



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería Agrícola - Programa de Magíster en Ingeniería Agrícola mención  
en Recursos Hídricos

**Determinación del comportamiento del flujo base y su relación  
con variables de estado hidrológicas en la cuenca del río  
Diguillín, Región del Bío-bío, Chile.**

Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería Agrícola mención  
en Recursos Hídricos

CAROLINA MAGDALENA MORALES CALDERÓN  
CHILLÁN-CHILE  
2014

Profesor Guía: José Luis Arumí Ribera  
Dpto. de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad de Concepción

***Determinación del comportamiento del flujo base y su relación con variables de estado hidrológicas en la cuenca del río Diguillín, Región del Bío-bío, Chile.***

**RESUMEN**

El estudio que se presenta a continuación, tiene como objetivo establecer el comportamiento de los sistemas de almacenamiento y liberación de agua subterránea y su relación con otras variables de estado hidrológicas, en la cuenca del río Diguillín, ubicada en la región del Bío-bío, Chile. Se consideró un total de 2 estaciones fluviométricas y 8 estaciones pluviográficas, de las que se seleccionó un periodo de 10 años comprendido entre 1999 y 2008.

En primer lugar, en base a caudales horarios del periodo completo, se identificaron los hidrogramas, los que fueron separados en su componente subterráneo y superficial. Paralelamente se estimó la precipitación areal mensual, a través de polígonos de Thiessen, para luego calcular valores mensuales de volumen de agua subterránea, coeficiente de escorrentía, caudal y precipitaciones.

Posteriormente se analizó el comportamiento temporal de las variables de interés a saber, escorrentía directa, coeficiente de escorrentía, precipitación mensual areal, caudal medio mensual y volumen de reservas y su influencia en el volumen de agua subterránea mensual, para el periodo completo de información, así como para los periodos lluviosos y secos definidos en el presente estudio.

Los resultados obtenidos muestran que el comportamiento del volumen de agua subterránea no se ve influenciado por las precipitaciones. Los caudales, principalmente los provenientes del periodo seco explican mejor el comportamiento del volumen de agua subterránea por los deshilos. Sin embargo, los volúmenes de agua subterránea o reservas, a lo largo del periodo presentan volumen altos, lo que presume el aporte de agua subterránea constantemente.

## Summary

The study that appears next, aims to establish the behavior of the groundwater release and storage systems and its relation with other hydrological state variables, in the Diguillín river watershed, located in the Biobío region, Chile. A total of 2 fluviometrical stations and 8 pluviograph stations were considered, which a period of 10 years between 1999 and 2008 was selected.

In the first place, on the basis of flows per hour of the complete period, hydrographs were identified which they were separated in their underground and superficial component. Simultaneously the monthly areal rainfall was considered, through Thiessens Polygons and soon calculate the ground water volume monthly values, the runoff coefficient, flows and rainfall.

Subsequently for the complete period of information, as well as the defined rainy and dry periods in the present study, interest variables in temporary behavior and its influence in the ground water monthly volume were analyzed.

The obtained results show that the ground water volume behavior does not seem to be influenced by rainfall. The flows, mainly the ones originated in the dry period seem to explain better the ground water volume behavior by defrostings. Nevertheless, the ground water volume or reserves, throughout the period present high volumes, which presumes the constant ground water contribution.

## 1. INTRODUCCION

Sin duda que en la actualidad, el agua y su disponibilidad, son temas de gran importancia a nivel mundial. El constante aumento de la población y la necesidad de satisfacer las demandas del consumo humano, la producción de alimentos y la generación de energía, ha obligado a considerar como fuente principal de abastecimiento no tan solo a las escorrentías superficiales, sino también al agua subterránea. Por ejemplo, el agua subterránea para el consumo humano en las zonas urbanas en Chile, alcanza un 40% del volumen total consumido y para el agua potable rural, este aumentaría a un 76%. Si se considera sólo el Valle Central de Chile, es decir, desde la Región Metropolitana a la Región del Biobío, más de un 83% del agua potable de las zonas rurales es obtenida de los acuíferos existentes (Arumí *et al.* 2006).

Para el caso de los sectores productivos del país, y en particular para la agricultura, que es una de las principales actividades económicas concentrada en los valles del centro y sur de Chile, los recursos hídricos necesarios provienen principalmente de cuencas pre-andinas y andinas donde su disponibilidad depende, en gran medida, de la capacidad de almacenamiento y regulación de estas cuencas y de la variabilidad climática que afecte la zona (Zúñiga *et al.*, 2012).

La importancia de las reservas de aguas subterráneas radica especialmente por su uso antrópico y por su importante papel en el ciclo hidrológico, donde contribuyen al flujo de los ríos cuando no hay precipitaciones, a lo que se suma su función ambiental por su contribución con manantiales, ríos, lagos, humedales y estuarios, además de su rol en los procesos geológicos (Sahuquillo, 2009), es decir, el sistema de aguas subterráneas es un sistema de almacenamiento que además amortigua las variaciones de la precipitación.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo establecer el comportamiento de los sistemas de almacenamiento y liberación de agua subterránea y su relación con otras variables de estado hidrológico como son las precipitaciones, el caudal y las escorrentías directas de una cuenca andina de régimen nivopluvial. La cuenca en estudio es la del Río Diguillín, ubicada en la Región del Biobío, Chile.



## 2. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se concentra en la cuenca del Río Diguillín, una subcuenca del Río Itata, que se ubica en la Región del Biobío, entre las latitudes 36°48'S y 37°03'S y las longitudes 71°19'W y 72°22'W (figura 1).

La cuenca presenta una superficie total de 1.257 km<sup>2</sup> y su elevación varía entre 100 y 3.175 msnm en el límite oriental. Esta cuenca nace en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, en los faldeos del complejo volcánico Nevados del Chillán presente en la región, convirtiéndose en uno de los principales tributarios del río Itata (Zúñiga *et al*, 2012).

La parte alta de la cuenca del Río Diguillín está constituida por dos subcuencas en la zona alta: la subcuenca del Renegado en la que se encuentra la estación fluviométrica Renegado en Invernada; y la subcuenca Alto Diguillín, en la que se encuentra la estación fluviométrica Diguillín en San Lorenzo. A su vez, en la zona baja de la cuenca, se presenta una tercera estación fluviométrica, a saber, Diguillín Longitudinal, que registra los caudales de toda la cuenca, es decir, incluyendo los aportes de las subcuencas de las zonas altas (figura 2).

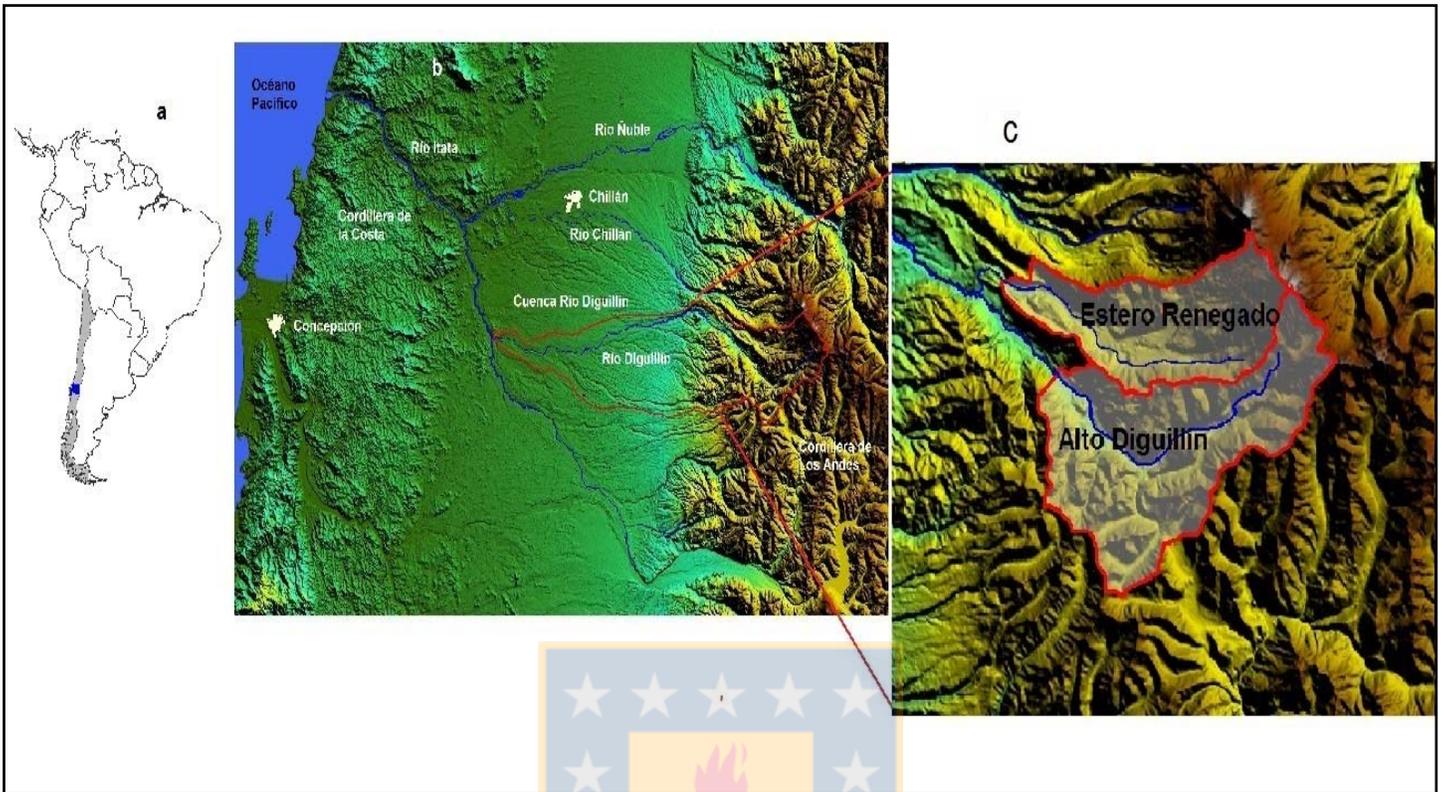


Figura 1. a) Ubicación Región del Bío-bío. b) Ubicación Cuenca del Río Diguillín. c) Ubicación subcuencas del área de estudio.

La cuenca presenta una precipitación media anual de 1.875 mm durante el invierno, y presenta un periodo de deshielo y derretimiento de nieve durante la primavera e inicio del verano (Böttcher, 2011).

En el caso de los caudales, Arumí *et al* (2011) plantean que existen cuatro procesos que controlan el régimen hidrológico de la cuenca: a) las lluvias provenientes del Océano Pacífico, b) el derretimiento de nieves, c) el derretimiento de glaciares, y d) la liberación de aguas subterráneas. En el periodo de verano, las descargas de agua subterránea al río Diguillín, tienen gran relevancia, ya que mantienen el caudal de estiaje en periodo estival, debido a la presencia de fracturas en las rocas ígneas y volcánicas que presenta la zona.

Con respecto a las temperaturas, la media mensual de la cuenca es de 12.4°C, con un rango entre 6°C en invierno y 20°C en verano, (Böttcher, 2011).

Por su parte, la geología de la cuenca estaría controlada por procesos volcánicos asociados al complejo volcánico “Volcán Chillán”, los cuales habrían formado distintas unidades geológicas a lo largo de unos 650 km, los que se asociarían a rocas fracturadas. La presencia rocas volcánicas, explican el comportamiento de las aguas subterráneas y la formación de una zona de recarga. Además, la presencia de depósitos fluvioglaciares, y rocas sedimentarias denota zonas bastante permeables que favorecería la formación de acuíferos (Zúñiga *et al*, 2012).



### **3. METODOLOGIA**

La cuenca del Río Diguillín, que es controlada en la estación Diguillín Longitudinal comprende dos subcuencas en la zona alta: subcuenca Renegado y subcuenca San Lorenzo (Alto Diguillín).

Los análisis del presente estudio, se concentran en la estaciones Diguillín Longitudinal y San Lorenzo. Se excluyó la subcuenca Renegado, debido a que recientes estudios señalan que esta zona presenta formaciones hidrogeológicas particulares lo que podría derivar en estimaciones erráticas de las variables de estudio.

La información necesaria para el estudio fue proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA), organismo dependiente del Ministerio de Obras Públicas y que corresponde a la institución hidromensora oficial de Chile.

