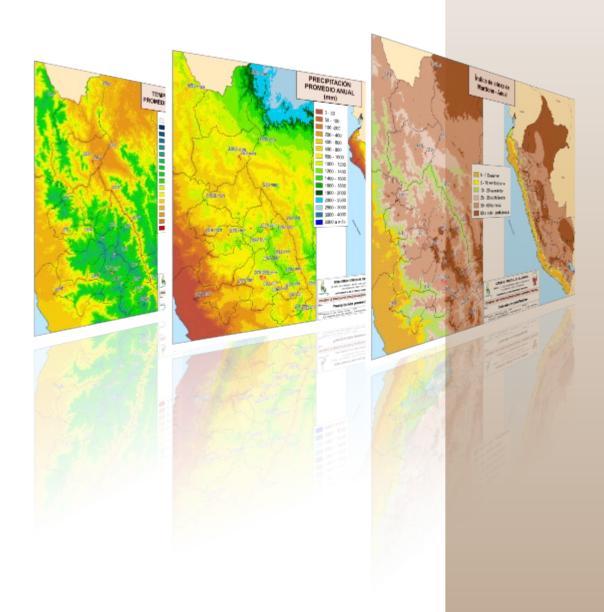
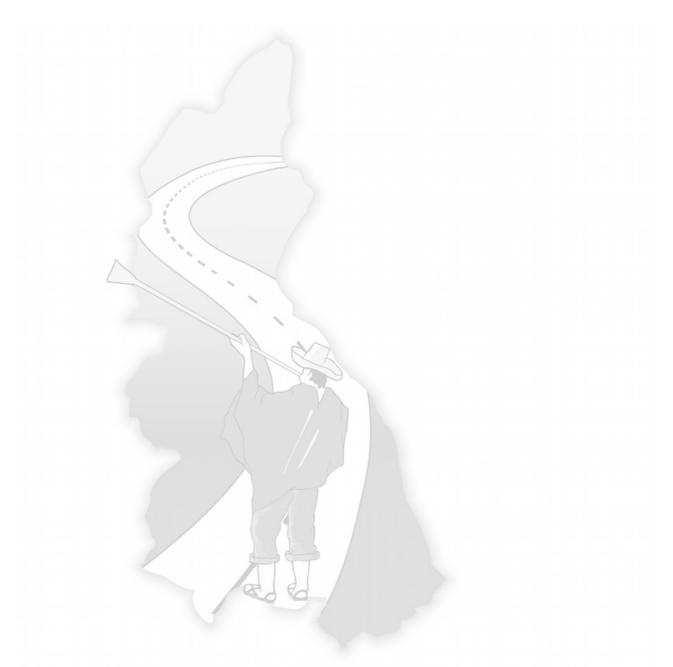


APROXIMACIÓN A LA DELIMITACIÓN DE CABECERAS DE CUENCA: CASO CUENCA DEL RÍO JEQUETEPEQUE





201 una Oran Región Carlos Alberto Cerdán Moreno

Especialista en Sistemas de Información Geográfica Sub Gerencia de Acondicionamiento Territorial

Efraín Arana Salinas Sub Gerente de Gestión del Medio Ambiente

Gobierno Regional Cajamarca

Índice de contenido

1.Cuencas hidrográficas	1
1.1 Cuenca	1
1.2 Sistema Pfafstetter para identificación de cuencas	3
1.3 Las grandes Unidades Hidrográficas de Cajamarca	4
1.4 Cabecera de cuenca	6
2.Índice de aridez en la caracterización climática	7
2.1 Acerca de WorldClim	7
2.2 Temperatura promedio	8
2.3 Precipitación promedio	8
2.4 Índice de aridez de De Martonne	13
3.Caracterización de la cuenca del río Jequetepeque	16
3.1 Subunidades Hidrográficas	16
3.2 Elevación del terreno	17
3.3 Índice de De Martonne	17
3.4 Muestreo de parámetros del Índice de De Martonne	19
3.5 Distribución de la precipitación en la cuenca	21
3.6 Subcuencas del río Jequetepeque	25
3.7 Unidad hidrográfica de interés hídrico en cabecera de cuenca	27
3.8 Cabecera de cuenca del río Jequetepeque	27
4.Conclusiones y recomendaciones	30
Anexo 01: Método de Pfafstetter para la codificación de Unidades Hidrográficas	31

CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS: APROXIMACIÓN PARA LA DELIMITACIÓN DE CABECERAS DE CUENCA

1. Cuencas hidrográficas

1.1 Cuenca

La definición más simple de cuenca es la de territorio en el cual toda precipitación que cae en él, eventualmente llega a drenar por un curso de agua común hacia otro curso de agua mayor, hacia el mar, hacia un lago o hacia un sumidero, conformando así una **unidad hidrográfica**.

Si se tiene en cuenta los flujos subterráneos, se puede dar el caso que una cuenca esté recibiendo no sólo el agua de precipitación pluvial directa, sino también el agua proveniente de una cuenca vecina, por lo cual se suele tomar como diferenciación los términos "cuenca hidrográfica" y "cuenca hidrológica", respectivamente.

El reglamento de Clasificación de Tierras vigente hasta el año 2009 denotaba la importancia de las cuencas al destinar las tierras de protección para la conservación de cuencas, indicando en su artículo 6:

Tierras de PROTECCION (X)

Están constituidas por aquellas que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivo, pastoreo o producción forestal. Se incluyen dentro de este grupo: picos, nevados, pantanos, playas, cauces de ríos y otras tierra, que aunque presenten vegetación natural boscosa, arbustiva o herbácea, su uso no es económico y deben ser manejadas con fines de protección de cuencas hidrográficas, vida silvestre, valores escénicos, científicos, recreativos y otros que impliquen beneficio o de interés social [DS 062/75-AG].

El año 2009 se actualizó el citado reglamento y este artículo en particular fue cambiado dejando de lado la referencia a la protección de cuencas hidrográficas y otros aspectos de beneficio o interés social, dándose preferencia a la importancia económica de estos espacios, tal como se aprecia en la siguiente cita:

Tierras de Protección (Símbolo X)

Están constituidas por tierras que no reúnen las condiciones edáficas, climáticas ni de relieve mínimas requeridas para la producción sostenible de cultivos en limpio, permanentes, pastos o producción forestal. En este sentido, las limitaciones o impedimentos tan severos de orden climático, edáfico y de relieve determinan que estas tierras sean declaradas de protección.

En este grupo se incluyen, los escenarios glaciáricos (nevados), formaciones líticas, tierras con cárcavas, zonas urbanas, zonas mineras, playas de litoral, centros arqueológicos, ruinas, cauces de ríos y quebradas, cuerpos de agua (lagunas) y otros no diferenciados, las que según su importancia económica pueden ser destinadas para producción minera, energética, fósiles, hidroenergía, vida silvestre, valores escénicos y culturales, recreativos, turismo, científico y otros que contribuyen al beneficio del Estado, social y privado [DS 017-2009-AG].

Por su parte, la Ley de Recursos Hídricos se establece sobre once principios que rigen el uso y gestión integrada de los recursos hídricos, estableciéndose en el décimo principio:

10. Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica

El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada por cuenca hidrográfica y con participación activa de la población organizada. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico.

Asimismo, en el artículo 3° de esta ley, se declara de interés nacional la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en el manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos para la conservación e incremento del agua, así como asegurar su calidad fomentando una nueva cultura del agua, para garantizar la satisfacción de la demanda de las actuales y futuras generaciones [Ley 22338].

Entonces, si bien el nuevo reglamento de clasificación de tierras excluye la conservación como objetivo en el manejo de cuencas, dentro de la ley de recursos hídricos se las reconoce como unidad de gestión del territorio, y para su delimitación la Autoridad Nacional del Agua adoptó la metodología de Pfafstetter.

