



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898473*

RFC: ATII20618V12

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

**Año: VIII**

**Número: Edición Especial.**

**Artículo no.:16**

**Período: Marzo, 2021**

**TÍTULO:** Derivación de la constante de recesión de flujo base en tres microcuencas de la provincia de Manabí.

**AUTORES:**

1. Ing. Miller Ernesto Rodríguez Bravo.
2. Máster. Micheal David Caicedo Toro.
3. Ing. Pedro Elías Intriago Zambrano.
4. Máster. Andy Miguel Giler Ormaza.

**RESUMEN:** Este artículo pretende analizar los flujos aportantes por parte de las aguas subterráneas en tres microcuencas de la provincia de Manabí localizadas en la cuenca alta de afluentes a las represas Poza Honda y La Esperanza, para lo cual se analizarán tres años de caudales con una resolución diaria, en dichos esteros que son de caudales intermitentes lo que denota un aporte de flujo base respecto a la proporcionalidad del caudal que en épocas de estiaje en las que la escorrentía directa es casi nula. La derivación de la constante de recesión se llevó a cabo mediante la utilización de un método numérico para la obtención de la constante de recesión de flujo base utilizado anteriormente por Bako y Hunt.

**PALABRAS CLAVES:** constante de recesión, flujo base, agua subterránea, caudal, cuencas hidrográficas.

**TITLE:** Derivation of the baseflow recession constant in three microbasins of the province of Manabí.

**AUTHORS:**

1. Eng. Miller Ernesto Rodríguez Bravo.
2. Master. Micheal David Caicedo Toro.
3. Eng. Pedro Elías Intriago Zambrano.
4. Master. Andy Miguel Giler Ormaza.

**ABSTRACT:** This article aims to analyze the contributing flows from groundwater in three microbasins of the Manabí province located in the upper basin of tributaries to the Poza Honda and La Esperanza dams, for which three years of flows will be analyzed with a daily resolution, in these estuaries that have intermittent flows, which denotes a base flow contribution with respect to the proportionality of the flow that in times of low water in which direct runoff is almost nil. The derivation of the recession constant was carried out by using a numerical method to obtain the base flow recession constant used previously by Bako and Hunt.

**KEY WORDS:** recession constant, base flow, groundwater, flow, watersheds.

**INTRODUCCIÓN.**

Los ríos y arroyos localizados en la provincia de Manabí se caracterizan por que gran parte del total del caudal que escurre sobre ellos proviene de aportes subterráneos, que en épocas de escasez de lluvia son los que mantienen en caudal en el cauce de los ríos; es por esto, que es imprescindible conocer mediante modelaciones hidrológicas cuan es el aporte real de caudal suministrado por las aguas subterráneas; existen varios métodos desarrollados a nivel del mundo con el fin de conocer o estimar estos valores de caudales, métodos tanto analíticos, numéricos como matemáticos con la utilización de software en los que intervienen aspectos importantes como la morfología de la cuenca,

el tipo de suelo, inclusive la utilización del mismo, sin embargo en este estudio se pretende la utilización de un método numérico que describe una relación no lineal de almacenamiento - descarga para el aporte subterráneo (Padilla, Pulido-Bosch & Mangin, 1994; Wittenberg & Sivapalan, 1999; Bako & Hunt, 1988).

Naturalmente, podemos notar, que cuando se produce una lluvia intensa en la parte alta de la cuenca en cuestión de minutos, la escorrentía superficial se hace presente en el aumento del caudal del río, pero cuando este aporte superficial seca es cuando entra en juego el aporte subterráneo creando periodos de recesión que se pueden analizar gráficamente mediante curvas en las que se pueden notar el inicio y el final de cada recesión; esto nos brinda información confiable de cuan es el aporte de flujo base al cauce del río en la relación de almacenamiento-descarga del acuífero. Utilizando esta información, se pueden hacer modelaciones hidrográficas que nos permiten conocer y separar los aportes de flujo base y flujo directo en series de tiempo o bloques en los que las recesiones se hacen más tenues y persistentes.