Los datos utilizados para los análisis de la cuenca fueron de precipitación y caudal comprendidos entre los años 1999 y 2008, debido principalmente a la disponibilidad de información.

#### **3.1. Cálculo de precipitaciones medias areales**

Para el cálculo de las precipitaciones medias areales de la cuenca, se utilizaron las precipitaciones diarias de 8 estaciones pluviométricas, algunas presentes en la cuenca y otras cercanas a ella (figura 2). En el cuadro 1, se presentan las referencias geográficas de cada una de estas estaciones.

Cuadro 1. Ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas en coordenadas UTM, Dátum WGS 1988 y Huso 18 y 19 Sur.

<b>Estación Pluviométrica</b>	<b>UTM Norte</b>	<b>UTM Este</b>
Diguillín	5.916.375	264.442
San Lorenzo	5.910.312	270.579
Mayulermo	5.921.477	243.466
Las Cruces	5.882.544	250.841
Atacalco	5.911.343	269.907
Las trancas	5.911.949	276.430
Chillancito	5.928.343	729.956
Pemuco	5.903.750	758.078

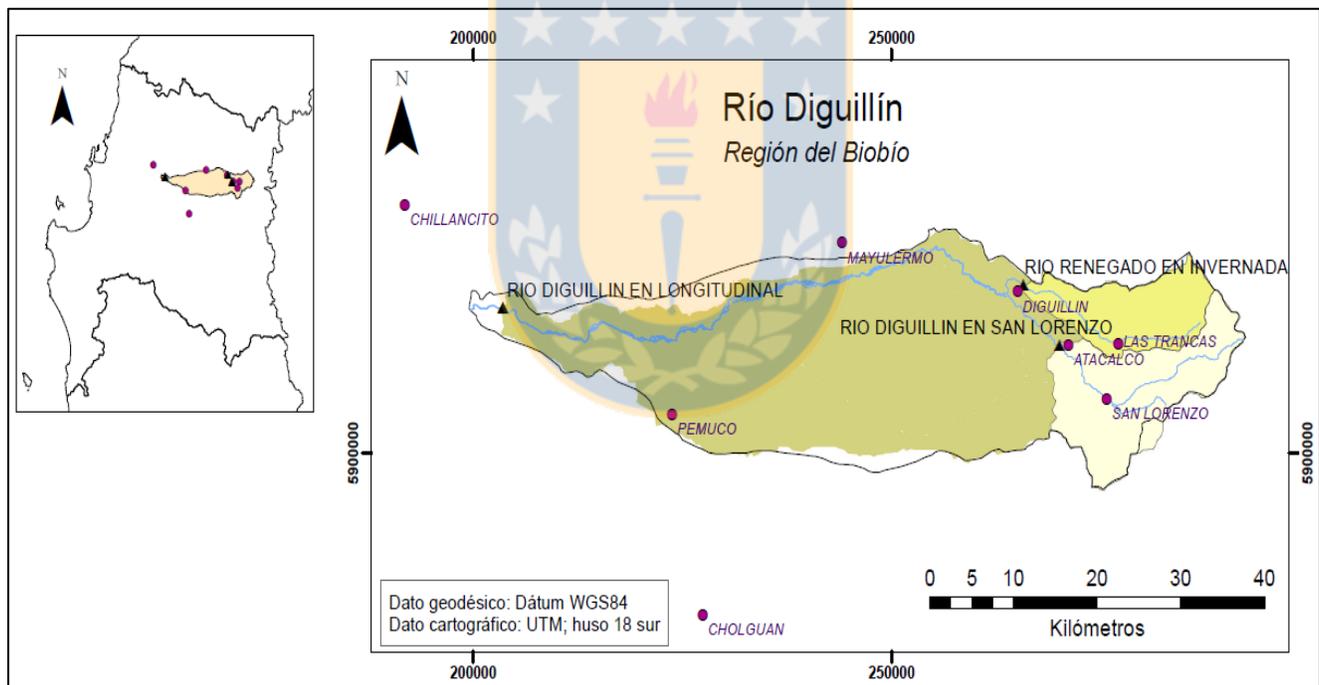


Figura 2. Plano estaciones y cuenca en estudio

El método utilizado para la estimación de las precipitaciones areales a nivel mensual, correspondió al de los Polígonos de Thiessen, ya que según Pizarro *et al.* (2003), luego de efectuar un análisis comparativo entre algunos métodos de estimación de precipitaciones areales y de acuerdo a los resultados, concluyó que

este método es recomendable para la estimación de precipitaciones en la Cordillera de los Andes, Cordillera de la Costa y Valle Central.

### 3.1. Estimación de escorrentía superficial

Por otra parte, para el análisis de las escorrentías superficiales y subterráneas, fue necesaria la construcción de los todos los hidrogramas comprendidos en el periodo de estudio tanto para la cuenca Diguillín Longitudinal como para la subcuenca San Lorenzo.

Existen diversos métodos de separación de hidrograma entre los que se mencionan el método arbitrario, el uso de la curva de recesión y el análisis de hidrogramas complejos usando la gráfica semilogarítmica (Linsley *et al.*, 1949).

En este caso, se aplicó el método propuesto por Linsley *et al* (1977) para la separación de la escorrentías directa y la liberación de reservas de aguas subterráneas, debido a que es el más usado en Chile y validado por Pizarro *et al* (2013). El método de Linsley consiste en un análisis visual de cada hidrograma, identificando la recesión anterior a la crecida, para luego prolongarla hasta el caudal punta mediante una ecuación de la recta y además, utilizando una segunda recta, desde el último punto de la recta anterior y el punto de inicio del periodo recesivo, tal como se muestra en la figura 3. Así,  $Q_p$  corresponde al caudal punta del Hidrograma,  $L_1$  a la recta de proyección del periodo recesivo anterior a la crecida,  $L_2$ , es la recta de proyección desde el caudal punta hasta el punto de inicio del periodo recesivo,  $V_c$  es el volumen de crecidas o escorrentía directa y  $V_r$  es el volumen de liberación de reserva almacenado durante de la crecida.

Por lo tanto, a través de la metodología de separación de los hidrogramas, se pueden establecer los caudales cuyo origen son las aguas subterráneas.

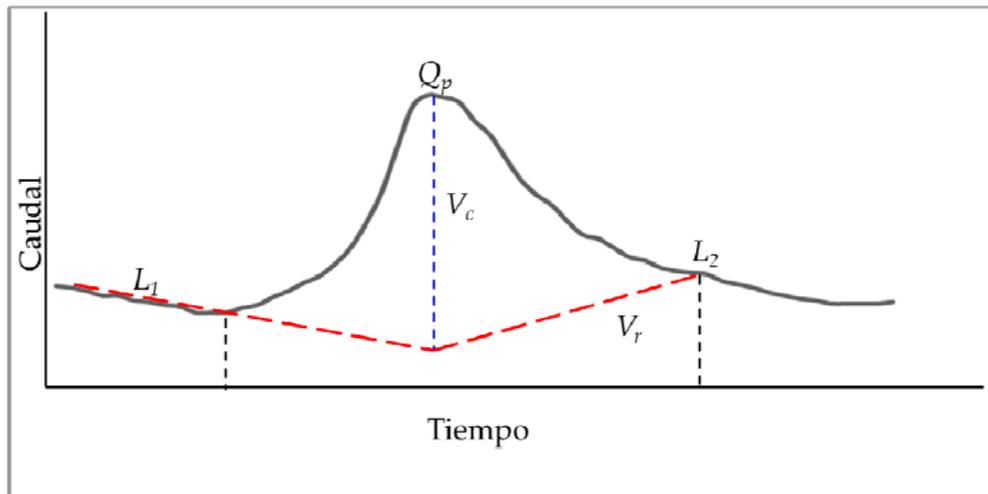


Figura 3. Esquema general de la separación de hidrogramas.

Una vez separados los hidrogramas en escorrentía superficial y subterránea y calculadas las precipitaciones mensuales areales, fue posible determinar el volumen de crecida o escorrentía directa, volumen de agua subterránea y coeficiente de escorrentía a nivel mensual.

Para la estimación del volumen de crecidas de cada hidrograma, se aplicó la siguiente fórmula:

$$V_{\text{crec}} = \sum [(Q_{\text{total}} - Q_{\text{sub}}) * \Delta t * 3600]$$

Donde  $Q_{\text{total}}$  corresponde al caudal aforado, mientras que  $Q_{\text{sub}}$  es el caudal subterráneo,  $\Delta t$  al intervalo de tiempo entre mediciones de caudal, en horas, y 3600 a la cantidad de segundos contenidos en una hora y como muestra la figura 4 (Chow *et al.*, 1994; Linsley *et al.*, 1977).

Debido a que se pretende analizar los valores mensuales, fue necesario sumar todos los volúmenes de crecidas de cada uno de los hidrogramas contenidos en un mes, para de esta forma, obtener el valor mensual del volumen de crecidas total.

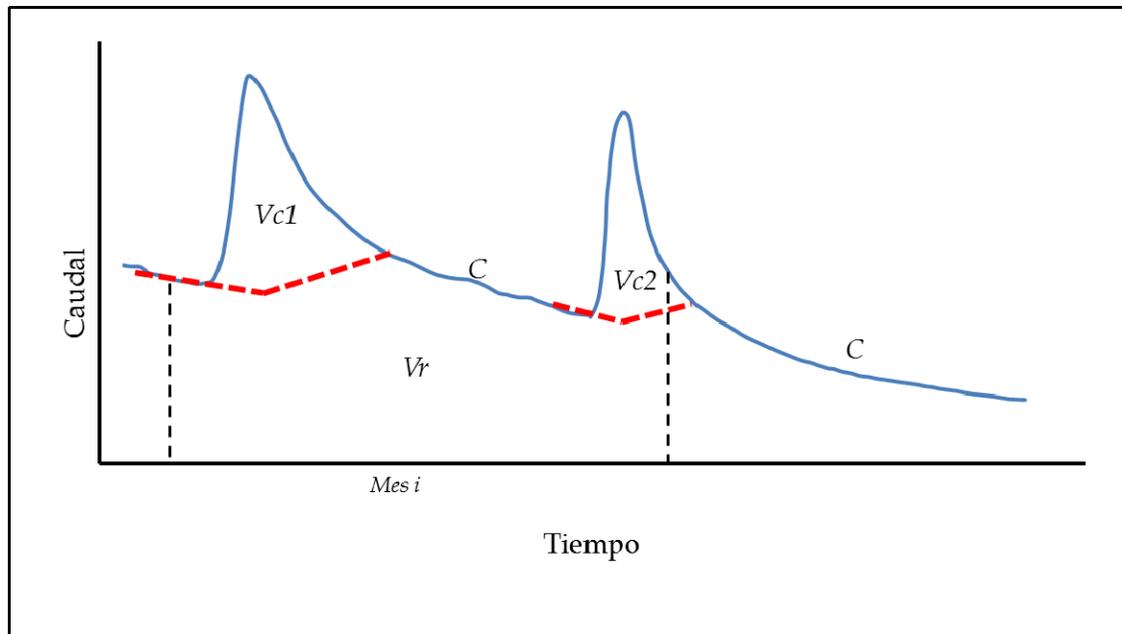


Figura 4. Esquema para el cálculo del volumen de crecida, donde Vc1 y Vc2 son volúmenes de crecida calculados en el mes i, C es la curva de agotamiento después de cada crecida y Vr es el volumen de reserva en el mes i.

Posterior al cálculo de los volúmenes de crecidas mensuales y para estimar el coeficiente de escorrentía para cada mes, se determinó la precipitación efectiva mediante la siguiente fórmula:

$$P_e = \frac{V_{crec}}{S}$$

Donde, Vcrec es el volumen de crecidas y S corresponde a la superficie de la subcuenca (Chow *et al.*, 1994; Linsley *et al.*, 1977). De esta manera, el Coeficiente de Escorrentía corresponderá a:

$$e = \frac{P_e}{P_{Areal}}$$

Donde,  $P_e$  es la precipitación efectiva y  $P_{areal}$ , la precipitación areal caída sobre la cuenca en el mismo periodo y calculada mediante Polígonos de Thiessen, (Chow *et al.*, 1994; Llamas, 1993).

