabla (^{Ta}) y N = 76 en el mesohábitat corriente (^{Co}). Se listan las métricas y los taxones con $p \leq 0.05$	142
Tabla 5.3. Efectos de los caudales pico, mayores (LPF) y menores (SPF), sobre las métricas de la comunidad y los taxones, según el tipo de mesohábitat, de acuerdo a la prueba estadística PERMANOVA. Se listan los valores del promedio (\bar{X}), desviación estándar (SD), estadístico (F) de las métricas y los	

	taxones con $p \leq 0.05$, así como, los valores estimados del número de Froude (Fr) y la tensión cortante (SS) para cada mesohábitat y evento.....	147
Tabla 5.4.	Efectos de la duración (N, en días) de los caudales bajos (menores al percentil 25 %) sobre las métricas de la comunidad y los taxones, según el tipo de mesohábitat, de acuerdo a la prueba estadística PERMANOVA. Se listan los valores promedio de cambio en porcentaje (\bar{x}), desviación estándar (SD), estadístico (F) de las métricas y en el caso de los taxones las diferencias de las abundancias relativas entre dos campañas, solo cuando el test tiene significación $p \leq 0.05$	149
Tabla 6.1.	Listado de 14 índices hidrológicos calculados a partir de datos horarios de caudal y de la temperatura para cada campaña de muestreo.....	177
Tabla 6.2.	Resultados del análisis de similaridad (ANOSIM) entre las comunidades (disimilaridad de Bray-Curtis) por grupos de hábitats.....	182
Tabla 6.3.	Coefficiente de correlación de Spearman entre las variable hidrológicas.....	184

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1.	Mapa conceptual del funcionamiento de una cuenca hidrográfica y principales procesos que controlan a las comunidades biológicas. Los rectángulos representan los principales procesos en análisis y las líneas las interrelaciones generadas entre ellos.....	12
Figura 2.2.	Distribución y abundancia de las especies reflejado en los rasgos que pueden sobrepasar los filtros del hábitat (abióticos y bióticos) (representados en líneas verticales) en la jerarquía de dicho paisaje (óvalos) (Poff 1997).....	13
Figura 2.3.	Clasificación funcional de ríos en base a la escala tomado de Cortés et al. (2011): a) Hojarasca y detritos, b) piedras cubiertas con arena, c) musgo sobre rocas, d) depósito de arena y, e) barrera de rocas	14
Figura 2.4.	Hidrograma esquemático que describe la variación dentro, y sus interacciones entre los atributos ecológicamente importantes en flujos bajos y el conjunto de secuencias en eventos de flujo bajo dentro de un régimen de caudales. A) Antecedente hidrológico en un sistema con duraciones corta de eventos de caudal bajo intercaladas con frecuencia de eventos de flujo alto. B) Antecedente hidrológico en sistema con períodos largos de caudal bajo e inundaciones poco frecuentes. C1) Representación esquemática de la duración, magnitud y frecuencia de períodos con caudal bajo. C2) Representación esquemática de la estacionalidad y distribución de los períodos de caudal bajo y las tasas de cambio en el hidrograma.....	22
Figura 2.5.	Modelo teórico de α y β diversidad generados en redes de dos cuencas con un conjunto de especies regionales (γ diversidad) de 14 especies (A-N) con	