Para llevar a cabo el objetivo principal de este estudio que es definir la constante de recesión de flujo base para las tres microcuencas en estudio se establecen directrices específicas comenzando por recolectar datos de caudales de mínimo seis meses continuos de las microcuencas en estudio, y de manera consiguiente, establecer una metodología útil que nos permita poder caracterizar el comportamiento de caudales bajos de las microcuencas antes mencionadas.

La obtención de datos para la realización del presente estudio provienen de 3 transductores de presión los cuales están situados en zonas estratégicas de 3 diferentes arroyos intermitentes en las cuencas altas de la provincia de Manabí que direccionan sus aguas a las dos represas de la provincia la Poza honda y La Esperanza, mediante relaciones de topografías y alturas de desnivel se pudo conocer los valores de caudales que registraron los transductores de presión con relación al nivel de agua al cual estaban sumergidos.

La obtención de datos del aparato está especificada en lecturas cada 15 minutos; sin embargo, para el objeto del estudio se debió promediar estos datos a resoluciones diarias de caudal con los cuales se nos permite trabajar de mejor manera sin embargo el hecho de que la lectura de datos sea cada 15 minutos nos brindan valores más precisos para la obtención del valor de la constante de recesión de flujo base.

### **DESARROLLO.**

En el presente estudio se pretende emplear un método numérico que describe una relación no lineal de almacenamiento - descarga para el aporte subterráneo, el cual requiere de la recolección y tabulación de datos de caudales registrados mediante un transductor de presión marca Hobo, el cual tiene la función de registrar datos de presión que varía, dependiendo el nivel del espejo de agua que tiene por encima de él.

Mediante un trabajo topográfico para saber la sección transversal del cauce, se puede conocer el caudal que transita por el arroyo intermitente, este procedimiento se ejecuta para las tres microcuencas en estudio; de esta manera, se procede a la tabulación de los datos recolectados de un año hidrológico para cada microcuenca para proceder a los cálculos respectivos para la obtención del valor de la constante de recesión de flujo base y separación de flujo directo y flujo subterráneo que caracteriza a cada microcuenca (Bako & Hunt, 1988).

## Zona de Estudio 1.

Microcuenca Rancho Palo.

Ilustración 1: Zona de estudio Microcuenca Rancho Palo.



Fuente: (Giler-Ormaza, Navarrete, Zambrano, Vera, Sanchez, Ramón, 2019).

Se escogió la microcuenca membrillo situada en la provincia de Manabí debido a que es uno de los principales afluentes aportan sus aguas a la represa La Esperanza, dentro de esta microcuenca se localiza la más pequeña denominada Rancho Palo, en la cual cursa el arrollo intermitente denominado con el mismo nombre cabe recalcar que esas microcuencas son ideales por el hecho de que son intermitentes; es decir, en ninguna época del año deja de existir tránsito de caudal en el cause principal, de igual importancia es ideal escoger una microcuenca que no esté influenciada por aportes de caudales externos que puedan variar la morfología natural de la misma como presas, estanques o pozos profundos que puedan variar e influenciar los datos de flujo base.

Rancho palo es una microcuenca que cuenta con un área de 7,97 km<sup>2</sup>, el cual escurre sus aguas al río membrillo el cual alimenta a la represa La Esperanza, dicho sitio se puede observar la presencia de actividades ganaderas y agrícolas mismas que en gran medida, afectan y generan un impacto antrópico sobre la microcuenca que en gran medida interfieren en la relación almacenamiento descarga.

## Zona de estudio 2.

Microcuenca La Mina.

Ilustración 2: Zona de estudio.



Fuente: (Giler-Ormaza, Navarrete, Zambrano, Vera, Sanchez, Ramón, 2019).

La microcuenca La Mina se encuentra junto a la microcuenca rancho palo ubicada sobre su lado oeste; sin embargo, es importante conocer los valores aportantes de flujo base en estas dos microcuencas, puesto que ambas están influenciadas con la misma actividad antrópica y las mismas condiciones climáticas probablemente no posean las mismas cualidades en lo que corresponde a aportes de flujo base, puesto que cada una posee un acuífero diferente.