### 3.2. Estimación de escorrentía subterránea

Por otra parte, para calcular la liberación de agua subterránea almacenada en la cuenca a nivel mensual, fue necesario identificar la curva de agotamiento que corresponde a la curva de descenso de cada crecida o hidrograma, para luego, determinar el punto de inicio del periodo recesivo después de cada crecida.

Al respecto Linsley *et al.*, (1977), propone como punto de inicio del periodo recesivo, el segundo punto de inflexión de la línea logarítmica recesiva de aguas del hidrograma. Sin embargo, para este estudio se utiliza el tercer punto de inflexión de la gráfica como punto de inicio del periodo recesivo, ya que en un estudio reciente de Pizarro *et al* (2013), se indica que a partir de este punto, la predicción es más exacta (figura 5).

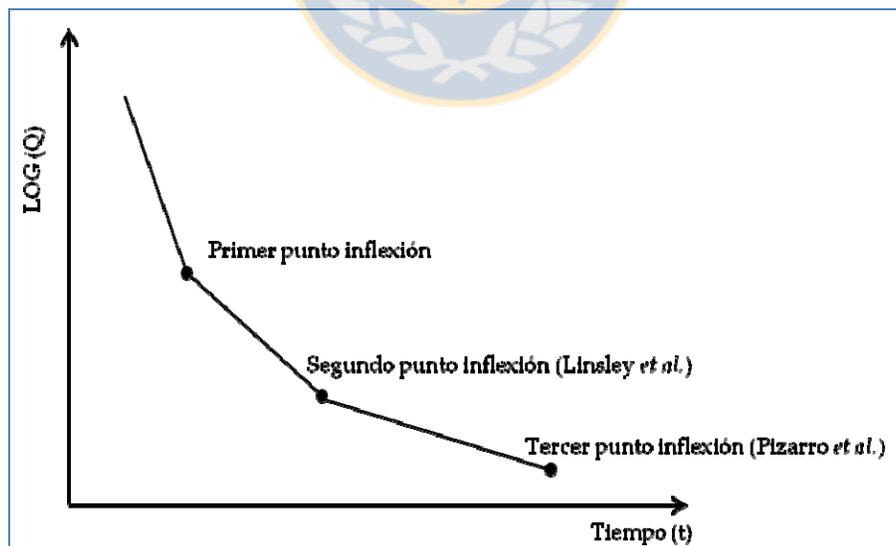


Figura 5: Ejemplo del periodo recesivo del hidrograma y sus puntos de inflexión.

Para la curva de agotamiento, existe una gran cantidad de modelos matemáticos; entre los más comunes se encuentran los modelos potenciales y exponenciales. A continuación y de forma general se presentan y describen, un modelo potencial y uno exponencial:

Modelo potencial:

$$Q(t) = Q_0(1 + \alpha * t)^2$$

Modelo Exponencial:

$$Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$$

Donde,  $Q(t)$  es el caudal,  $Q_0$  el caudal inicial de la curva de agotamiento  $t_0$ , mientras que  $\alpha$  es el coeficiente de agotamiento,  $t$  es el tiempo en horas,  $n$  un coeficiente adimensional y  $e$  es la constante de Neper.

Para este caso y según lo recomendado por Dewandel et al (2003) y Pizarro et al (2013), el modelo utilizado corresponde al modelo potencial (ecuación cuadrática), ya que éste modela de mejor forma el acuífero cuando el caudal horizontal en la cuenca es dominante. Estos modelos se ajustan de mejor forma a terrenos permeables. El modelo potencial está descrito por la siguiente ecuación:

$$Q(t) = Q_0 * e^{-\alpha(t-t_0)^n}$$

Donde  $Q(t)$  es el caudal en  $m^3/s$ ,  $Q_0$  el caudal inicial de la curva de agotamiento, correspondiente al tercer punto de quiebre,  $\alpha$  es el coeficiente de agotamiento y  $t$  es el tiempo en horas. Luego de aplicado este modelo a cada una de las curvas de agotamiento encontradas en el periodo, fue posible calcular el volumen de liberación de almacenamiento de agua subterránea a través de la integral del modelo Potencial, estimación que es por defecto, dado que no considera las evapotranspiraciones ocurridas en base a las reservas de agua, ni las aguas que han fluido hacia otras zonas distintas del cauce natural.

$$\text{Val Reservas al inicio del mes } t = \int_0^{\infty} \frac{Q_0}{(1 + \alpha * t)^2} dt - \int_0^{\text{mes}_t} \frac{Q_0}{(1 + \alpha * t)^2} dt$$

$$\text{Val Reservas al inicio del mes } t = \int_{\text{mes}_t}^{\infty} \frac{Q_0}{(1 + \alpha * t)^2} dt$$



### 3.3. Análisis de resultados

Una vez obtenidos los resultados de las variables de interés, a saber, escorrentía directa, caudal medio, volumen de agua subterránea liberada y coeficiente de escorrentía, se realizaron análisis usando promedios móviles, test de tendencia Mann-Kendall, análisis de los coeficientes de determinación y relación de proporcionalidad entre los volúmenes de agua subterránea a nivel mensuales con las precipitaciones y los caudales medios estimados. Estos análisis se realizaron para el periodo completo y para los periodos lluviosos y secos, que para efectos de este estudio, se concentran entre los meses de abril a septiembre y de octubre a marzo, respectivamente.

Con el análisis de los promedios móviles, se trata de establecer el comportamiento temporal de las variables de interés. Esta metodología permite investigar simultáneamente la estacionalidad en los datos y filtrar los efectos de la variabilidad interanual, lo que facilita la detección de tendencias, así como estudiar características y tendencias temporales y anuales de variables hidrológicas. (Anguileri *et al.*, 2014; Lin Lin *et al.*, 2014). La expresión matemática para calcular los Promedios Móviles es la siguiente:

$$PM = \frac{\sum Dt}{n}$$

Donde PM corresponde al Promedio Móvil, Dt el valor de la variable D en un tiempo t y n el número de periodos considerados.

Siguiendo con los análisis de tendencias, se aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall a cada una de las series de datos de las variables de interés. Este test muestra si existe una tendencia monotónicamente creciente o decreciente en los datos de series de tiempo, basándose en el ranking de los datos. Es un test robusto a la influencia de los valores extremos y adecuado para la aplicación de

variables sesgadas (Karpouzou et al., 2010). Asimismo, este método posee dos ventajas; primero, que no requiere que los datos se distribuyan normalmente y segundo, tiene baja sensibilidad a las interrupciones bruscas debido a la serie temporal homogénea (Karmeshu, 2012). Sin embargo, la capacidad de esta prueba para detectar tendencias se ve influenciada por la magnitud de la tendencia, el tamaño y la cantidad de variación dentro de la muestra, por lo que se espera que mientras más grande sea la magnitud de la tendencia absoluta, más significativa es la prueba (Hamed, 2008; Yue S. *et al.*, 2002).

Por otra parte, para verificar la influencia del caudal y de la precipitación sobre las liberación de reservas mensuales de las cuencas en estudio, se analizaron gráficos de dispersión y se calculó el coeficiente de determinación, ya que de esta manera, se puede señalar qué proporción de la variación total de los datos es explicada por un modelo, el que puede tratarse de una regresión, modelo técnico de una base física, matemático, estocástico o un modelo de simulación, por lo que su aplicación no es limitada a una regresión, sino que a cualquier modelo (Ostle *et al.*, 1988).

Asimismo, se calcularon coeficientes de proporción entre los volúmenes de agua subterránea liberada y la precipitación y posteriormente con los caudales, los que indican qué proporción de precipitaciones y caudales, representan las aguas subterráneas.

Finalmente, se realizó un análisis de los coeficientes de escorrentía mensuales y su relación con las aguas subterráneas en el mismo periodo, entendiendo que el coeficiente de escorrentía indica qué proporción de precipitación es la que escurre, o también definido como la fracción de precipitación que constituye la escorrentía directa, (Del Giudice *et al.* 2014; Chow *et al.*, 1994).

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Determinación de variables de estado hidrológicas**

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos en el presente estudio, acompañados de su discusión y análisis. De la misma forma y debido a que la información calculada se presenta en diferentes unidades, como volumen, metros cúbicos por segundo y milímetros, se procedió a transformar todas las variables a una misma unidad, en este caso milímetros, para así facilitar su posterior análisis.

En el cuadro 2 se presentan los resultados de los volumen de agua subterránea, escorrentía directa, precipitación areal, caudal y coeficientes de escorrentía mensuales para la subcuenca San Lorenzo y la cuenca de Diguillín Longitudinal, todo ellos en milímetros.



Cuadro 2. Valores mensuales de precipitación, caudal, escorrentía directa, volumen de agua subterránea y coeficiente de escorrentía para la cuenca Diguillín Longitudinal y la subcuenca San Lorenzo, en milímetros.

Año	Meses	Diguillín en San Lorenzo					Diguillín en Longitudinal				
		Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coeficiente Escorrentía	Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coeficiente Escorrentía
1999	Enero	8,12	21	6,87	0	0,85	10,81	0	0,00	0	0,00
	Febrero	51,42	14,48	2,67	95,54	0,05	38,28	1,15	0,22	0	0,01
	Marzo	5,55	16,71	0	22,99	0,00	7,48	1,58	0,00	12,5	0,00
	Abril	72,97	13,65	61,18	83,06	0,84	35,17	1,66	0,15	0	0,00
	Mayo	358,48	110,73	8,69	170,97	0,02	291,83	42,9	23,67	1,68	0,08
	Junio	514,90	278,88	192,31	210,68	0,37	372,88	180,41	92,05	89,75	0,25
	Julio	105,52	147,98	78,95	260	0,75	105,70	158,99	10,59	186,38	0,10
	Agosto	451,80	333,22	228,46	159,54	0,51	300,79	258,95	53,10	210,79	0,18
	Septiembre	474,10	421,22	76,83	130,84	0,16	292,91	457,83	138,49	435,48	0,47
	Octubre	40,21	176,2	59,87	832,73	1,49	34,88	105,69	5,47	255,67	0,16
	Noviembre	12,44	112,73	0	883,84	0,00	8,94	23,53	1,69	24,23	0,19
	Diciembre	6,33	60,16	0	234,51	0,00	4,98	2,66	0,00	3,81	0,00
2000	Enero	0,00	37,48	0	5,54	0	0,00	0,5	0,06	0,74	0,00
	Febrero	271,65	74,76	59,98	521,66	0,22	178,79	19,56	3,77	39,12	0,02
	Marzo	7,05	39,62	2,17	308,18	0,31	5,14	2,85	0,00	6,92	0,00
	Abril	103,90	31,24	6,31	330,1	0,06	55,70	2,03	0,11	0,08	0,00
	Mayo	142,32	63,32	25,19	176,63	0,18	112,21	113,6	11,82	18,24	0,11
	Junio	1072,42	695,84	634,89	332,18	0,59	797,26	458,82	339,42	109,06	0,43
	Julio	230,73	340,33	0,04	198,08	0,00	137,99	365,75	40,65	164,28	0,29
	Agosto	362,97	368,66	159,64	153,04	0,44	247,00	247,86	28,29	332,42	0,11
	Septiembre	440,52	400,79	146,95	275,97	0,33	358,56	423,57	101,13	324,14	0,28
	Octubre	83,87	267,29	99,72	521,42	1,19	50,43	160,04	0,00	274,72	0,00
	Noviembre	36,48	168,33	4,23	453,31	0,12	27,04	56,24	0,00	40,26	0,00
	Diciembre	63,49	132,63	5,56	433,19	0,09	33,39	17,62	0,00	36,02	0,00
2001	Enero	118,37	106,22	16,32	312,9	0,14	84,23	11,84	2,75	11	0,03
	Febrero	19,09	68,72	5,97	526,83	0,31	9,19	7,42	0,42	27,21	0,05
	Marzo	15,59	54,18	0	458,56	0,00	12,63	6,09	0,79	58,96	0,06
	Abril	129,70	45,11	5,91	162,25	0,05	109,61	11,03	14,27	59	0,13
	Mayo	654,14	494,63	349,72	126,94	0,53	508,76	303,24	233,20	32,49	0,46
	Junio	398,77	364,74	207,24	248,5	0,52	242,14	309,25	94,57	225,02	0,39
	Julio	1071,08	914,88	562,89	253,15	0,53	686,48	872,81	449,44	354,12	0,65
	Agosto	305,77	414,71	294,49	690,12	0,96	269,40	404,11	126,15	337,44	0,47
	Septiembre	64,97	167,35	29,91	660,9	0,46	41,94	188,5	0,79	410,24	0,02
	Octubre	48,57	121,01	0	1729,81	0,00	50,64	78,11	0,63	92,92	0,01
	Noviembre	94,30	89,57	7,11	595,1	0,08	54,15	19,43	1,49	9,7	0,03
	Diciembre	0,00	76,31	0	593,9	0,00	0,00	7	0,00	29,81	0,00

Cuadro 2. (Continuación) Valores mensuales de precipitación, caudal, escorrentía directa, volumen de agua subterránea y coeficiente de escorrentía para la cuenca Diguillín Longitudinal y la subcuenca San Lorenzo, en milímetros.