1.2 Sistema Pfafstetter para identificación de cuencas¹



Figura 1: Cuencas de 1° nivel en Sudamérica

Es una metodología de clasificación de unidades de drenaje desarrollado por el Ing. Otto Pfafstetter en 1989 que fue adoptado como estándar internacional en 1997 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Esta metodología consiste en asignar códigos numéricos a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie del terreno. El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de ríos (confluencias)., correspondiendo el nivel 1 a la escala continental de unidades de drenaje.

Los niveles siguientes (2, 3, 4, etc.) representan mosaicos cada vez más finos de la superficie del terreno en unidades de drenaje

más pequeñas, los cuales son sub unidades de niveles inferiores de la red de drenaje.

A cada unidad hidrográfica se le asigna un específico código Pfafstetter, basado en su ubicación dentro del sistema total de drenaje que ocupa. Los detalles de esta metodología se puede consultar en el Anexo 1.

¹ Textos e imágenes tomados de [Aguirre. 2005]

1.3 Las grandes Unidades Hidrográficas de Cajamarca

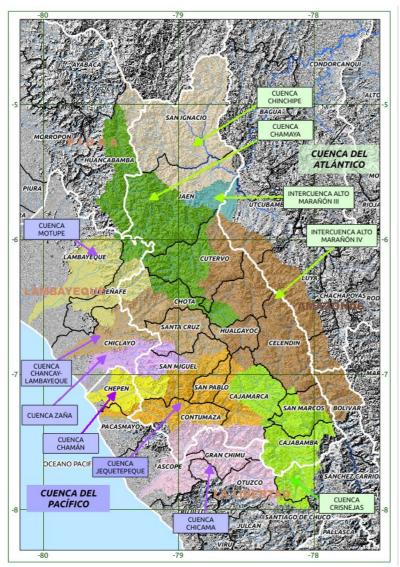


Figura 2: Unidades Hidrográficas de Cajamarca

En Enero de 2008, mediante la Resolución Ministerial 033-2008, la Autoridad Nacional del ANA aprobó metodología de Otto Pfafstetter como base para la determinación de Unidades Hidrográficas en el Perú, además aprobar de delimitación codificación У correspondiente, elaborada por Instituto Nacional Recursos **Naturales** INRENA.

Según esta delimitación codificación, el departamento de Cajamarca se encuentra atravesado por Unidades Hidrográficas del 5° y 6° nivel Pfafstetter, comprendidas entre la vertiente del océano Pacífico océano (21%)la del У Atlántico, (79%), tal como se aprecia en la figura

Asimismo se observa que todas ellas son compartidas con los departamentos contiguos e incluso con el Ecuador (cuenca Chinchipe), aunque en este caso sólo se ha coloreado la parte nacional. Los valores de los espacios compartidos son mostrados en la tabla 1.

Tabla 1: Principales cuencas de Cajamarca y los departamentos contiguos

N°	CUENCA	ÁREA TOTAL Km2	DEPARTAMENTO	ÁREA PARCIAL Km2	%
1 Cuenca Chamán	1349	Cajamarca	460	34.1	
ı	Cuerica Chaman	1349	La Libertad	889	65.9
		8105	Cajamarca	5791	71.4
2	Cuenca Chamaya		Lambayeque	418	5.2
			Piura	1896	23.4
3	Cuenca Chancay-	4043	Cajamarca	2745	67.9
3	Lambayeque	4043	Lambayeque	1298	32.1
4	Cuenca Motupe	3673	Cajamarca	447	12.2
4	Cuerica Molupe	3073	Lambayeque	3226	87.8
5	5 Cuenca Chicama	4518	Cajamarca	1117	24.7
3	Guerica Cilicama	4516	La Libertad	3401	75.3
6	6 Cuenca Chinchipe	6654	Cajamarca	6147	92.4
U	Guerica Chinchipe	0034	Piura	507	7.6
7	Cuenca Crisnejas	4936	Cajamarca	3970	80.4
ľ	Guerica Cristiejas	4930	La Libertad	966	19.6
8	Cuenca Jequetepeque	3956	Cajamarca	3741	94.6
0	Cuenca Jequelepeque	3930	La Libertad	215	5.4
9	Cuenca Zaña	1755	Cajamarca	880	50.1
9	Cuerica Zaria	1755	Lambayeque	875	49.9
10	Intercuenca Alto	8/')	Amazonas	279	32.0
10	Marañón III		Cajamarca	593	68.0
	A.,	10292	Amazonas	2811	27.3
11	Intercuenca Alto Marañón IV		Cajamarca	6514	63.3
			La Libertad	967	9.4

1.4 Cabecera de cuenca

Este término hace referencia a la parte más alta de una cuenca. En el Artículo 9° Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica, se indica:

b) Zonas de protección y conservación ecológica: (...) También se incluyen las cabeceras de cuenca y zonas de colina que por su disección son consideradas como de protección de acuerdo al reglamento de clasificación de tierras.[DS 087-2004-PCM]

Asimismo, la Ley de Recursos Hídricos califica a las cabeceras de cuenca como un bien natural asociado al agua e indica en su artículo 73° que "El Estado reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras de cuenca donde se originan las aguas. La Autoridad Nacional, con opinión del Ministerio del Ambiente, puede declarar zonas intangibles en las que no se otorga ningún derecho para uso, disposición o vertimiento de agua" [Ley 22338].

Si bien está aceptada la importancia de las cabeceras de cuenca, no existe todavía una metodología normalizada que nos permita delimitarlas de forma unívoca. Un criterio muy utilizado en nuestro ámbito es, por ejemplo, tomar como cabecera de cuenca a los espacios de Jalca y de Páramo, con lo cual se estaría excluyendo a las unidades hidrográficas que están por debajo de estos espacios.

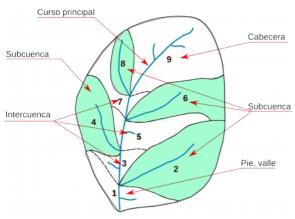


Figura 3: Adaptación de la metodología Pfafstetter para la identificación de las partes de una cuenca.

Para evitar esa exclusión, se podría adaptar como primera aproximación el sistema Pfafstetter para la identificación de las partes de una cuenca: puesto que una Unidad Hidrográfica se subdivide en otras más pequeñas, estas subunidades podrían ser tomadas como cabecera, subcuencas, intercuencas y pie de cuenca, según el caso, tal como se aprecia en la figura 3. En la práctica se ha visto que esto se cumple para cuencas pequeñas, de orden 7°, 8° o

siguientes, pero para cuencas grandes, según sus condiciones particulares, esto no necesariamente se cumple, como en el caso del Jequetepeque, cuyas subunidades 6° y 9° están pegadas, constituyendo una gran cabecera de cuenca, como se verá más adelante.

2. Índice de aridez en la caracterización climática

Desde el punto de vista hídrico, la principal característica de una cuenca es su capacidad de retención y regulación del agua precipitada en sus diversas formas (lluvia, nieve, granizo, etc.).

Son de especial interés aquellas cuencas en las que esta regulación natural permita que se disponga de agua para el consumo humano o para actividades productivas durante todo el año, incluyendo aquellos meses en los que la precipitación es escasa o nula.

Esta característica está ligada al grado de humedad que presenta la cuenca, especialmente en las partes más altas, y por ello se considera que esta característica es muy importante en la caracterización de una cuenca.

El grado de humedad de un ambiente suele caracterizarse por su antónimo: la aridez, parámetro para el cual existen diversas propuestas de medición, como los índices de Lang, Martonne, Knoche, etc.