La Microcuenca la mina posee un área aproximada de 8 km<sup>2</sup>, así mismo un caudal continuo con variaciones en sus niveles relativos a la época del año hidrológico reportando sus picos más altos en los meses comprendidos entre enero y marzo. En cuanto al uso del suelo, se reporta que en lo que corresponde a 12.05% es utilizado por Bosque nativo, seguido por el 5.77% del uso de suelo va para la plantación forestal, como es de esperarse, ya que es una zona altamente agrícola ganadera corresponde al 76.3% pastizal y un 5.89% ligado a vegetación arbustiva en cuanto al clima se puede

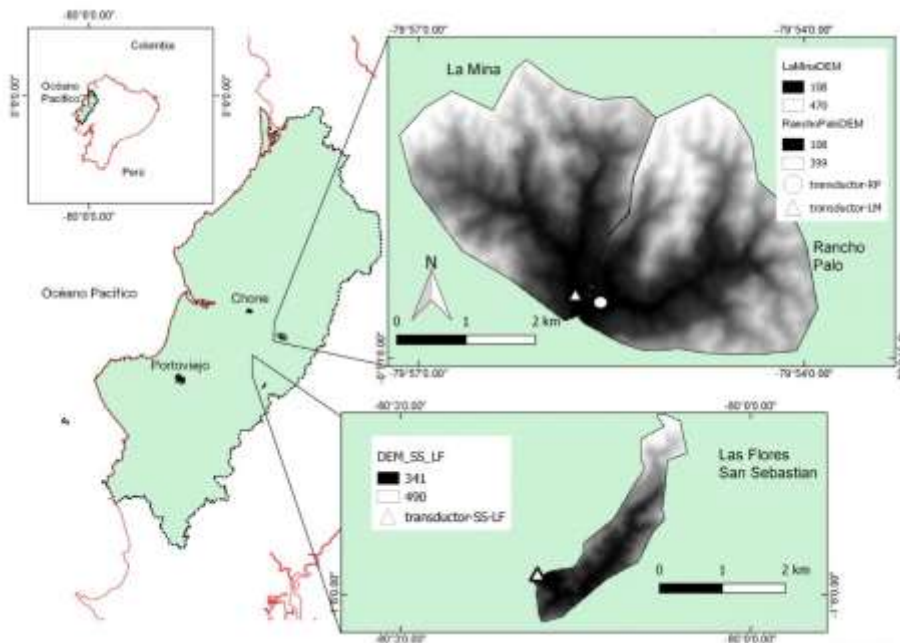
determinar que es tropical semihúmedo, dando sensación de frío en épocas de verano y por el contrario de calor en épocas de invierno (Verdugo, 2017).

### Zona de estudio 3.

Microcuenca Las Flores.

La represa Poza Honda es una de las principales fuentes del líquido vital para gran parte de la población manabita, uno de sus afluentes más importantes el río mineral el cual nace en la parroquia san Sebastián perteneciente al cantón Pichincha es ahí donde podemos encontrar la estación de aforo con el transductor de presión en la posición  $1^{\circ} 5'51.94''S$ ;  $80^{\circ} 1'47.08''O$ . En esta zona es común encontrar actividades antrópicas como la agrícola, ganadería inclusive altos índices de contaminación que muchas veces por desconocimiento de la población interfieren en el cuidado y correcto manejo de la cuenca alta aportante la represa Poza Honda.

Ilustración 3: Diagrama de Ubicación.



Fuente: (Giler-Ormaza, Navarrete, Zambrano, Vera, Sanchez, Ramón, 2019).

### **Clima.**

En cuanto al clima de la zona se define como tropical mega térmico semi húmedo; sin embargo, en la mayoría de tiempo es cálido, y en el transcurso de los días de verano el ambiente es templado muy diferente a la época calurosa que viene con el invierno esta parroquia al igual que toda la provincia de Manabí se presentan dos estaciones climatológicas el verano que incide generalmente entre los meses comprendidos desde junio a diciembre donde mayoritariamente son épocas secas con poca presencia de lluvias , mientras que en épocas de invierno que corresponde generalmente a los meses comprendidos entre enero a mayo en donde se hacen presentes las precipitaciones fuertes, con un rango de >60mm.