Año	Meses	Diguillín en San Lorenzo					Diguillín en Longitudinal				
		Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coefficiente Escorrentía	Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coefficiente Escorrentía
2002	Enero	0,00	56,89	0	396,16		0,00	4,7	0,00	18,45	0,00
	Febrero	241,13	62,4	26,61	422,42	0,11	204,80	11,64	12,21	2,47	0,06
	Marzo	203,47	150,47	109,49	124,54	0,54	148,30	49,46	18,79	55,65	0,13
	Abril	119,62	84,44	2,73	3556,26	0,02	81,16	47,83	5,10	518,57	0,06
	Mayo	397,85	236,14	100,14	123,39	0,25	343,82	155,39	59,60	101,05	0,17
	Junio	382,07	280,08	121,58	106,54	0,32	289,16	326	137,67	343,76	0,48
	Julio	230,22	238,96	92,34	419,48	0,40	222,16	247,33	81,09	325,71	0,36
	Agosto	604,77	659,43	544,78	5499,56	0,90	437,64	587,61	233,02	262,33	0,53
	Septiembre	176,87	228,63	336,59	1063,15	1,90	153,14	344,04	34,20	331,02	0,22
	Octubre	483,58	539,22	49,58	266,47	0,10	343,21	476,61	133,86	402,21	0,39
	Noviembre	129,42	240,1	21,85	1476,48	0,17	96,99	205,33	21,91	317,13	0,23
	Diciembre	57,32	145,05	0	807,49	0,00	33,74	81,04	2,19	43,05	0,06
2003	Enero	52,63	94,25	18,3	687,87	0,35	29,27	30,43	2,73	41,9	0,09
	Febrero	0,00	57,4	1,71	422,95		0,00	13,34	2,33	223,67	0,00
	Marzo	4,85	48,09	0	341,26	0,00	12,00	17,45	0,28	36,52	0,02
	Abril	24,41	36,49	0	221,5	0,00	29,25	23,39	3,40	24,54	0,12
	Mayo	144,42	44,81	8,27	176,71	0,06	137,02	36,54	7,36	73,51	0,05
	Junio	640,32	625,38	574,02	11,87	0,90	425,64	329,56	168,76	118,29	0,40
	Julio	270,64	293,6	218,2	113,25	0,81	179,33	229,83	66,81	188,14	0,37
	Agosto	178,33	138,5	32,01	176,42	0,18	124,19	137,75	33,98	760,31	0,27
	Septiembre	195,31	172,16	38,43	335,75	0,20	154,73	162,56	28,54	185,72	0,18
	Octubre	189,43	193,36	69,74	173,91	0,37	112,45	144,97	28,84	98,08	0,26
	Noviembre	116,02	116,34	28,01	157,06	0,24	97,95	70,05	7,27	64,61	0,07
	Diciembre	66,69	67,73	12,85	294,62	0,19	39,15	29,98	0,00	49,65	0,00
2004	Enero	0,00	38,27	0	164,13		0	15,88	0	122,81	0,00
	Febrero	20,58	23,23	0	193,02	0,00	14,20	13,43	0	6535,29	0,00
	Marzo	138,14	19,42	0	155,35	0,00	77,92	15,79	0,81	182,82	0,01
	Abril	300,75	172,59	123,3	92,46	0,41	284,38	87,61	32,72	70,19	0,12
	Mayo	95,19	71,11	17,99	278,92	0,19	54,72	51,06	2,42	136,55	0,04
	Junio	476,07	334,48	205,82	188,49	0,43	347,70	218,24	86,98	69,25	0,25
	Julio	436,20	309,17	172,9	487,85	0,40	358,50	305,59	46,88	222,07	0,13
	Agosto	163,28	167,62	25,74	564,18	0,16	135,01	222,39	16,05	160,31	0,12
	Septiembre	162,47	240,65	151,71	317,1	0,93	135,29	206,97	35,53	375,72	0,26
	Octubre	222,48	189,3	120,58	747,84	0,54	145,27	129,72	25,75	114,79	0,18
	Noviembre	134,77	178,49	55,34	90,18	0,41	80,80	109,56	11,00	58,98	0,14
	Diciembre	122,50	80,03	0	52,37	0,00	60,45	22,93	5,13	2,83	0,08

Cuadro 2. (Continuación) Valores mensuales de precipitación, caudal, escorrentía directa, volumen de agua subterránea y coeficiente de escorrentía para la cuenca Diguillín Longitudinal y la subcuenca San Lorenzo, en milímetros.

Año	Meses	Diguillín en San Lorenzo					Diguillín en Longitudinal				
		Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coficiente Escorrentía	Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coficiente Escorrentía
2005	Enero	10,75	49,78	0	285,31	0,00	2,57	9,24	0,00	338,48	0,00
	Febrero	0,00	29,36	0	217,78		0,00	3,52	0,00	0,15	0,00
	Marzo	50,18	27,43	0	464,04	0,00	32,73	9,87	0,00	0	0,00
	Abril	25,60	24,14	0	995,33	0,00	23,91	16,01	1,31	42,49	0,05
	Mayo	490,68	283,21	300,21	174,18	0,61	479,64	147,81	78,08	53,02	0,16
	Junio	602,39	484,57	568,62	244,66	0,94	526,42	371,99	167,26	126,62	0,32
	Julio	420,79	478,94	198,63	323,69	0,47	308,95	501,78	136,85	338,06	0,44
	Agosto	605,04	553,44	214,66	158,45	0,35	399,27	474,2	93,17	223,89	0,23
	Septiembre	75,65	186,69	26,95	582,68	0,36	67,39	228,57	16,67	347,03	0,25
	Octubre	48,64	115,02	0	753,95	0,00	33,00	86,69	22,10	44,24	0,67
	Noviembre	99,10	109,24	73,22	100,16	0,74	54,41	42,05	15,46	10,61	0,28
	Diciembre	64,54	100,57	11,17	297,98	0,17	49,56	31,48	5,80	18,58	0,12
2006	Enero	65,22	67,61	17,42	298,04	0,27	46,18	21,77	3,00	43,16	0,07
	Febrero	31,12	39,05	0	185,37	0,00	10,49	10,72	0,00	95,46	0,00
	Marzo	25,17	27,09	0	212,44	0,00	28,08	12,39	0,00	307,02	0,00
	Abril	162,71	68,71	41,54	57,14	0,26	125,92	34,61	10,35	19,93	0,08
	Mayo	248,06	137,94	108,49	60,98	0,44	138,46	70,56	34,57	50,92	0,25
	Junio	748,42	641,66	472,75	5351,25	0,63	473,18	395,97	170,98	191,39	0,36
	Julio	498,37	664,06	471,45	327,82	0,95	476,04	638,94	306,95	168,49	0,64
	Agosto	275,92	388,3	193,27	297,92	0,70	275,96	462,45	112,01	793,27	0,41
	Septiembre	233,63	323,23	103,41	218,28	0,44	133,83	312,06	48,94	439,65	0,37
	Octubre	204,81	271,58	84,94	426,91	0,41	157,56	228,06	26,25	155,94	0,17
	Noviembre	6,50	143,86	6,79	459,38	1,04	7,34	95,08	10,90	124,16	1,48
	Diciembre	176,99	114,8	6,27	251,12	0,04	132,18	40,63	0,00	30,37	0,00
2007	Enero	21,18	78,45	0	309,05	0,00	11,23	20,47	0,00	121,13	0,00
	Febrero	82,58	50,37	3,18	233,03	0,04	48,14	16,64	3,53	34,36	0,07
	Marzo	60,79	44,25	0	697,26	0,00	17,08	19,53	2,26	29,89	0,13
	Abril	128,66	40,96	0	231,29	0,00	80,15	26,82	7,22	5,12	0,09
	Mayo	81,03	41,88	3,09	2399,46	0,04	77,62	40,91	12,92	206,08	0,17
	Junio	189,72	61,5	180,45	137	0,95	133,36	61,81	13,25	104,89	0,10
	Julio	404,46	326,1	72,01	3211,84	0,18	315,86	260,11	27,59	443,92	0,09
	Agosto	166,74	129,92	0	278,11	0,00	159,89	184,74	35,04	598,87	0,22
	Septiembre	83,27	198,05	32,27	555,33	0,39	60,38	164,09	14,27	225,16	0,24
	Octubre	81,73	211,87	62,86	150,18	0,77	62,50	87,79	10,49	40,25	0,17
	Noviembre	15,28	134,14	0	702,35	0,00	5,06	34,8	0,31	64,82	0,06
	Diciembre	45,60	68,86	0	271,63	0,00	32,11	25,61	2,67	27,62	0,08

Cuadro 2. (Continuación) Valores mensuales de precipitación, caudal, escorrentía directa, volumen de agua subterránea y coeficiente de escorrentía para la cuenca Diguillín Longitudinal y la subcuenca San Lorenzo, en milímetros.

Año	Meses	Diguillín en San Lorenzo					Diguillín en Longitudinal				
		Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coefficiente Escorrentía	Precipitación Areal	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea	Coefficiente Escorrentía
2008	Enero	11,47	38,72	0	249,87	0,00	8,85	10,12	0,00	57,71	0,00
	Febrero	31,71	26,72	0	157,52	0,00	10,63	9,96	0,00	232,94	0,00
	Marzo	17,30	23,14	0	294,98	0,00	6,77	11,73	0,00	93,61	0,00
	Abril	141,74	26,22	6,51	244,87	0,05	82,47	11,64	0,64	48,67	0,01
	Mayo	586,71	585,5	601,6	170,63	1,03	554,29	316,98	224,11	105,6	0,40
	Junio	224,99	238,79	117,04	304,3	0,52	157,64	197,68	29,50	295,25	0,19
	Julio	298,65	252,17	386,45	367,35	1,29	266,02	215,42	46,14	234,93	0,17
	Agosto	352,84	452,53	71,24	302,45	0,20	330,97	415,78	53,05	22,62	0,16
	Septiembre	82,37	205,15	37,69	757,25	0,46	67,08	229,77	25,05	23,81	0,37
	Octubre	37,17	121,46	0	130,68	0,00	40,31	60,77	1,66	78,66	0,04
	Noviembre	31,66	93,62	6,37	833,46	0,20	22,57	15,71	0,00	69,74	0,00
	Diciembre	8,35	59,15	0	268,68	0,00	8,78	11,01	0,00	25,97	0,00

#### 4.2. Comportamiento temporal de las variables de interés a través de Promedios Móviles

En relación a los promedios móviles y para el periodo completo de las variables de interés (figura 6), solo es posible visualizar que en general para la subcuenca San Lorenzo, las fluctuaciones de precipitación, escorrentía directa y caudal están en función de los periodos de lluvias y de estiaje, y que los volúmenes liberados de agua subterránea presentan en algunos periodos, aumentos en sus valores medios sin relación con las otras variables en cuanto a la magnitud de la variación.

Para la cuenca Diguillín Longitudinal, las fluctuaciones de las variables no evidencian un comportamiento en particular, aunque son más equivalentes entre ellas.