En todos estos casos se aplican los datos de temperatura y precipitación y a falta de datos, una fuente confiable alternativa al SENAMHI son los modelos digitales de WorldClim

2.1 Acerca de WorldClim

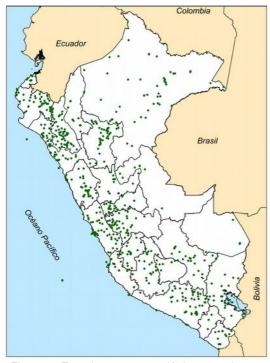


Figura 4: Estaciones meteorológicas usadas en el estudio WorldClim.

WorldClim es el producto resultante del estudio denominado "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas", presentado por Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005, en el International Journal of Climatology. Consiste en un set de capas de modelamiento del clima a nivel global, con una resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 Km), generadas mediante el procesamiento de los datos del clima de las estaciones incluidas en el estudio.

Las variables consideradas fueron la precipitación media mensual, así como la temperatura mínima y máxima mensuales, de las cuales se han derivado 19 capas adicionales de variables bioclimáticas [Hijmans, R.J. et al. 2005].

En la zona del Perú, se utilizó la información de 643 estaciones, que se muestran en la figura N°4.

2.2 Temperatura promedio

La temperatura del ambiente varía según cinco principales factores: variación diurna de la radiación solar, distribución latitudinal del territorio, variación estacional, tipos de cobertura terrestre y altura sobre el nivel del mar.

En el caso de Cajamarca, el principal factor de variación de la temperatura es la elevación del terreno, con el cual hay una relación inversa: a mayor elevación, menor temperatura.

Según el modelo WorldClim, las menores temperaturas se presentan en el mes de Julio, durante el invierno austral, razón por la cual se presenta como el primer mes para el ciclo anual mostrado en la figura 5. El promedio anual es mostrado en la figura 6.

2.3 Precipitación promedio

También según el modelo citado, las precipitaciones mensuales más bajas se producen entre los meses de Julio y Agosto, entonces se ha tomado Julio para uniformizar con la temperatura y en la figura 7 se presenta el ciclo anual correspondiente. El promedio anual es mostrado en la figura 8.

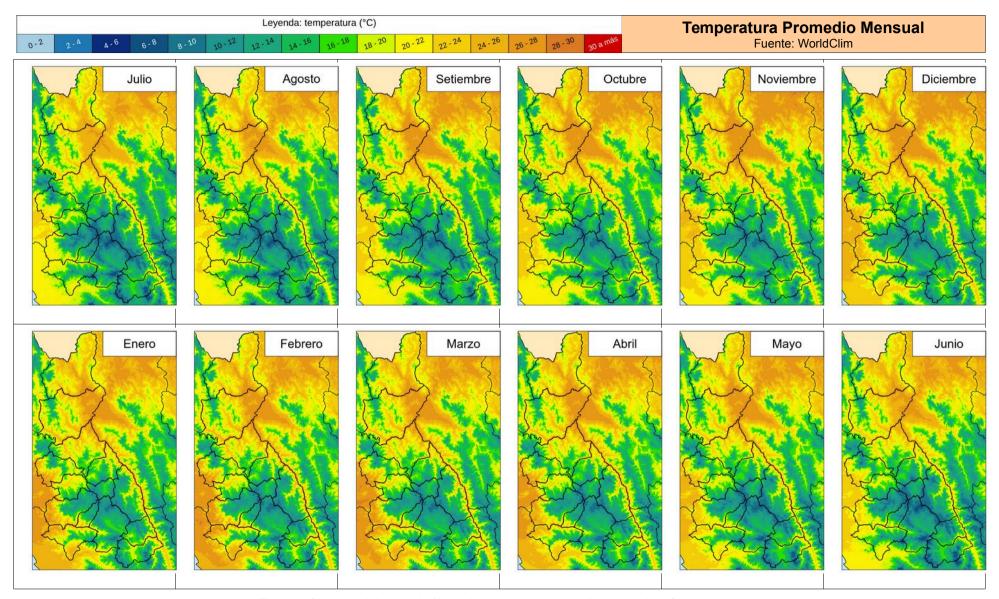


Figura 5: Ciclo anual de la variación de la temperatura promedio mensual en Cajamarca

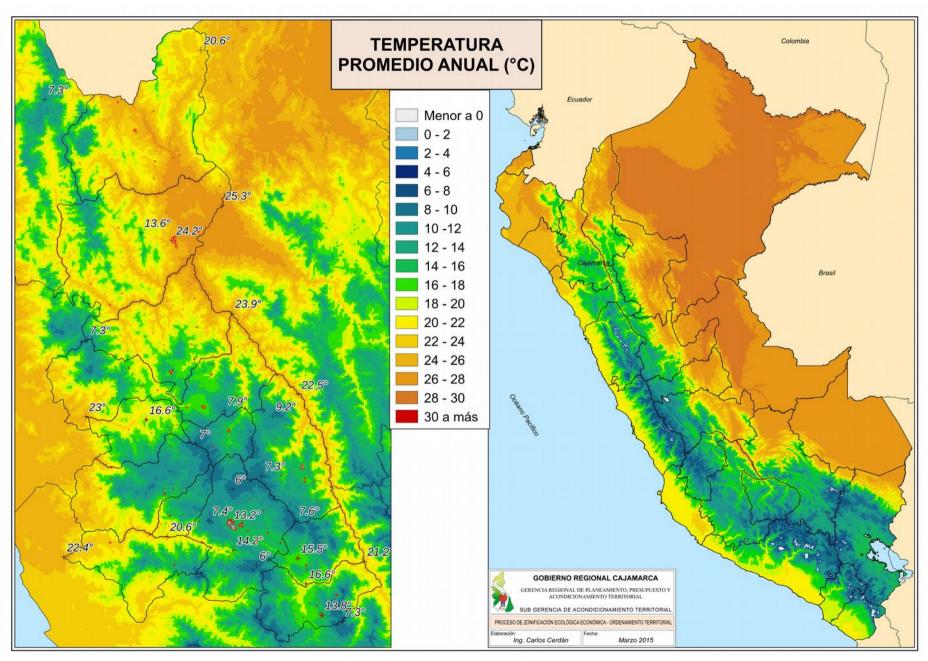


Figura 6: Temperatura promedio anual en Cajamarca y el Perú

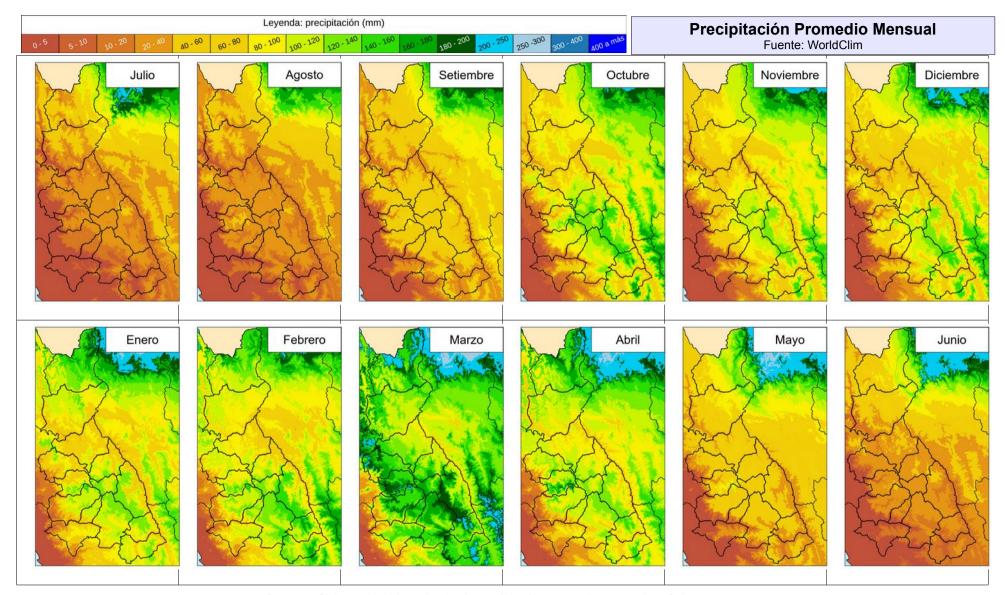


Figura 7: Ciclo anual de la variación de precipitación promedio mensual en Cajamarca