### **Uso de suelo.**

En cuanto a la cobertura y uso del suelo en esta zona de Manabí, nos arrojan cifras en las cuales apenas el 0.19% está destinado para uso de vegetación natural, seguido en orden ascendente con el 10.70% del suelo de la parroquia está destinado para actividades ganaderas, posteriormente el uso agropecuario que está destinado al 24.16% de todo el territorio, y mayoritariamente como es evidente al visitar la parroquia en uso agrícola que corresponde con el 64.94% del uso del suelo en la parroquia.

### **Algoritmo de depósito no lineal.**

La fórmula que expresa el batimiento exponencial del flujo base se puede dimensionar de la siguiente manera:

$$Q_t = Q_0 \exp(-t/k)$$

Donde  $Q_t$  expresa el caudal en un tiempo determinado  $Q_0$  expresa una flujo inicial mientras que  $K$  se denomina a la constante que caracteriza al acuífero en función al aporte de flujo base que este contribuye al cauce del arroyo el cual representa el tiempo de retardo del sistema, ya que se sabe que



como cualquier otro reservorio el aporte no es lineal pues se vacía en función del tiempo produciéndose en el efecto almacenamiento-descarga, por el contrario si esto fuera así, y se comportara como un yacimiento lineal se simplifica en un modelo simple expresado mediante la siguiente fórmula.

$$S = k \cdot Q$$

Donde S representa el depósito que es proporcional al caudal.

El modelo con el que se realizara este estudio es el utilizado por Bako & Hunt (1988) el cual expresa la fórmula:

$$Q_t = Q_0 \exp(-t/k)$$

en el cual se logra describir por medio de una recesión exponencial donde  $Q_t$  es el q de salida en cualquier punto del tiempo  $Q_0$  es el caudal de salida en el comienzo de la recesión K que es la constante de recesión mientras la curva va tendiendo a ser recta para los logs de los datos de caudal.

Mediante este método la constante de recesión K se puede obtener a partir de la pendiente de la gráfica  $\ln Q$  en función del tiempo.

### **Descripción de la base de datos.**

Para la realización del presente estudio se tomaron tres estaciones de aforo de caudales correspondientes al mismo número de microcuencas distintas mencionadas anteriormente obteniendo datos de caudales con una resolución de 15 minutos durante un año hidrológico correspondientes al periodo enero 2018; enero 2019 consecutivamente; de esta manera se procedió a la recolección y calibración de datos en los cuales se verificó su calidad mediante el método de relación de señal o ruido RSR que consiste en graficar el hidrograma y anular los valores no homogenizados y

reemplazarlos mediante una ponderación obteniendo así los hidrogramas respectivos para cada microcuenca como se detalla a continuación.