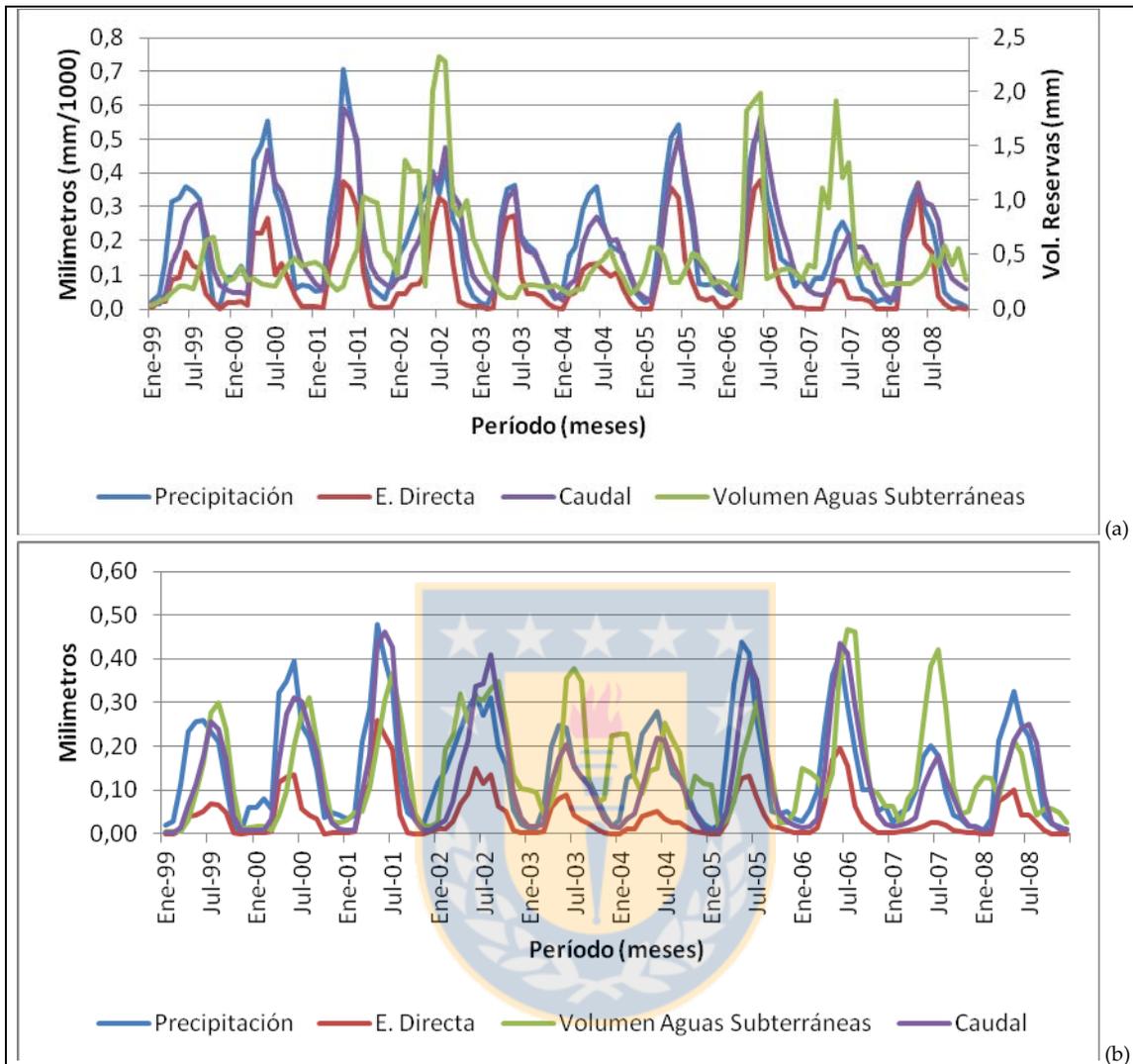


Figura 6. Promedios móviles de precipitación, caudal, volumen de agua subterránea y volumen de crecidas en la subcuenca San Lorenzo (a) y cuenca Diguillín Longitudinal (b), durante el periodo de 10 años.

Se realiza el mismo análisis y por separado para los periodos húmedos y secos (figura 7). Para la cuenca Diguillín Longitudinal, tanto en el periodo lluvioso como en el periodo seco, se observa que en general todas las variables siguen el mismo comportamiento temporal.

Para el caso de la subcuenca San Lorenzo, durante los dos periodos los volúmenes de agua subterránea liberada son superiores a las otras variables hidrológicas. Sin embargo, es durante el período de seco donde se observan los valores más altos en relación a los volúmenes de agua subterránea, mientras que en el periodo lluvioso, estos volúmenes tienden a mantenerse dentro del rango de las precipitaciones y caudal, para luego, en el periodo seco, los volúmenes de agua subterránea se ven incrementados, producto de los aportes de las lluvias invernales y de los deshielos.

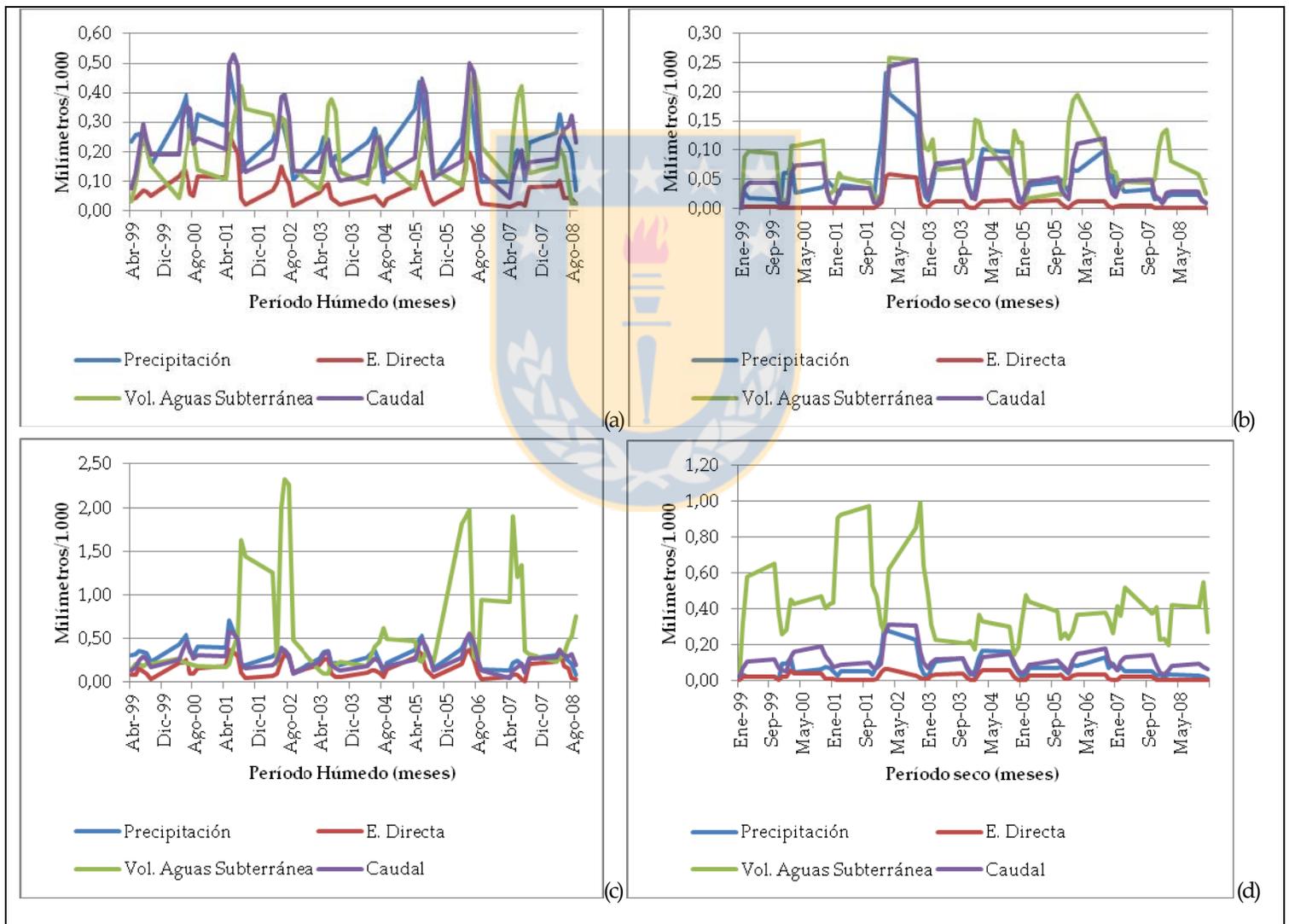


Figura 7: Promedios móviles de precipitación, caudal, volumen de agua subterránea y volumen de crecidas en periodo húmedo: (a) Cuenca Diguillín en

Longitudinal, (b) Subcuenca San Lorenzo y período seco: (c) Cuenca Diguillín en Longitudinal y (d) Subcuenca San Lorenzo.

Con respecto al test no paramétrico Mann-Kendall, en los cuadros 3 y 4, se presentan los resultados del análisis Mann - Kendall para las dos y para cada mes del periodo en estudio.

Cuadro 3. Tendencia (valores Q) de la precipitación, caudal, escorrentía directa y volumen de agua subterránea mensual, en la subcuenca San Lorenzo.

<b>Meses</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Caudal</b>	<b>Escorrentía Directa</b>	<b>Vol. de Agua Subterránea</b>
Enero	-7,86	2,46	1,24	5,18
Febrero	-2,54	-5,66	-0,46	-41,23
Marzo	2,48	-1,43	53,6	28,54
Abril	6,60	1,38	-0,40	2,44
Mayo	-8,75	3,88	13,88	0,53
Junio	-32,21	-10,08	-8,45	6,09
Julio	31,08	11,57	33,65	21,15
Agosto	-15,05	3,27	-18,71	4,22
Septiembre	-32,83	-12,92	-5,57	39,90
Octubre	-0,30	-4,06	2,46	-78,00
Noviembre	-0,60	-3,5	4,52	-5,59
Diciembre	0,64	-1,71	-0,36	-13,17

*Nota:* Los valores de tendencia negativa se presentan en color rojo y los positivas en color negro.  
 Nivel de significancia: += 0,1; \*= 0,05; \*\*= 0,01; \*\*\*= 0,001

Cuadro 4. Tendencia (valores Q) de la precipitación, caudal, escorrentía directa y volumen de agua subterránea mensual, en la cuenca Diguillín Longitudinal.

Meses	Precipitación	Caudal	Escorrentía Directa	Vol. de Agua Subterránea
Enero	-2,37	1,29	0,29	9,55
Febrero	-2,46	0,34	0,41	7,88
Marzo	0,74	1,10	0,12	9,01
Abril	3,34	2,30	0,19	-2,83
Mayo	0,48	1,42	1,39	15,40
Junio	-23,91	-9,16	-9,29	6,14
Julio	18,73	2,23	1,55	7,13
Agosto	1,31	1,45	-0,00	2,18
Septiembre	-22,72	-18,22	-5,84	-21,17
Octubre	1,72	-6,63	-2,75	-19,79*
Noviembre	-2,28	-1,79	0,57	4,68
Diciembre	3,31	1,16	0,38	-0,36

Nota: Los valores de tendencia negativa se presentan en color rojo y los positivas en color negro.  
 Nivel de significancia: += 0,1; \*= 0,05; \*\*= 0,01; \*\*\*= 0,001

De acuerdo a los valores Q de la prueba de Man Kendall, para la cuenca Diguillín Longitudinal y la subcuenca San Lorenzo, no se observan tendencias significativas, lo que indica que no existen evidencias suficientes para establecer un patrón de comportamiento que varíe con el tiempo, para las variables en estudio.

#### 4.3. Influencia de las variables de estado hidrológicas sobre las aguas subterráneas a nivel mensual

Con el fin de analizar si los volumen de agua subterránea liberada de la cuenca en estudio, son dependientes en alguna medida de las precipitaciones o los caudales, se realizó un análisis con los coeficientes de determinación. Así, en las figuras 8 se muestran los gráficos de dispersión para el periodo húmedo y el periodo seco

para las reservas como función de las precipitaciones y caudales de la cuenca Diguillín Longitudinal y subcuenca San Lorenzo.

Para el la cuenca Diguillín Longitudinal y para el periodo húmedo, la relación de las precipitaciones con las aguas subterráneas liberada presenta un coeficiente de determinación de 0,02%, indicando que las precipitaciones explican en una proporción mínima el comportamiento de los volúmenes de agua subterránea. Para el caso del caudal, éste parece explicar de mejor manera el comportamiento de las aguas subterráneas, aunque la relación encontrada es débil.