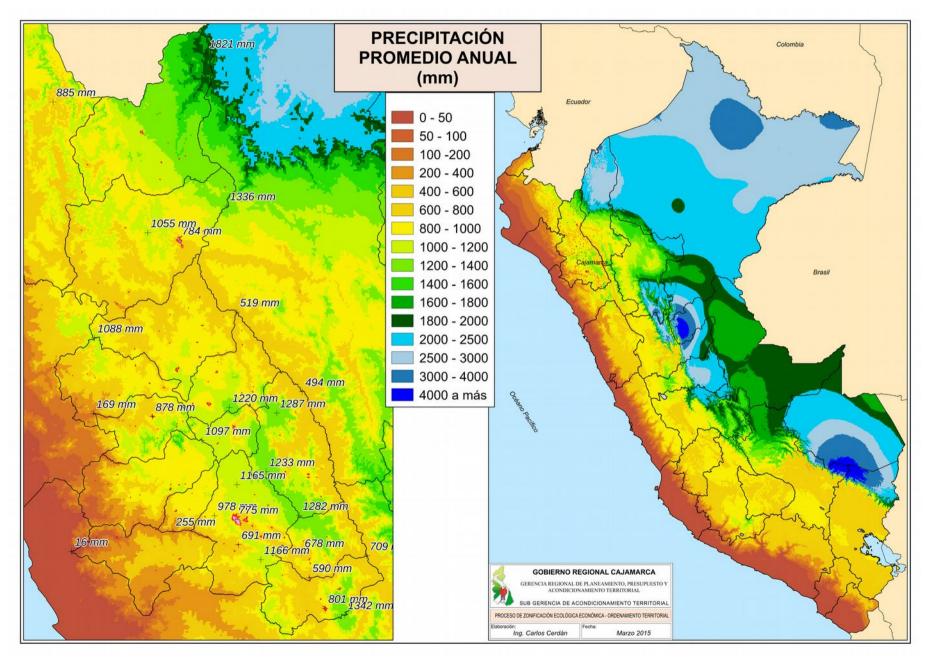


Figura 8: Precipitación promedio anual en Cajamarca y el Perú

2.4 Índice de aridez de De Martonne

La aridez de un espacio territorial se denota por la falta de agua en el suelo y de humedad en el aire. Existen diversas propuestas para caracterizar la aridez de un territorio pero la más usada y, sobre todo, existe información sobre los parámetros necesarios para su determinación, es el índice de aridez de De Martonne (IDM). Este índice está definido como:

$$IDM = \frac{Precipitación\ promedio\ anual\ (mm)}{Temperatura\ promedio\ anual\ (^{\circ}\ C) + 10}$$

A efectos de ver la variación mensual, [Almorox. 2003] propone la siguiente variación de la fórmula:

$$IDM_{i} = \frac{12 \; . \; Precipitación \; promedio \; mensual_{i} \; (mm)}{Temperatura \; promedio \; mensual_{i} \; (\circ \; C) + 10}$$

En ambos casos, la zonificación correspondiente está propuesta según la siguiente tabla:

Tabla 2: Zonificación de climas según el índice de aridez de De Martonne

Valor del Índice	Zona	
0 – 5	Desiertos (hiperárido)	
5 – 10	Semiárido (árido)	
10 – 20	Semiárido de tipo mediterráneo	
20 – 30	Subhúmeda	
30 – 60	Húmeda	
> 60	Perhúmeda	

Fuente: [Almorox. 2003]

Según lo anterior, se determinó el índice de aridez en Cajamarca, que se presenta en las figuras 9 y 10.

Figura 9: Índice de aridez mensual de De Martonne

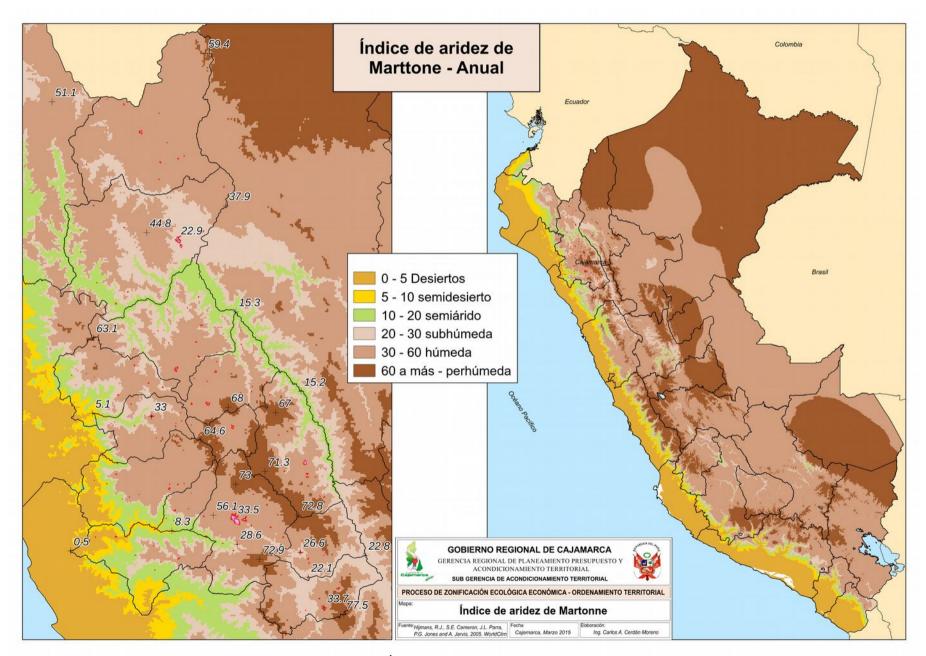


Figura 10: Índice de aridez anual de De Martonne

3. Caracterización de la cuenca del río Jequetepeque

3.1 Subunidades Hidrográficas

La cuenca del río Jequetepeque corresponde a una Unidad Hidrográfica de 5° orden Pfafstetter, de código 13774, que comprende 9 subunidades, de las cuales destacan la primera subunidad por contener a la represa Gallito Ciego, en el valle de la cuenca y las unidades sexta y novena por su abarcar la parte alta y ser de mayor tamaño que las demás.

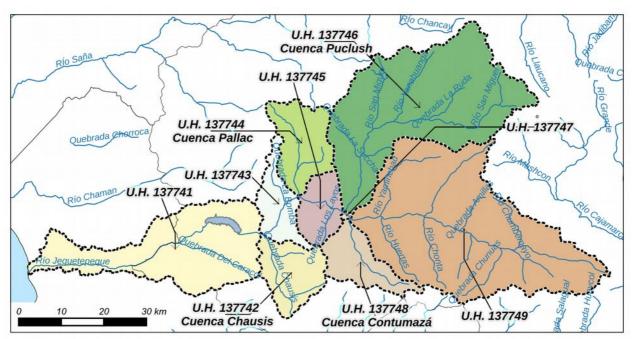


Figura 11: Subunidades de la U.H. 13774 - Cuenca del río Jequetepeque

Tabla 3: Unidades Hidrográficas de la cuenca del río Jequetepeque

Cód. Pfafstetter	Nombre	Área (Km2)	% Área
137749	UH 137749	1336.6	33.5
137748	Cuenca Contumazá	188.4	4.7
137747	UH 137747	3.9	0.1
137746	Cuenca Puclush	1050.7	26.3
137745	UH 137745	145.4	3.6
137744	Cuenca Pallac	238.6	6.0
137743	UH 137743	156.3	3.9
137742	Cuenca Chausis	208.6	5.2
137741	UH 137741	667.2	16.7
	TOTAL	3995.7	100.0

3.2 Elevación del terreno

Esta cuenca abarca un área aproximada² de 3995 Km², con elevaciones de terrenos comprendidas entre el nivel del mar en la desembocadura y aproximadamente 4200 msnm en la parte alta de las subunidades 6° (Huacraruco) y 9° (Lagunas de Alto Perú y mina Yanacocha).