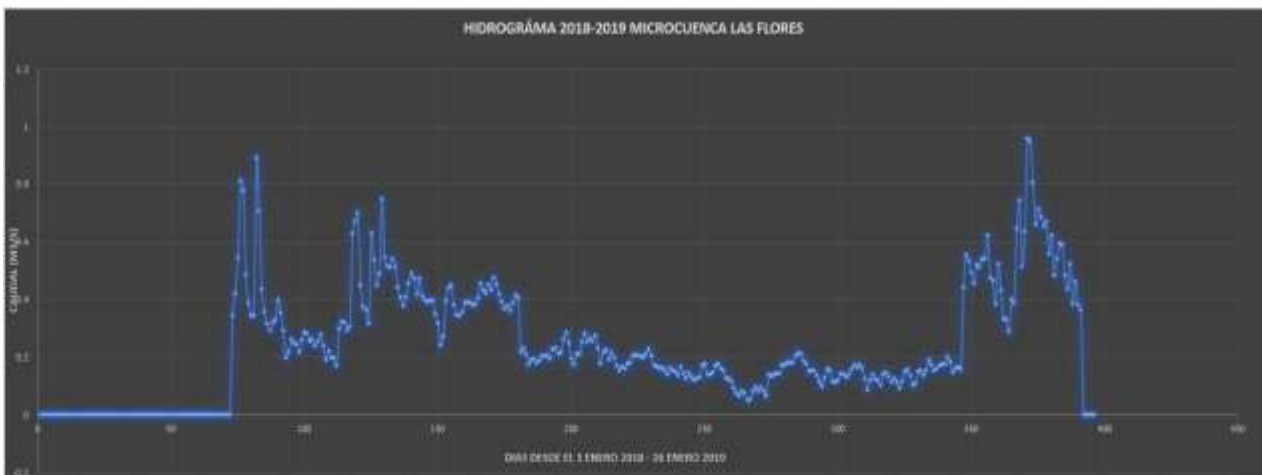
**Microcuenca Las Flores.**

DATOS DE CAUDALES Q(M3/S) DIARIOS POR MES PARA LA MICROCUENCA "LAS FLORES"													
Día	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	ene-19
1				0.355940285	0.449218152	0.2714318	0.2333426	0.2254653	0.1485395	0.1406695	0.158718	0.1755286	0.3877881
2				0.291796774	0.375195185	0.3948037	0.2109065	0.1911652	0.1328013	0.134729	0.1727044	0.154723	0.6462106
3				0.198232647	0.365082863	0.4404892	0.1755708	0.2139343	0.1207492	0.1384939	0.164625	0.159801	0.7447914
4				0.217894081	0.316252347	0.4505281	0.1917084	0.1984273	0.1255658	0.1444682	0.1741504	0.1695057	0.5147312
5				0.263620266	0.629602834	0.3825061	0.1949122	0.1694786	0.1298466	0.1440047	0.1609568	0.1761152	0.6370435
6				0.249154391	0.559457651	0.3477446	0.1819319	0.1552349	0.1700566	0.173837	0.1266187	0.1742533	0.959151
7				0.24702591	0.45056251	0.3424581	0.1878853	0.1672917	0.1759953	0.1711963	0.085377	0.202231	0.9506325
8				0.21695148	0.490665894	0.3571021	0.2063017	0.1605026	0.1395666	0.1793378	0.1199908	0.1848468	0.8058562
9				0.257843585	0.74987518	0.3873915	0.2011784	0.1784446	0.1391821	0.1807475	0.1409388	0.148352	0.6601496
10				0.285585645	0.546958963	0.3926833	0.2093683	0.1803289	0.1481043	0.180554	0.1218581	0.1617053	0.7142369
11				0.281227631	0.51593008	0.3897822	0.1938623	0.2045174	0.1694834	0.2050427	0.1183722	0.1675213	0.6884463
12				0.254205606	0.512320567	0.3803839	0.2284655	0.208168	0.1785226	0.214583	0.1018305	0.1586991	0.6544402
13				0.261569625	0.541616365	0.3856956	0.231592	0.2032586	0.1601931	0.2098049	0.1388354	0.445585	0.671702
14			0.3450676	0.239920441	0.515218793	0.4041418	0.2117856	0.2030124	0.1551078	0.1861964	0.1483329	0.5542543	0.5587661
15			0.4231621	0.256662105	0.443620407	0.4557861	0.2174181	0.1976664	0.1260724	0.1760022	0.1549729	0.5542114	0.6215233
16			0.5457195	0.278138842	0.407791129	0.4332666	0.261911	0.210448	0.1279398	0.1508665	0.113261	0.4924167	0.4840812
17			0.8128352	0.240113033	0.378144757	0.4227807	0.2857065	0.2274683	0.117896	0.1528867	0.1253202	0.4551274	0.5404474
18			0.7799067	0.190561168	0.408006552	0.4527099	0.2502257	0.2043331	0.0914686	0.154568	0.1112972	0.5220957	0.5968989
19			0.4860157	0.223291159	0.45496967	0.4525426	0.1942849	0.1698917	0.0754641	0.1575825	0.0927526	0.5129455	0.5876556
20			0.3899417	0.196673107	0.490550666	0.4756063	0.1750092	0.1678892	0.0659064	0.1165270	0.1149369	0.5426297	0.482274
21			0.3445176	0.196292741	0.472239733	0.4515483	0.2119805	0.1588709	0.0817047	0.0980686	0.151192	0.5410463	0.4357101
22			0.3445176	0.172012113	0.41849669	0.4199812	0.2117096	0.1639891	0.0744651	0.1304293	0.1555743	0.6213233	0.5226902
23			0.89077	0.299448192	0.474514649	0.3931115	0.2523472	0.1535006	0.0496614	0.1602565	0.1358774	0.4759006	0.3850665
24			0.7063433	0.324426231	0.412307632	0.369316	0.2817908	0.1392793	0.0554623	0.1553606	0.1018055	0.4649292	0.4640126
25			0.4354059	0.319129407	0.389984612	0.3790217	0.2516262	0.1627555	0.0814918	0.1150863	0.1104094	0.3850665	0.3820767
26			0.3577478	0.293109374	0.392698036	0.3627654	0.2675415	0.1552238	0.0956316	0.1130864	0.1505912	0.5226902	0.3645196
27			0.3160549	0.305396201	0.39660562	0.3890295	0.2559973	0.1519497	0.0808997	0.1205854	0.1534655	0.4337345	
28			0.2947653	0.630812701	0.397506243	0.4150226	0.2760446	0.1375142	0.0969806	0.1423807	0.1364285	0.3345206	
29			0.3214812	0.669921853	0.350712069	0.4048361	0.2321325	0.1682492	0.0836861	0.1391199	0.1520346	0.3313809	
30			0.3311541	0.701309175	0.315237212	0.2168593	0.1766103	0.1428459	0.0640043	0.12999	0.1907152	0.2881055	
31			0.3997791		0.241221108		0.2187618	0.1250223		0.1388222		0.4031603	