	diferentes capacidades de dispersión altitudinal y longitudinal, separadas por un rango de montañas.	28
Figura 3.1.	Ubicación de las microcuencas de estudio (a) Pallcayacu (cuenca del río Paute); y (b) Zhurucay (cuenca del río Jubones). Y la ubicación de las cuencas de los ríos Paute y Jubones en el contexto continental Ecuatoriano. HMF = bosque montano alto; TG = pajonal; QF = bosque de Quinua. Sistema de coordenadas: UTM PSAD 1956, Zona 17S.	47
Figura 3.2.	Análisis de componentes principales (PCA) de las variables ambientales en función del tipo de cobertura vegetal en las microcuencas de los ríos Zhurucay y Pallcayacu. La longitud y el ángulo de los vectores muestran el grado de correlación entre la variable ambiental y los ejes del PCA. Temp = temperatura; TDS = sólidos disueltos totales; AFDM = cantidad de materia orgánica; ORP = potencial de óxido-reducción; O ₂ = oxígeno disuelto; IHF = índice del hábitat fluvial; QBR = índice de la calidad de la ribera.....	58
Figura 3.3.	Diagramas de caja con muesca de la mediana de (a) la riqueza total; (b) el índice de diversidad de Shannon-Winner; y la abundancia relativa de (c) plecoptera; y (d) no-insecta. TG = pajonal (N = 20), QF = bosque de Quinua (N = 15), HMF = bosque altoandino (N = 15).	61
Figura 3.4.	Diagramas de caja con muesca de la mediana de (a) la riqueza total; (b) el índice de diversidad de Shannon-Winner; y la abundancia relativa de (c) el taxón dominante; (d) plecoptera; (e) díptera; y (f) no-insecta. TG = pajona (N = 20), QF = bosque de Quinua (N = 15), HMF = bosque altoandino (N = 15).	63
Figura 3.5.	Resultados del análisis de redundancia (RDA), incluyendo, (a) la distribución espacial de las muestras dada por la composición de la comunidad en función de la cobertura vegetal: pajonal (TG), bosque de Quinua (QF) y bosque altoandino (HMF), y (b) las variables ambientales más influyentes (flechas en rojo), así como, los 16 taxones principales (flechas en color azul): materia orgánica (AFDM), nitritos nitratos (Nitri/Ni), <i>Allaudomyia</i> (Allaudom), <i>Anacroneuria</i> (Anacrone), <i>Anchytarsus</i> (Anchytar), <i>Austrolimnius</i> (Austrolm), Chironominae (Chironom), Helobdella (Helobdel), Heterelmis (Heterelm), Hydracarina (Hydracar), <i>Leptohyphes</i> (Leptohyp), Limneidae (Limneida), <i>Mortionella</i> (Mortionl), <i>Oxythira</i> (Oxythir), <i>Phylloecus</i> (Phylloec), <i>Simulium</i> (Simuliiu), <i>Smicridea</i> (Smicride), Sphaeriidae (Sphaerii), Tanypodinae (Tanypodn).	65
Figura 3.6.	Diagrama de cajas con muesca de la mediana de las abundancias relativas de raspadores (a), perforadores (b), predadores (c), y parásitos (d). TG = pajona (N = 20), QF = bosque de Quinua (N = 15), HMF = bosque altoandino (N = 15).	68
Figura 4.1.	Ubicación de la (a) cuenca del río Jubones en el Ecuador, (b) la microcuenca del río Zhurucay en la cuenca del Jubones y (c) los tramos de muestreo en la	