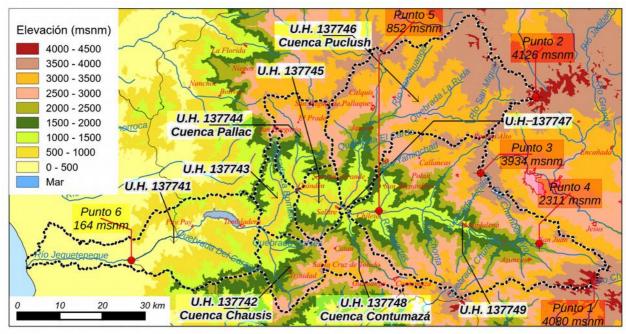


Figura 12: Elevación del terreno de la cuenca en m.s.n.m.

3.3 Índice de De Martonne

La temperatura y la precipitación varían inversamente con altura. Así tenemos que a nivel del mar, la temperatura promedio anual es de unos 22°C y en los puntos más elevados 6°; mientras que la precipitación promedio anual varía entre 14 y 1165 mm respectivamente.

Con estos parámetros se calculó el índice de De Martonne, el cual también guarda relación inversa con la altura del terreno, observándose que la parte alta de la cuenca tiene la condición promedio anual de ambientes húmedos y per húmedos, lo cual es mucho más favorable y conveniente para la retención y regulación natural del agua, que se produce en mayor grado en esta zona que en las partes más bajas. Gracias a esto, en el curso principal de las unidades 6° (río Puclush) y 9° (Río Jequetepeque) se tienen agua durante todo el año.

² Este valor del área fue calculado desde el Modelo Digital de Elevación ASTER-GDEM, utilizado para determinar las subcuencas correspondientes. El mapa de cuencas del INRENA estima esta área en 3956 Km². En base a trabajos previos, el autor considera mejor aproximado el primer valor (3956 Km²).

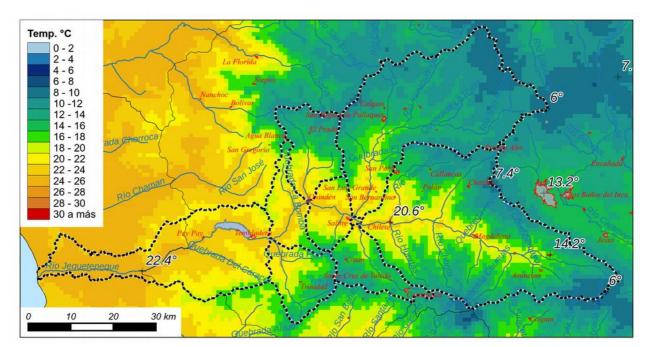


Figura 13: Temperatura promedio anual

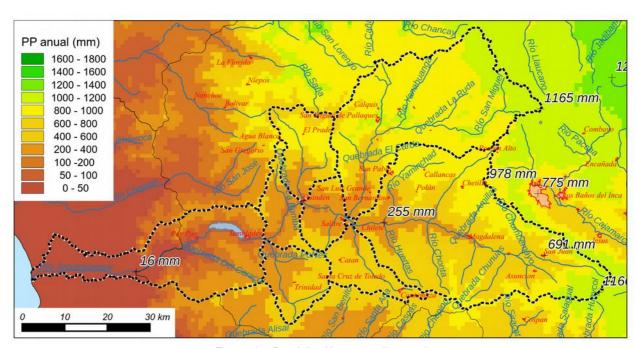


Figura 14: Precipitación promedio anual

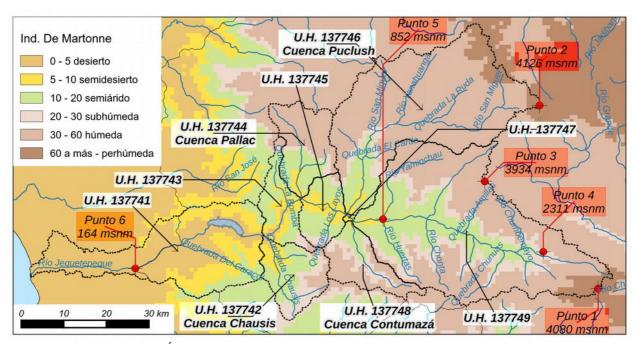


Figura 15: Índice de aridez de De Martonne en la cuenca del río Jequetepeque

3.4 Muestreo de parámetros del Índice de De Martonne

Para comparar mejor la variación mensual de los parámetros del índice de De Martonne se han tomado seis puntos de muestreo (ver figura 15), observándose lo siguiente:

Temperatura media: Las variaciones mensuales son más suaves en la parte alta, con una variación de 1.8 °C entre la temperatura promedio más baja y la mas alta (puntos 1 y 2). En cambio en la parte baja (punto 6) la variación es mayor a 6 °C. En todos los casos, se aprecia una variación conforme a la estación, siendo el mes más frío Julio (invierno) y los más cálidos: Enero en la parte alta y Febrero en la parte baja. La diferencia se explicaría por la presencia de lluvias en la parte alta durante el verano, especialmente en Febrero y Marzo, que amortiguan la elevación de la temperatura ambiental en pleno verano.

Precipitación media: En este caso sucede al revés: las variaciones son más extremas en la parte alta, con una variación promedio de hasta 169 mm entre el mes más lluvioso (Marzo) y el más seco (Julio), pero de sólo 6 mm o menos en la parte baja.

Indice de De Martonne: La variación es similar a la precipitación. En la parte alta, las condiciones de humedad varían desde ambiente semiárido (Junio y Julio) a perhúmedo (Setiembre a Mayo).

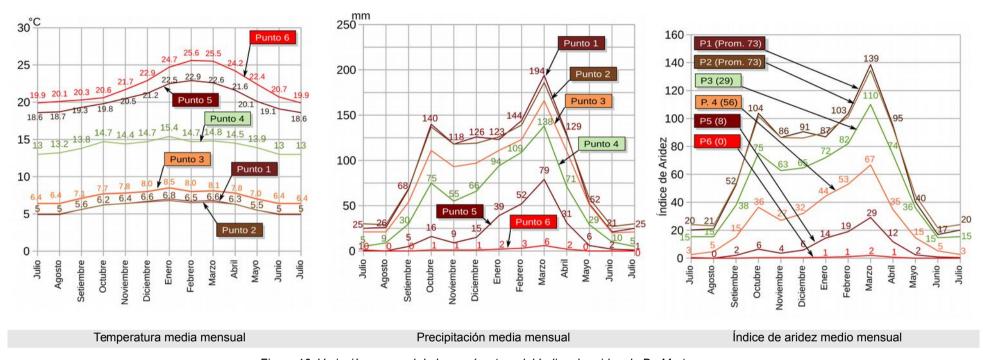


Figura 16: Variación mensual de los parámetros del índice de aridez de De Martonne

3.5 Distribución de la precipitación en la cuenca

El análisis del modelo de precipitación promedio anual de WorldClim nos ofrece interesantes resultados sobre cómo se distribuye la precipitación en esta cuenca. Por ejemplo, queda claro que las subunidades que más aportan con agua a la cuenca son la sexta y la novena, que en conjunto aportan el 77% del volumen que escurre en la cuenca, tal como se aprecia en la siguiente tabla y figura.