Tabla 1: Microcuenca Las Flores datos de caudal diarios del periodo enero 2018; enero 2019

En la ilustración 4 se presenta el hidrograma de la microcuenca Las Flores enero 2018- enero 2019

Ilustración 4: Hidrograma 2018-2019 Microcuenca Las Flores.



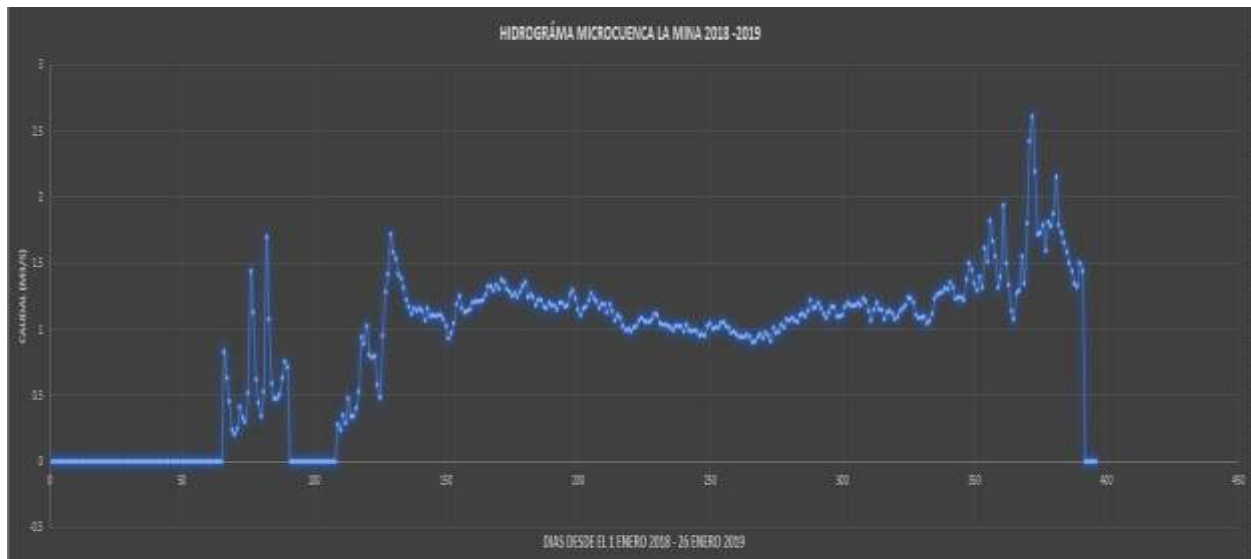
Microcuenca La Mina.