	microcuenca alta del río Zhurucay. La vegetación es indicada como pajonal (TG) y bosque de Quinoa (QF). En rectángulos las ciudades principales y en triángulo el área de estudio.	88
Figura 4.2.	Hidrogramas por unidad de área de los cuatro sitios de estudio ubicados en la microcuenca del río Zhurucay. Tussock grass (TG) y Quinoa forest (QF). Los círculos en negro indican las campañas escogidas para el análisis, y los rombos en blanco las campañas descartadas. Entre corchetes se indica el área de cada microcuenca.	95
Figura 4.3.	Análisis Parcial Canonico (pCCA) de los ocho taxones más representativos (a)(c)(e) usando como variables explicativas del (a)(b) gradiente corredor ribereño (grupo 1), (c)(d) hidromorfológicos (grupo 2) y de calidad de agua (grupo 3). Las variables significativas se resaltan con letra negrilla; otras variables fueron automáticamente graficadas para mejorar su visualización. La distribución espacial de las muestras se encuentran (b)(d)(f). TG: pajonal, QF: bosque de Quinoa, Time: campaña de muestreo, AFDM: Materia orgánica del fondo del río. Número de Froude (Fr), Rugosidad relative (kv), relación ancho /profundidad (RWD), grava (Gra). Turbidez (Turb), Carbono Orgánico Total (TOC), fósforo total (TotalP).	102
Figura 4.4.	Variación particional de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca alta del río Zhurucay.	104
Figura 4.5.	Resultados del análisis de correlación canónica utilizando las métricas de la comunidad de acuerdo a las variables ambientales encontrados en la microcuenca alta de arroyos de Zhurucay. Vel_med: velocidad media, TOC: Carbono orgánico total, q: caudal por unidad de área, Shannon: Índice de diversidad de Shannon-Wiener.	105
Figura 5.1.	Ubicación de (a) la cuenca del río Jubones en Ecuador; (b) la zona de estudio en la subcuenca del río Zhurucay; y (c) los cuatro puntos de muestreo en la zona de estudio.	129
Figura 5.2.	Diagramas de caja de la precipitación media mensual, definida en el período Enero de 2007 a Diciembre de 2012, en la subcuenca del río Zhurucay. En blanco se encuentra identificado la época de seca y en gris la época lluviosa.	130
Figura 5.3.	Comparación del régimen hidrológico de los cuatro tramos estudiados y del caudal promedio (Q_{aver}) según (a) la distribución del caudal diario; y (b) las curvas de duración de caudales (escala logarítmica).	139
Figura 5.4.	(a) Hidrograma de Q_{aver} ; y (b), (c), (d) y (e) variación temporal de las métricas de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de acuerdo al tipo de mesohábitat. La línea horizontal entrecortada de color gris en (a) representa el umbral de movimiento del sustrato. La abundancia relativa de EPT (d) se calculó con respecto al total de la comunidad.	144

Figura 5.5. Hidrograma del promedio de los caudales de los cuatro arroyos estudiados. Las campañas de muestreo se identifican mediante rombos en color azul; los períodos de caudal pico ($LPF > Q_2$) con flechas y caudal bajo ($\leq Q_{75}$) con línea del caudal en color rojo sólido. Los eventos de caudal pico de interés se encuentran identificados como LPF 6, LPF7 y LPF 8.	145
Figura 5.6. Secciones transversales reales seleccionadas en los mesohábitats poza, tabla y corriente, se muestran los valores medios de elevación de la superficie del agua a diferentes caudales; caudales muy altos (LF), caudales altos, (SPF), caudales bajo, promedio general (M, del 2011 a 2013), número de Froude (Fr) y la tensión cortante (SS, $N\ m^{-2}$).	151
Figura 6.1. Hidrograma promedio por unidad de área de los cuatro sitios de estudio ubicados en la microcuenca del río Zhurucay; se identifica los dos períodos estables del caudal (2012 y 2013). Las flechas indican las campañas con períodos de caudal base o bajo. Además se presente los valores promedios diarios de la temperatura del agua, y a su vez el rango de datos diarios.	173
Figura 6.2. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables físicas de los hábitats de 19 secciones transversales agrupados en función de sus similitudes. Los óvalos en azul entrecortado y en gris muestran la distancia Euclidiana asociada a los grupos (clusters) resultantes del análisis.	180
Figura 6.3. Variación temporal del caudal y la temperatura media registrada en los últimos 15 días hasta la fecha de muestreo. El caudal se encuentra identificado con rombos en color gris para el 2012 y negro para el 2013. La temperatura se identifica con círculos en color sin relleno para el 2012 y en negro para el 2013. Curvas de ajuste logarítmicas se encuentran visualizadas para las dos variables.	181
Figura 6.4. Ordenación de los grupos de hábitat, obtenidos mediante escalamiento no métrico multidimensional (NMDS) de la composición de la comunidad según las características del hábitat (grupo).	183
Figura 6.5. Relaciones entre cuatro taxones y el índice de sequías, DWFI. Se muestra con línea discontinua el ajuste de los datos a una curva logarítmica o una recta.	186
Figura 6.6. Relaciones entre tres taxones y la variable temperatura media móvil de los últimos 15 días. Se muestra con línea discontinua el ajuste de los datos a una curva logarítmica o una recta.	187