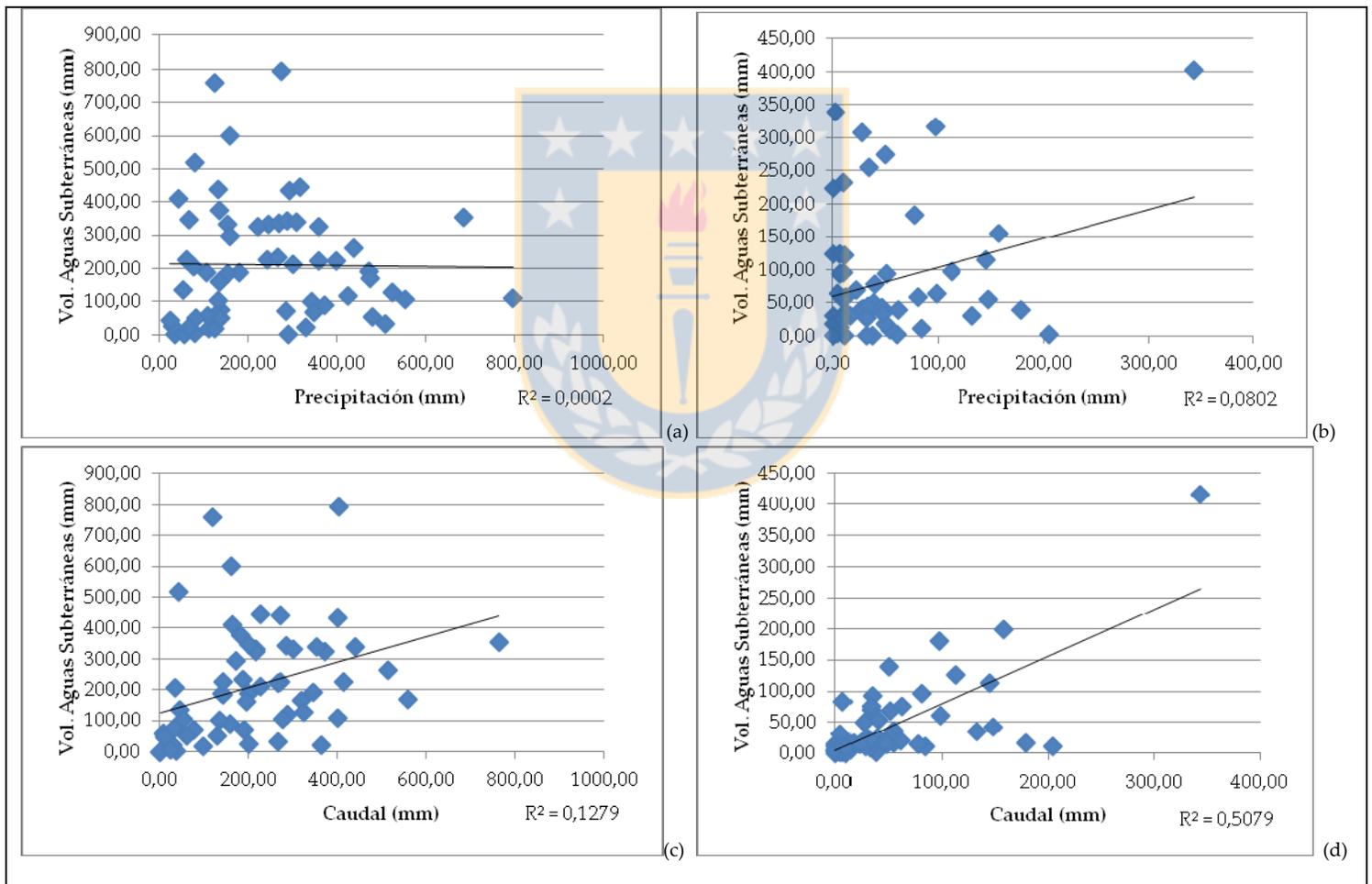


Figura 8. Gráficos de dispersión entre precipitación con respecto a los volúmenes de agua subterránea para la cuenca Diguillín Longitudinal: (a) periodo lluvioso y

(b) periodo seco. Dispersión entre caudal con respecto a los volúmenes de agua subterránea:(c) periodo lluvioso y (d) periodo seco.

Durante en el periodo seco, las precipitaciones explican el comportamiento de las reservas en un 8%, y al igual que en el periodo húmedo es considerada una relación débil. En cuanto a los caudales, se observa un coeficiente de determinación de 51%, lo que se traduce en que los caudales son los que parecen explicar de mejor forma el comportamiento de las aguas subterráneas liberadas, probablemente por el aumento en los niveles de caudal producto de los deshielos.

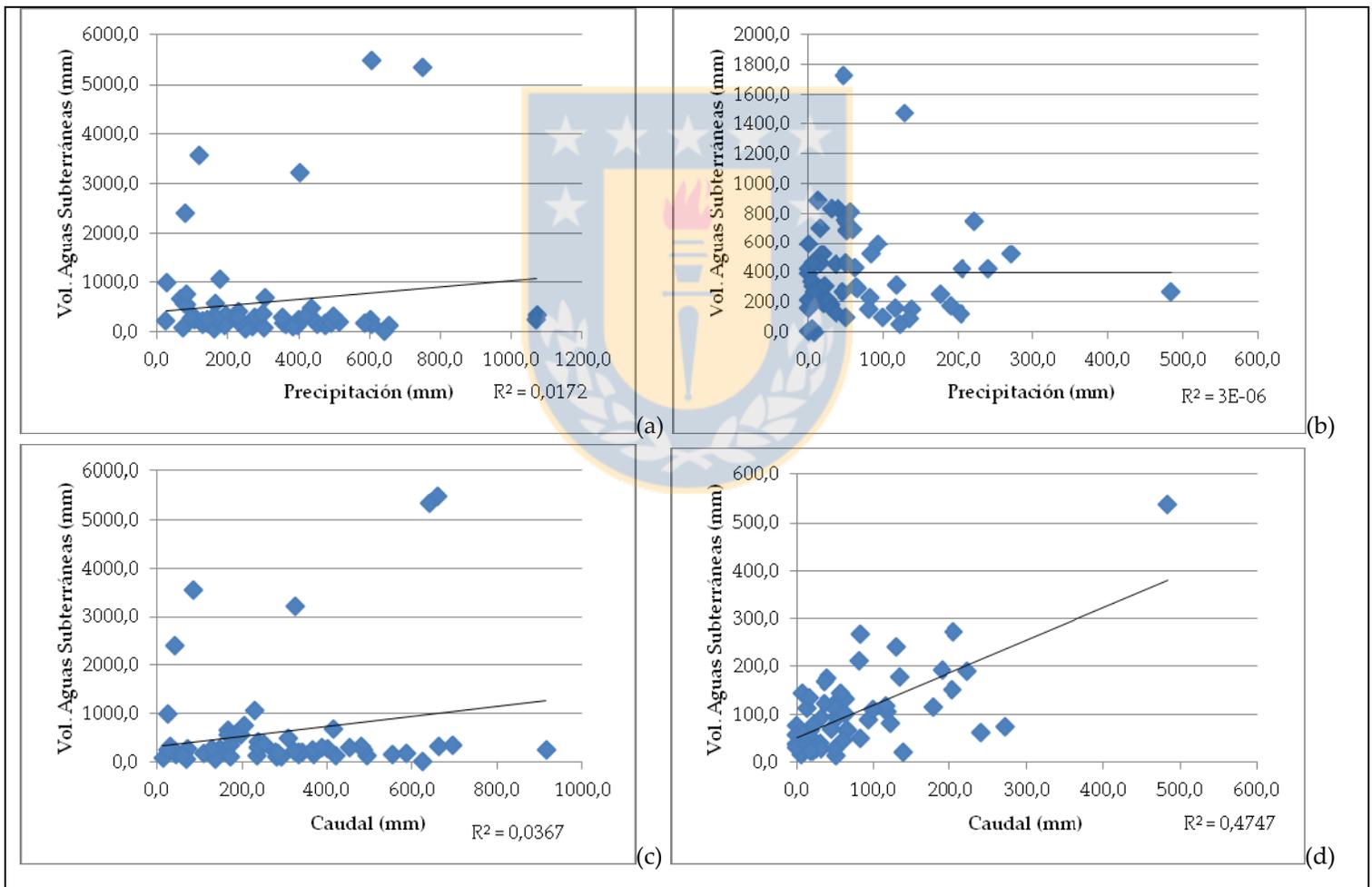


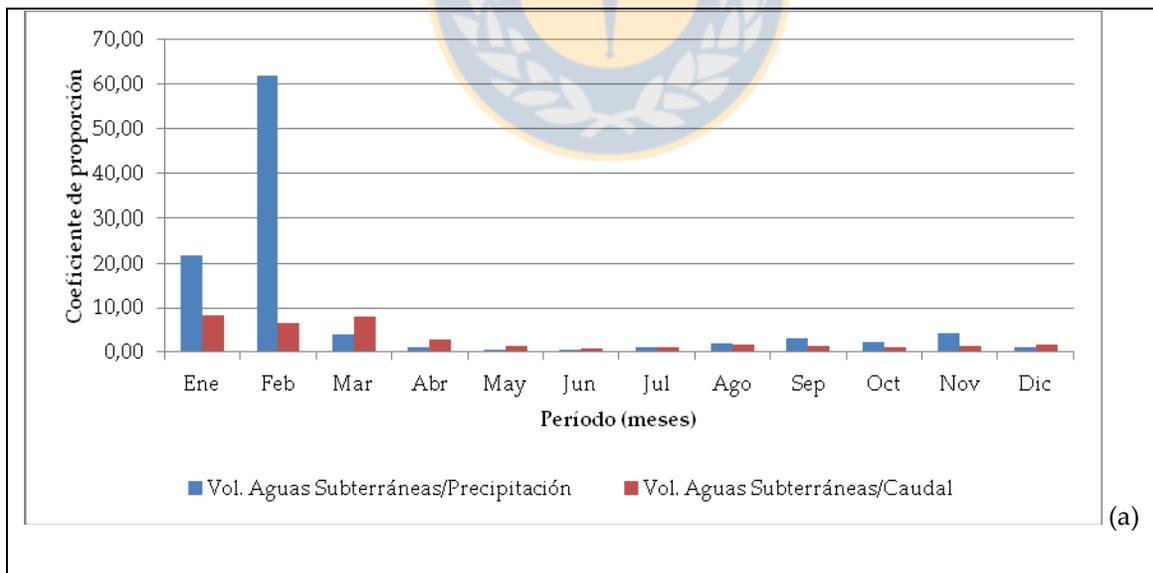
Figura 9. Gráficos de dispersión entre precipitación con respecto a los volúmenes de agua subterránea para la subcuenca San Lorenzo:(a) periodo lluvioso y (b)

periodo seco. Dispersión entre caudal con respecto a los volúmenes de agua subterránea: (c) periodo lluvioso y (d) periodo seco.

Para el caso de la subcuenca San Lorenzo y para el periodo húmedo, las precipitaciones explican alrededor de un 2% la variabilidad de las aguas subterráneas, mientras que el caudal lo explica en un 4%, lo que en ambos casos es considerado una relación débil (figura 9).

En el caso del caudal, este presenta un mayor porcentaje de explicación de la variabilidad de las reservas, correspondiente a un 40%, hecho que se condice con lo observado a nivel de la cuenca total.

Por otra parte, para evidenciar qué proporción de las precipitaciones y caudal, representan las aguas subterráneas a nivel de los diferentes meses en estudio, se estableció el coeficiente de proporción entre el volumen de agua subterránea y las precipitaciones, y entre el volumen de agua subterránea y caudales (figura 10).