Tabla 4: Volumen bruto precipitado por subunidad hidrográfica de la cuenca del río Jequetepeque

UH	Áre	a	Volumen Bruto Precipitado	
011	(Ha)	% Área	Vol. (Millones m3)	% Vol.
137749	1322.2	33.4	943	38.9
137748	186.4	4.7	118	4.9
137747	3.9	0.1	1	0.04
137746	1039.7	26.3	917	37.8
137745	143.7	3.6	55	2.3
137744	236.2	6.0	159	6.5
137743	154.7	3.9	56	2.3
137742	206.3	5.2	94	3.9
137741	659.9	16.7	85	3.5
Total	3952.93	100.0	2,428	100.0

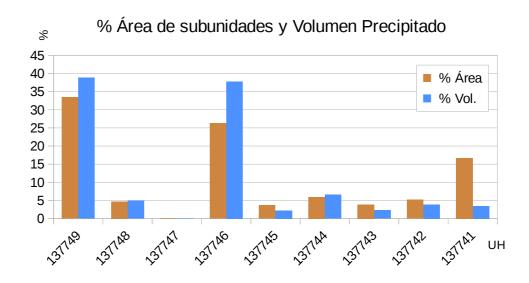


Figura 17: % de área y de volumen precipitados según subunidad hidrográfica

Apoyándonos en el modelo digital de elevación ASTER, se determinó los volúmenes precipitados a diferentes elevaciones del terreno, cuyo resumen es presentado en la tabla 5.

Tabla 5: Volumen precipitado según elevación del terreno

Volumen precipitado		Vol. precip. acumulado		
(msnm)	Millones m3	%	Millones m3	%
4200	0	0.0	0.0	0.0
4000	29.5	1.2	29.5	1.2
3800	112.8	4.6	142.3	5.9
3600	186.2	7.7	328.5	13.5
3400	316.7	13.0	645.2	26.6
3200	268.9	11.1	914.2	37.7
3000	241.5	9.9	1,155.7	47.6
2800	260.6	10.7	1,416.3	58.3
2600	207.1	8.5	1,623.4	66.9
2400	160.6	6.6	1,784.0	73.5
2200	122.8	5.1	1,906.8	78.5
2000	94.7	3.9	2,001.5	82.4
1800	81.0	3.3	2,082.5	85.8
1600	77.1	3.2	2,159.7	89.0
1400	67.3	2.8	2,226.9	91.7
1200	61.5	2.5	2,288.4	94.3
1000	55.9	2.3	2,344.3	96.6
800	42.2	1.7	2,386.5	98.3
600	23.9	1.0	2,410.4	99.3
400	10.8	0.4	2,421.2	99.7
200	4.2	0.2	2,425.4	99.9
0	2.5	0.1	2,427.9	100.0
TOTAL	2,427.9	100.0	2,427.9	100.0

Para otros valores se puede consultar la figura 18; así por ejemplo se determina que en la zona de Jalca (3500 msnm a más) se precipita un volumen acumulado de unos 480 millones de m3, equivalente a 20% del total. Asimismo se observa que el aporte de volumen va ganando rápidamente intensidad en los primeros tramos (mayor pendiente de la curva), hasta los 2600 msnsm, luego de lo cual los aportes son menos intensos, aproximándose a nulos (pendiente = 0) a nivel del mar.

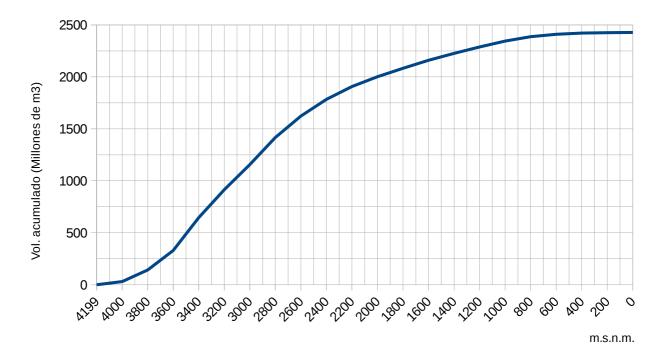


Figura 18: Volumen precipitado acumulado según elevación del terreno

Otra forma de ver el gráfico anterior, guardando relación con la elevación del terreno, es representar este valor en el eje de ordenadas, como en la figura 19, en donde las abscisas corresponden a los porcentajes de volumen precipitado y también al porcentaje del área del terreno, todos ellos acumulados desde la parte más alta hasta la desembocadura del río Jequetepeque.

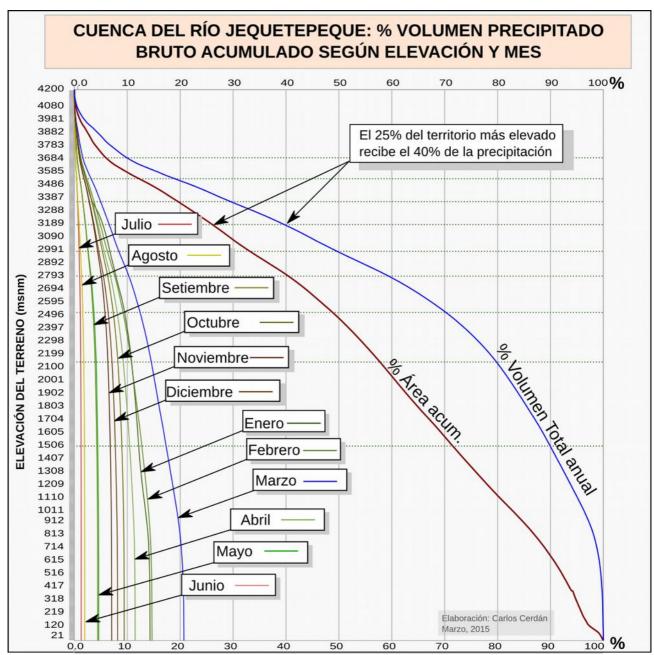


Figura 19: Relación entre el % de volumen bruto precipitado, el % de área y la elevación de la cuenca del río Jequetepeque.

Como se aprecia en la figura 19, la parte más alta de la cuenca es la que más agua aporta a la cuenca, observándose que el 25% del terreno más elevado recibe el 40% de la lluvia precipitada; además como estos terrenos presentan una índice de aridez anual que los califica como húmedos y perhúmedos durante la mayor parte de año, se favorece una mayor retención en el terreno en esta zona, cumpliendo así con la principal característica atribuida a las cabeceras de cuenca, la misma que las hace de especial interés hídrico.

3.6 Subcuencas del río Jequetepeque

Como se indicó, las subunidades hidrográficas más importantes de la cuenca río Jequetepeque son la sexta y novena unidad, codificadas como UH 137446 y 1374499 respectivamente.