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo A.** Rasgos biológicos identificados para las comunidades de macroinvertebrados bentónicos tomando de Tomanova et al. (2007)..... 223
- Anexo B.** Resumen de los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales. 225
- Anexo C.** K-W de las variables biológicas comparadas en tres ecosistemas de muestreo (pajonal -TG, bosque de Quinoa –QF, bosque montano alto –HMF). Cob. Veg. = cobertura vegetal. SE = Error estándar..... 226
- Anexo D.** K-W de las los hábitos alimenticios comparadas en tres ecosistemas de muestreo (pajonal -TG, bosque de Quinoa –QF, bosque montano alto –HMF). Cob. Veg. = cobertura vegetal. SE = Error estándar..... 227
- Anexo E.** Variables ambientales que tuvieron efectos significativos en la riqueza total de especies, densidad de individuos, diversidad de Shannon Wiener y en las densidades de los grupos Ephemeroptera y Trichoptera en tres ecosistemas muestreados, mediante una análisis de regresión múltiple. Se indica el valor r^2 ajustado del mejor modelo..... 228
- Anexo F.** Resultados de la variación temporal obtenidos en el análisis de correlación canónica utilizando las métricas de la comunidad de acuerdo a las variables ambientales. En letras a), b) c) y d) se identifica cuatro diferentes campañas de muestreo. Vel_med: velocidad media, Boul: bloque, Cobb: canto rodado, Pebb: guijarro, Gra: grava, Kv: rugosidad relativa, RWD: relación ancho / profundidad, Alkal: Alcalinidad, TOC: Carbono Orgánico Total, TDS: Solidos Totales Disueltos, Shannon: Índice de diversidad de Shannon - Wiener. 229
- Anexo G.** Resultados de la variación temporal obtenidos en el análisis de correlación canónica utilizando las métricas de la comunidad de acuerdo a las variables ambientales. En letras f), g) h) y i) se identifica cuatro diferentes campañas de muestreo. Vel_med: velocidad media, Boul: bloque, Cobb: canto rodado, Pebb: guijarro, Gra: grava, Kv: rugosidad relativa, RWD: relación ancho/profundidad, v-d: velocidad por calado, Alkal: alcalinidad, TOC: Carbono Orgánico Total, TDS: Sólidos Totales Disueltos, O2: oxígeno disuelto, Shannon: índice de diversidad de Shannon – Wiener. 230
- Anexo H.** Valores registrados de algunas características de las cuatro microcuencas de estudio. 231
- Anexo I.** Listado de especies por cada mesohábitat y tramo 232
- Anexo J.** Efecto de las variables hidrológicas en las métricas de la comunidad por cada mesohábitat. N = 141 en el mesohábitat poza, N = 144 en el mesohábitat tabla y N = 76 en el mesohábitat corriente. Se presenta las métricas con $p \leq 0.05$... 233
- Anexo K.** Efecto de las variables hidrológicas en los 10 taxones más abundantes analizados por cada mesohábitat. N = 141 en el mesohábitat poza, N = 144 en el

mesohábitat tabla y N = 76 en el mesohábitat corriente. Se presenta las métricas con $p \leq 0.05$. Se presentan los taxones con $p \leq 0.05$. En la tabla, el porcentaje de las abundancias relativas (% Abun. Rel.) fue calculado para cada tipo de mesohábitat.	235
Anexo L. Resumen de los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales.	237
Anexo M. Diferencias de la composición de la comunidad obtenidos con la prueba SIMPER.....	238