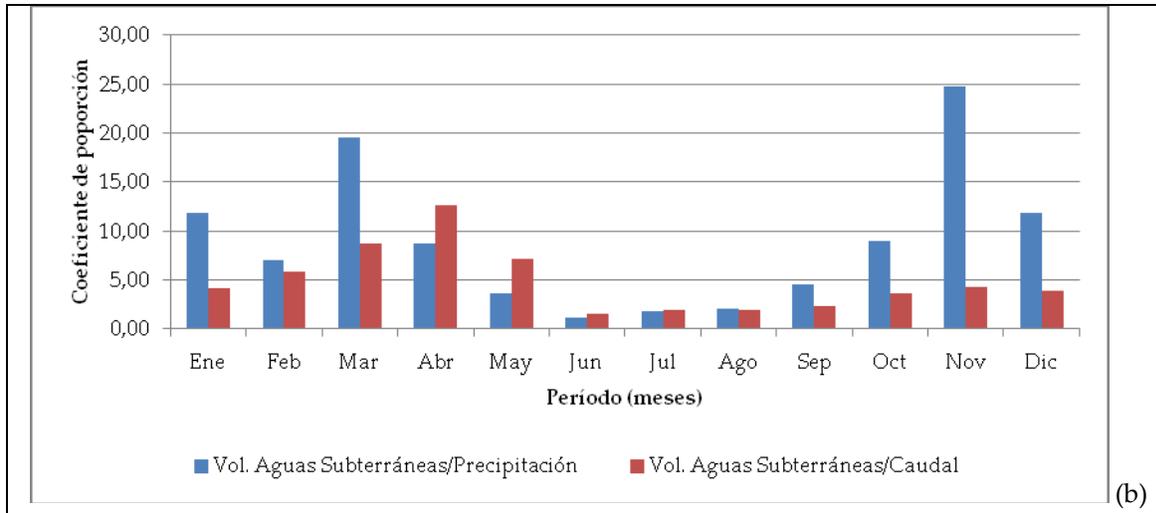


Figura 10: Coeficientes de proporción de las reservas o volumen de agua subterránea a nivel mensuales respecto a la precipitación y caudal (a) para la cuenca Diguillín Longitudinal y (b) para la subcuenca San Lorenzo.

En la subcuenca San Lorenzo, se presenta para todos los meses valores de coeficientes de proporción entre la liberación de aguas subterráneas y precipitaciones y caudales respectivamente, mayores a 1; lo que ocurre debido a que el volumen de agua subterránea es superior a las precipitaciones. En el caso de las precipitaciones, en los meses invernales no existe una variación amplia, mientras que durante el periodo estival, se aprecia que las reservas o volumen de agua subterránea son mucho más altas que las precipitaciones, como proporción, lo que denota que aunque las precipitaciones hayan disminuido, las reservas se mantienen por efecto de los aportes por derretimiento nival principalmente.

En relación al caudal, este presenta un comportamiento mucho más errático, tendiendo a mantenerse en proporción 1:1 durante los meses de invierno, y a aumentar considerablemente durante los meses estivales, donde se presume es el periodo en que las reservas se encuentran constituidas tanto por precipitaciones como por agua producida por deshielos. Sin embargo, en los meses que se puede señalar que no hay deshielos (marzo, abril y mayo) y donde se denota menor influencia de las precipitaciones en las reservas, se podría decir que existe otros

aportes de agua subterránea que permiten mantener estos niveles altos de las reservas o volúmenes de agua subterránea presenten en la subcuenca.

Para la cuenca Diguillín Longitudinal, el coeficiente de proporción relacionados con las precipitaciones y el caudal, presenta los valores más altos durante los meses de enero y febrero, lo que coincide con el periodo agrícola, la presencia de bajas precipitaciones y altas extracciones de aguas para regadío. Por lo tanto, como durante los meses de estiaje la precipitación es baja, pero se tiene caudal, éste se relaciona entonces con las aguas subterráneas.

#### **4.4. Relación entre reservas mensuales y coeficiente de escorrentía**

Para la relación entre las reservas y el coeficiente de escorrentía, se esperaría que ambos mantuvieran tendencias temporales opuestas, ya que si el coeficiente de escorrentía es cercano a 1, esto significaría que prácticamente todo lo que precipita escurre, y consecuentemente tasas de infiltración bajas y reservas sin variaciones positivas (aumento). Sin embargo, tanto para la cuenca Diguillín Longitudinal y la subcuenca San Lorenzo (figura 11), se presentan relaciones parecidas, infiriendo que las precipitaciones son significativas en la generación de las reservas.

Cabe destacar que en ambas gráficas y a lo largo del tiempo, se observan valores de coeficiente de escorrentía superiores a 1, siendo más frecuente encontrar estos valores en los periodos secos y en la cuenca Diguillín Longitudinal. Esto demuestra que las escorrentías directas no provienen sólo de las precipitaciones, sino que de los derretimientos nivales y por ello la precipitación efectiva calculada es superior a la precipitación areal caída en la zona y entrega en algunos meses valores mayores a 1.

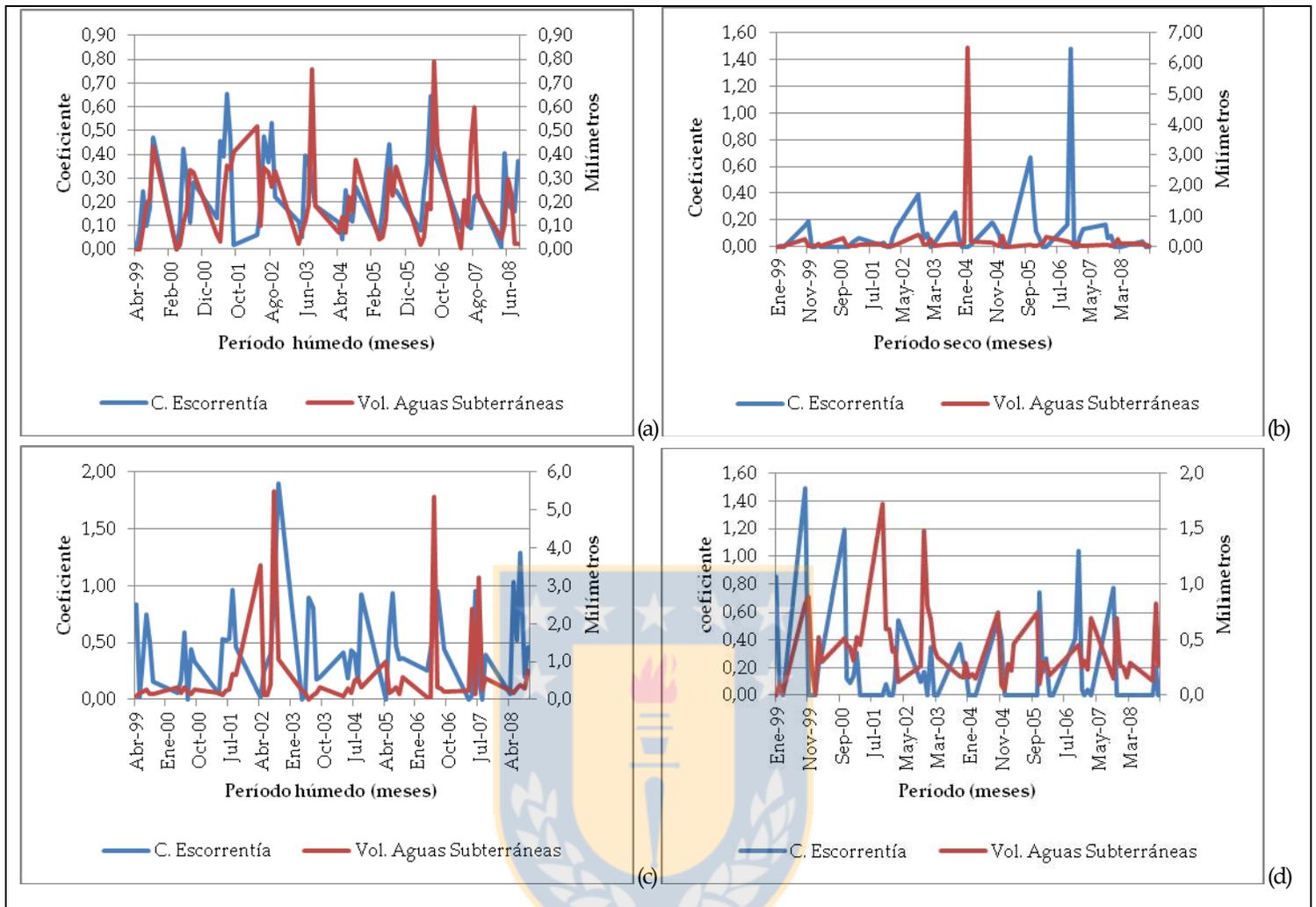


Figura 11: Coeficiente de escorrentía y volumen de agua subterránea a nivel mensuales en la cuenca Diguillín Longitudinal para periodo húmedo (a) y periodo seco (b). Para la subcuenca San Lorenzo, periodo húmedo (c) y periodo seco (d).

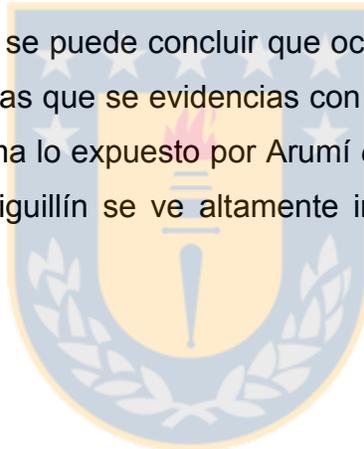
## 5. CONCLUSIONES

En base a lo anteriormente expuesto se puede concluir lo siguiente:

A partir de los diferentes análisis estadísticos realizados, se puede concluir que las variables hidrológicas de la cuenca en estudio, no demuestran una influencia evidente en el comportamiento de las reservas.

El comportamiento de las reservas mensuales en la cuenca del Río Diguillín, no parece verse influenciado por las precipitaciones, aunque sí por los caudales y principalmente los caudales registrados en periodo de deshielo.

Según los datos analizados se puede concluir que ocurren descargas producto de escorrentías subterráneas, las que se evidencian con valores extremos de reserva mensual. Lo anterior confirma lo expuesto por Arumí *et al* (2014), referido a que el caudal de estiaje del río Diguillín se ve altamente influenciado por las reservas mensuales.



## REFERENCIAS

- ANGHILERI, D., PIANOSI, F., SONCINI-SESSA, R. 2014. Trend detection in seasonal data: from hydrology to water resources. *Journal of Hydrology*. 511, 171-179, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.022>
- ARUMÍ, J.L., OYARZÚN, R., MUÑOZ, E. Y RIVERA, D. 2014. Caracterización de dos grupos de manantiales en el río Diguillín, Chile. *Water Technology and Sciences*. Volumen V, núm. 6.
- ARUMÍ, J.L., RIVERA, D., OYARZÚN, R. 2011. Water availability in a stressed andean watershed in central Chile: vulnerability under climate variability. Proyecto Fondecyt N°: 1110298.
- ARUMÍ, J.L., RIBERA, D. Y OYARZÚN, R. 2006. Las aguas subterráneas en Chile. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (1): 37-45 ISSN: 0366-0176
- CHOW V., MAIDMENT, D. R., MAYS L. W. 1994. *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- DEL GIUDICE, R. G., PADULANO, RASULO, G. 2014. Spatial prediction of the runoff coefficient in Southern Peninsular Italy for the index flood estimation. *Hydrology Research*, 45(2), 63–281, doi: 10.2166/nh.2013.243
- DEWANDEL, B., LACHASSAGNE, M., BAKALOWICZ, M., WENG, PH., AL-MALKI, A. 2003. Evaluation of aquifer thickness by analysis recession hydrograph: application to the oman ophiolite hard-rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274(1-4), doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00418-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00418-3)
- GUJARATI, D. 1992. *Econometría*. Segunda edición. México. 597 p.