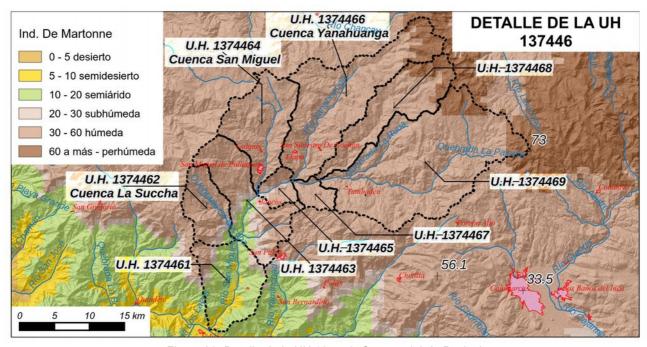


Figura 20: Detalle de la UH 137446: Cuenca del río Puclush

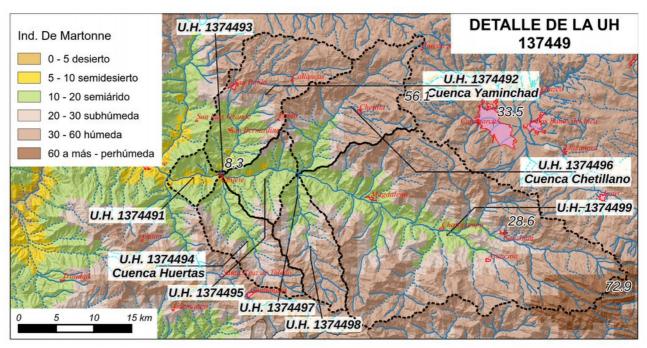


Figura 21: Detalle de la UH 137449

Estas UH presentan las zonas de mayor recarga hídrica de la cuenca, pero de por si no podrían ser consideradas como cabeceras de cuenca en su totalidad pues todavía presentan mucha variación de humedad entre la parte baja y alta entonces, si se pretende delimitar la cabecera de la cuenca según las subdivisiones Pfastetter se tendría que seguir subdividiendo hasta encontrar UHs que no reciben el aporte de otra unidad (están en la cabecera) y que tienen un índice de De Martonne adecuado, planteándose para este caso un valor igual o mayor a 30.

Para el caso de la UH 137446 (figura 20), las sub unidades de la cuatro a la nueve (1374464, 1374465, 1374466, 1374467, 1374468 y 1374469) presentan ya uniformidad en el tipo de zona, entre húmedas y perhúmedas, por lo cual se plantea que dichas unidades conforman parte de la cabecera de cuenca del río Jequetepeque.

Esto no sucede con las subdivisiones de la UH 137449, por lo que cada una de sus nueve sub UHs debería volver a ser subdividida para diferenciar mejor las UH homogéneas en cuanto a la humedad. Como ejemplo se ha subdividido la novena de estas subunidades (figura 22), llegando así hasta el 9° nivel Pfasfteter.

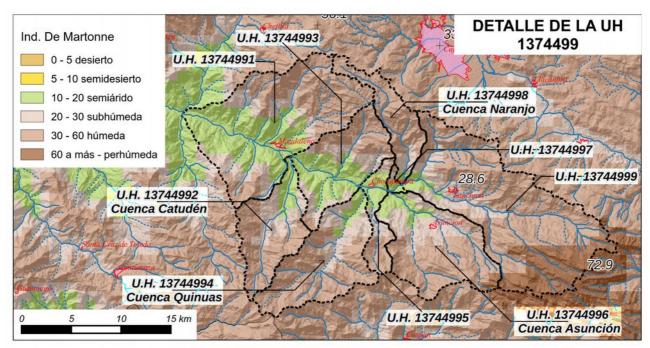


Figura 22: Detalle de la UH 1374499

Para este caso en particular se aprecia que todavía no se logra UHs que en su totalidad tengan un índice de De Martonne igual o mayor a 30, por lo que sería necesaria otra subdivisión más, llegando hasta el 10° nivel Pfastetter.

En conclusión: aunque inicialmente parecía sencilla la aplicación del método Pfafstetter, complementando con el índice de De Martonne, para adaptarlos a la delimitación de cabeceras de cuenca, vemos que en algunos casos resulta necesario hacer varias (y tal vez engorrosas) subdivisiones hasta encontrar sub unidades que tengan un índice de De

Martone que las califique como húmedas o perhúmedas en su totalidad; sin embargo aplicar Pfafstetter para su delimitación, tiene la ventaja de definir Unidades Hidrográficas claramente diferenciadas, ubicables fácilmente en campo.

3.7 Unidad hidrográfica de interés hídrico en cabecera de cuenca

Con base en lo anterior y al análisis aparte de la cuenca del río Crisnejas, se plantea la siguiente propuesta para delimitar las unidades hidrográficas de interés hídrico en cabecera de cuenca, las cuales por su ambiente húmedo favorecen la retención y regulación del agua:

Unidad hidrográfica de interés hídrico en cabecera de cuenca: toda unidad hidrográfica delimitada según la clasificación de Pfastetter que se encuentra en la parte más alta de una cuenca, que no recibe aporte de agua de otra cuenca, calificada como zona húmeda o perhúmeda según el Índice de Aridez de Marttone.

Dada la diferencia de condiciones de humedad entre las vertientes del Pacífico y del Atlántico, se plantea la siguiente distinción:

- En el caso de la vertiente del Pacífico se tomarán las unidades que presentan un índice de aridez promedio anual mayor o igual a 30.
- En el caso de la vertiente del Atlántico se tomarán las unidades que presentan un índice de aridez promedio anual mayor o igual a 50.

Nota: Esta definición aplica para Cajamarca en particular. Para el Perú en general aplica sólo para la vertiente del Pacífico. En el caso de la vertiente del Atlántico, muchas unidades hidrográficas fácilmente llegan a tener un índice de aridez superior a 30 e incluso a 50, lo cual indica que en estas zonas el aporte hídrico a la cuenca sería similar (o acaso mayor) a los espacios de cabecera de cuenca.

3.8 Cabecera de cuenca del río Jequetepeque

Como se aprecia en la tabla 5 y se ilustra en la figura 19, es innegable el mayor aporte de agua de las partes más altas de la cuenca, siendo así que en este caso el 25% del territorio más elevado (desde los 3150 m.s.n.m. hacia arriba), aporta con el 40% del volumen de agua precipitado en toda la cuenca.

Lo anterior llevaría a considerar que la cabecera de cuenca se debería delimitar desde una determinada elevación del terreno hacia arriba, sin embargo esto conllevaría a delimitar espacios no tan fácilmente identificables en campo, en los que se haría muy difícil realizar los chequeos, controles o balances hídricos.

Una forma de facilitar este último aspecto es la delimitación de espacios según Unidades Hidrográficas, como propuso Pfafstetter, siendo de especial interés desde el punto de vista del aporte hídrico aquellas que están en las partes más altas y tienen un índice de De Marttone que las califica como húmedas o muy húmedas. Estas unidades se muestran en la figura 23 y en la siguiente tabla.

Tabla 6: UHHs de la cuenca del río Jequetepeque

UHH	Área (Km2)	% Respecto a la cuenca
Asunción	24.62	0.6
Callanca	47.56	1.2
Chancuas	6.24	0.2
Chanta	19.07	0.5
Chonta	65.28	1.7
Chontayoc	11.83	0.3
Chorro Blanco	11.12	0.3
El Tunel	37.07	0.9
Gavilán	12.59	0.3
HUacraruco	32.31	0.8
Jalatua	6.95	0.2
Llapa	201.43	5.1
Negro	7.42	0.2
Pacachal	33.56	0.8
Qda. Honda	110.33	2.8
Quinuas	12.73	0.3
San Miguel	106.73	2.7
Tingo	71.58	1.8
Tingo 2	6.14	0.2
Tumbadén	313.41	7.9
s/n	15.7	0.4
s/n 2	6.56	0.2
s/n 3	7.5	0.2
s/n 4	5.48	0.1
s/n 5	5.02	0.1
TOTAL	1178.2	29.8