- HAMED, K. H. 2008. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3-4), 350-363, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- KARPOUZOS, D.K., KAVALIERATOU, S. Y BABAJIMOPOULOS, C. 2010. Trend nalysis of precipitation data in Pieria Region (Greece). *European Water* 30: 31-40.
- KARMESHU N, 2012. Trend detection in annual temperature and precipitation using the Mann-Kendall test - a case study to assess climate change on select states in the northeastern United States. MSC Thesis, University of Pennsylvania, 32 p. Disponible en [http://repository.upenn.edu/mes\\_capstones/47/](http://repository.upenn.edu/mes_capstones/47/)
- MURRAY, R., SPIEGEL, M. R. 1988. *Probabilidad y Estadística*. México, McGraw-Hill. 372p.
- LIN LIU, J., HUANG, J.W., CHEN, X. Q., GUAN, O. H., TANG, Y. 2014. Precipitation Characteristics and Trend in the Hsiao-Ching River Basin of Jinan City during the Past 50 Years. *Applied Mechanics and Materials*, 580-583, 2029-2032, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.2029
- LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A., PAULUS, J. L. H. 1977. *Hidrología para Ingenieros*. Bogotá McGraw Hill. 386p
- LLAMAS, J. 1993. *Hidrología General Principios y Aplicaciones*. España. Editorial de la Universidad del País Vasco. 636 p.
- SAHUQUILLO, H. A. 2009. La importancia de las aguas subterráneas. *Revista de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 97-114p. Recuperado de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00923.pdf>

- PEREZ, K., BRO, P., LEÓN, L., HELWING, B., VALDÉS, R. 2013. On Redefining the Onset of Baseflow Recession on Storm Hydrographs. *Open Journal of Modern Hydrology*, 3, 269-277, doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ojmh.2013.34030>
- PIZARRO, R., BALOCCHI, F., GARCIA, P., MACAYA, P., RAMIREZ, C. y FLORES, J. P. 2002. Comparison analyses of five mean areal rainfall estimation methods in widely varying years. *Bosque (Valdivia)* [online]. vol.24, n.3 [citado 2014-09-11], pp. 31-38. Disponible en: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S07172002003000300003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S07172002003000300003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0717-9200. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000300003>.
- PIZARRO, R., SANGÜESA, C. 2002. *Estudios Hidrológicos de la Región del Maule*. Talca. Editorial Universidad de Talca. 195p.
- YUE, S., PILON, P., CAVADIVAS, G. 2002. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*. 259(1-4), 254-571, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)
- ZÚÑIGA, R., MUÑOZ, E. Y ARUMÍ, J. L. 2012. Estudio de los procesos hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín. *Obras y Proyectos* [online]. n.11, pp. 69-78. ISSN 0718-2813. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000100007>.
- PIZARRO, R., RAMÍREZ, C., FLORES, J.P. 2003. Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en periodos extemos. *Bosque*. n.3, Vol. 24, pp: 31-38. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000300003>

- OSTLE, B., MALONE, L. C., Statistics in Research: Basic Concepts and Techniques for Research Workers. Iowa, Iowa State University Press. 682 p.
- LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A., PAULUS, J. L. H. 1949. Applied Hydrology. United States of America. 689p.
- ARUMÍ, J. L., MAUREIRA, H., SOUVIGNET, M., PÉREZ, C., RIVERA, D., OYARZÚN, R. 2014. Where does the water go? Understanding geohydrological behaviour of Andean catchments in South-Central Chile. Hydrological Sciences Journal. doi: 10.1080/02626667.2014.934250



## ANEXOS

Cuadro 1: Cantidad de crecidas por mes, en todo el periodo de estudio para la subcuenca Diguillín en San Lorenzo y Diguillín en Longitudinal.

<b>Diguillín en San Lorenzo</b>										
<b>Meses</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Enero	1	0	2	0	1	0	0	1	0	0
Febrero	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Marzo	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Abril	1	1	1	0	0	3	0	1	1	1
Mayo	1	1	3	3	1	1	1	1	0	1
Junio	2	4	3	2	1	3	1	2	2	2
Julio	1	3	4	1	2	3	1	2	1	2
Agosto	2	0	2	2	2	1	4	2	2	2
Septiembre	2	3	0	1	2	0	1	1	1	1
Octubre	0	2	0	1	2	1	1	1	0	1
Noviembre	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0
<b>Diguillín en Longitudinal</b>										
Enero	-	1	2	0	1	0	3	2	0	0
Febrero	1	2	1	1	1	0	1	0	1	0
Marzo	0	-	1	2	1	4	1	0	1	0
Abril	1	2	1	4	1	1	3	1	3	1
Mayo	4	-	3	3	1	2	6	1	2	2
Junio	5	4	3	1	5	5	9	6	5	4
Julio	3	5	4	3	3	7	4	2	4	8
Agosto	2	2	4	4	1	3	7	5	2	3
Septiembre	2	2	1	3	1	2	1	1	3	1
Octubre	1	-	1	3	1	3	2	6	1	1
Noviembre	1	-	2	1	0	1	2	1	1	0
Diciembre	0	-	0	1	0	0	1	1	1	0

Figura 1: Valores de Volumen de reservas, precipitación, caudal y escorrentía directa en el periodo de análisis, en la (a) subcuenca Diguillín en San Lorenzo y (b) Diguillín en Longitudinal.

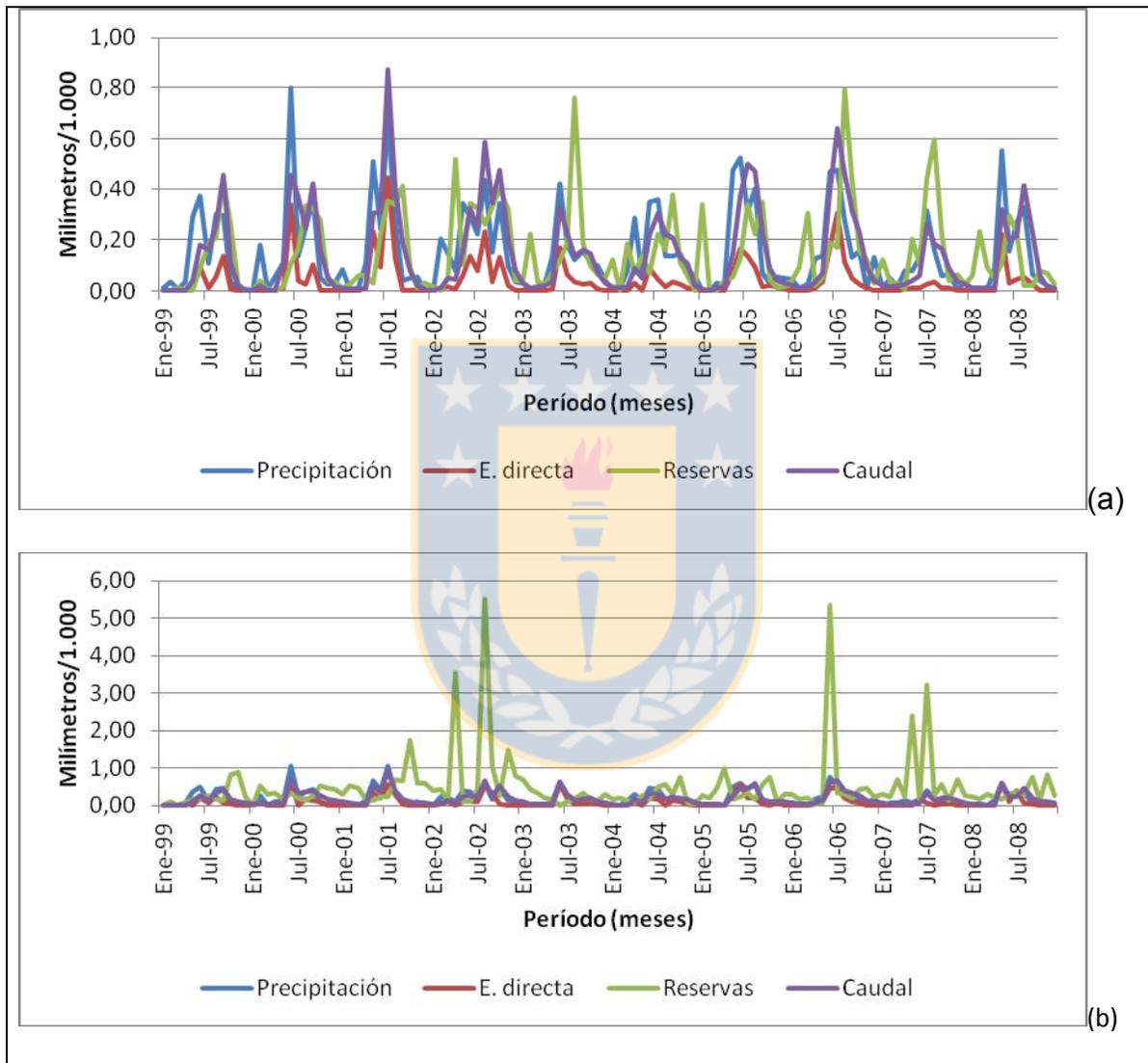


Figura 2: Coeficientes de proporción entre reservas mensuales con respecto a (a) precipitación y (b) caudal con su respectiva varianza en la subcuenca Diguillín en San Lorenzo.

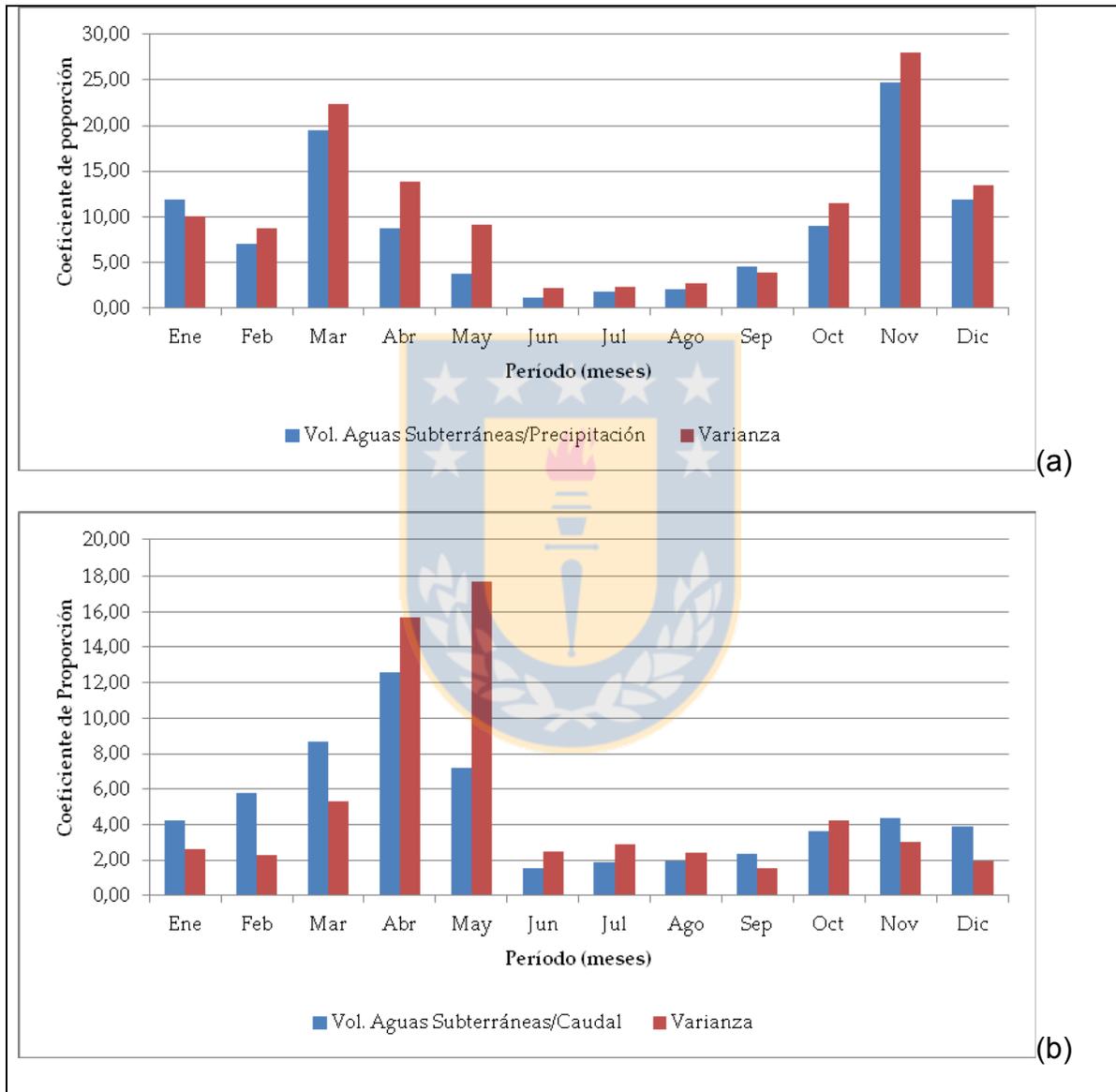


Figura 3: Coeficientes de proporción entre reservas mensuales con respecto a (a) precipitación y (b) caudal con su respectiva varianza en la subcuenca Diguillín en Longitudinal.