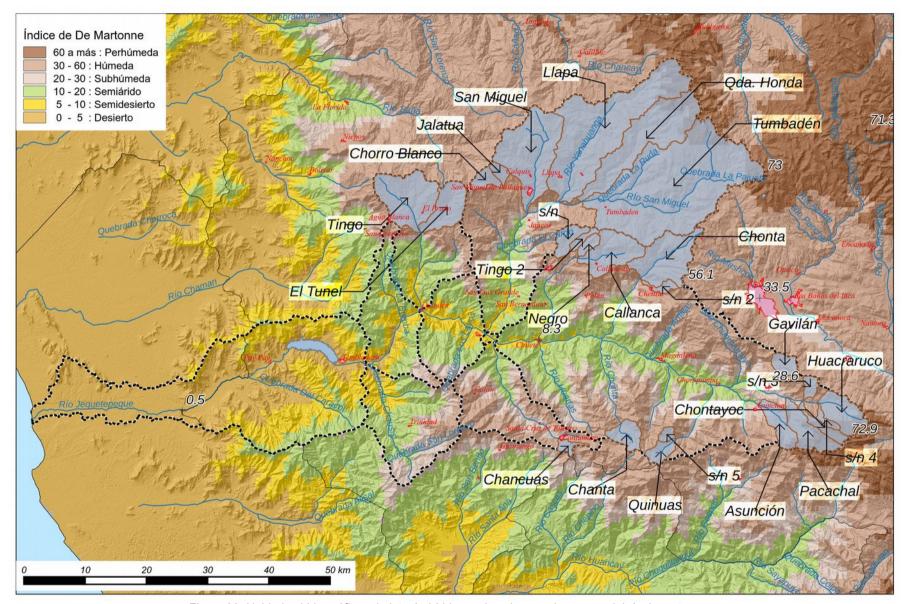


Figura 23: Unidades hidrográficas de interés hídrico en la cabecera de cuenca del río Jequetepeque

A estas sub unidades las podemos denominar Unidades Hidrográficas Húmedas – UHH y a efectos prácticos se puede considerar que las UHH que están en la parte más alta de la cuenca originaria, conforman los principales espacios de aporte hídrico de la cabecera de cuenca respectiva.

4. Conclusiones y recomendaciones

En la cabecera de una cuenca, las UHH conforman los principales espacios de aporte hídrico, cuya conservación debería ser considerada de especial interés para mantener el mayor aporte de agua que éstas brindan en la cuenca.

Anexo 01: Método de Pfafstetter para la codificación de Unidades Hidrográficas³

Las unidades de drenaje son divididas en 3 tipos: cuencas, intercuencas y cuencas internas. Una cuenca Pfafstetter es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área. Una intercuenca Pfafstetter es un área que recibe drenaje de otras unidades aguas arriba. Y una cuenca interna es un área de drenaje que no contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua, tales como un océano o lago.

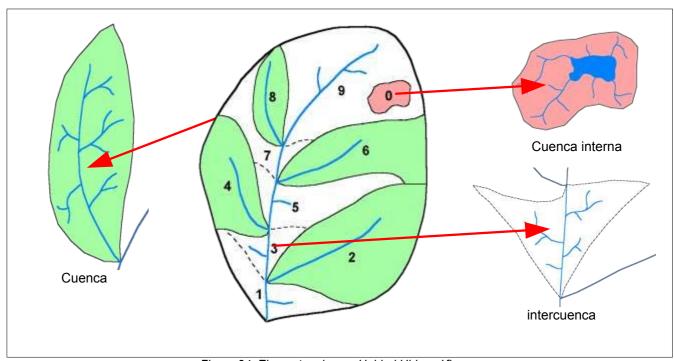


Figura 24: Elementos de una Unidad Hidrográfica

En este método la importancia de cualquier río está relacionada con el área de su cuenca hidrográfica. Se hace una distinción entre río principal y tributario, en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia, el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre los dos considerados y se denomina cuenca al área drenada por los tributarios e intercuencas a las áreas restantes drenadas por el río principal.

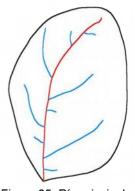


Figura 25: Río principal

³ Textos e imágenes tomados de [Aguirre. 2005]

El proceso de codificación consiste en subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera sea su tamaño, determinándose los cuatro mayores afluentes del río principal, en términos de área de sus cuencas hidrográficas. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumerados con los dígitos pares (2, 4, 6 y 8), en el sentido desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuencas, que reciben, en el mismo sentido, los dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9).

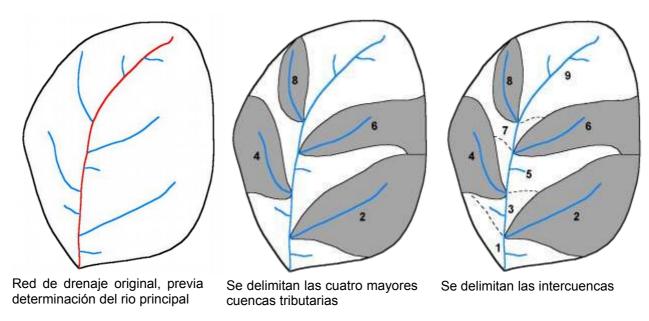


Figura 26: Proceso de codificación Pfafstetter

Cada una de esas cuencas e intercuencas, resultantes de esa primera subdivisión, pueden ser subdivididas de la misma manera, de modo que, por ejemplo, la subdivisión de la cuenca 8 genera las cuencas 82, 84, 86 y 88 y las intercuencas 81, 83, 85, 87 y 89. El mismo proceso se aplica a las intercuencas resultantes de la primera división, de modo que la intercuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las cuencas 32, 34, 36 y 38, y en las intercuencas 31, 33, 35, 37 y 39. Los digitos de la subdivisión son simplemente agregados al código de la cuenca (o intercuenca) que está siendo dividida.

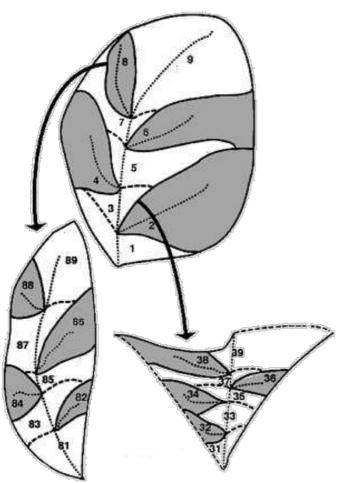


Figura 27: Subdivisión de unidades hidrográficas

Una complicación puede aparecer en que las dos unidades finales y más altas del río principal, son cuencas. En este caso la unidad que presente mayor área de drenaje es asignado el código "9" y la otra, más pequeña, el código "8" (ver Figura 28).

Si un área contiene cuencas internas, a la cuenca interna más grande se le asigna el código "0" y las otras cuencas internas son incorporadas a las cuencas o intercuencas aledañas (ver figura 4).

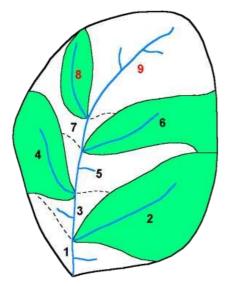


Figura 28: Diferenciación de UHs 8 y 9

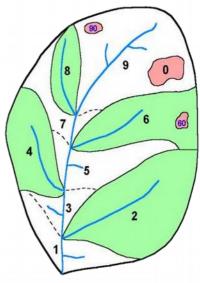


Figura 29: Cuencas internas en una U.H.

Referencias

DS 062/75-AG: MInistaerio de Agricultura, Reglamento de clasificación de tierras, 1975

DS 017-2009-AG: MInisterio de Agricultura, Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, 2009

Ley 22338: Congreso de la República, Ley de recusos hídiricos, 2009

Aguirre. 2005: Aguirre Nuñez, Marco, Marco conceptual y manejo de cuencas en el Perú, 2005,

http://www.cepal.org/deype/noticias/noticias/7/44607/delimitacion_codificacion_cuencas.pdf

DS 087-2004-PCM: Presidencia del Consejo de Ministros, Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica, 2004

Hijmans, R.J. et al. 2005: Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, 2005

Almorox. 2003: Javier Almorox Alonso, Climatología aplicada al medio ambiente y agricultura, 2003