DATOS DE CAUDALES Q(M3/S) DIARIOS POR MES PARA LA MICROCUENCA "LA MINA"													
Día	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	ene-19
1					0.809217688	0.9753319	1.2652787	1.1377389	0.9977328	1.0105473	1.1806432	1.2349978	1.2788866
2					0.786370438	1.0512043	1.2990243	1.069901	0.9814919	0.9722805	1.2060472	1.2674909	1.2942004
3					0.800718158	1.1894751	1.181833	1.1043623	0.9523004	0.9897166	1.1798863	1.2729398	1.5542091
4					0.580622885	1.2525119	1.2276073	1.0871455	0.9631157	1.0348215	1.2549804	1.2897656	1.3499875
5					0.482874574	1.161789	1.2210219	1.030712	0.9521487	1.0123686	1.2117796	1.3121795	1.8053831
6					0.950847229	1.1295556	1.174903	0.9992081	1.0258929	1.0741697	1.1363818	1.3017261	2.4283951
7			0.827677092		1.28598934	1.1405515	1.1634268	1.0100213	1.0472418	1.070757	1.0704628	1.3559035	2.6085979
8		0.630788775			1.415770827	1.1519216	1.2007458	0.9882833	1.0018814	1.0843474	1.1508978	1.3178915	2.195803
9		0.454339563			1.724565939	1.2001928	1.1771938	1.0156448	1.0107059	1.069857	1.2024993	1.2299449	1.7147213
10		0.238341475			1.586111021	1.2110255	1.1785129	1.0272297	1.0201029	1.0595937	1.1469044	1.2460696	1.7326217
11		0.207676062			1.537656951	1.2162136	1.1502682	1.0696551	1.0507993	1.1090509	1.1481487	1.24359	1.7917561
12		0.244786231			1.414849266	1.2121068	1.2033319	1.0834271	1.0620812	1.1232056	1.0813737	1.217638	1.5991209
13		0.413540497			1.389308962	1.2201968	1.2026947	1.0704678	1.0244863	1.0993608	1.1307758	1.3731919	1.8138414
14		0.335712229			1.311931103	1.2598742	1.1755461	1.0618411	1.0125956	1.1447358	1.1419507	1.5071358	1.7857643
15		0.303916998			1.221861572	1.3243591	1.1806379	1.0574265	0.9793788	1.2262887	1.1175604	1.4526325	1.8779078
16		0.520682517			1.166537486	1.3266577	1.2609961	1.0800335	0.9834549	1.1644817	1.0767097	1.3441778	2.1511299
17		1.437514543			1.115463532	1.2953359	1.2927586	1.1158175	0.9686879	1.1707943	1.1024481	1.295771	1.788141
18		1.130507654			1.158015952	1.3410227	1.2304334	1.1064321	0.9451747	1.1993403	1.1440568	1.3976493	1.7263402
19		0.623399944	0.281408179	1.14052062	1.3084389	1.1461549	1.043669	0.940814	1.1650452	1.1583533	1.3135041	1.6569462	
20		0.447420076	0.238806787	1.160936963	1.3771577	1.1086574	1.0372598	0.9403802	1.1242018	1.1856687	1.619085	1.5825967	
21		0.342577908	0.351734696	1.139629756	1.3532128	1.1616811	1.0336375	0.9592933	1.0848295	1.241697	1.514152	1.5027322	
22		0.526254897	0.292426527	1.071246889	1.3103149	1.1711428	1.0305152	0.9389617	1.1266203	1.2379906	1.8219263	1.4351618	
23		1.702058012	0.474498637	1.158918514	1.2839743	1.2261723	1.0106547	0.8988536	1.1741877	1.2025468	1.6699607	1.3501587	
24		1.076625779	0.339582129	1.098526682	1.2542467	1.2709404	0.994507	0.9086082	1.1705992	1.1049523	1.5551135	1.3218919	
25		0.595940176	0.339789826	1.110148358	1.2692464	1.2344763	1.0302076	0.9465904	1.1001854	1.0854657	1.3187897	1.4999462	
26		0.473335791	0.409026215	1.101533914	1.2449559	1.2075455	1.0218542	0.9676726	1.0965128	1.0887068	1.3985875	1.4412844	
27		0.478682364	0.530035848	1.111297549	1.2839343	1.1575292	1.0287365	0.9290273	1.1111966	1.1002742	1.9416651		
28		0.507360481	0.942757362	1.112516524	1.3251928	1.1922135	0.9836815	0.9781399	1.1679632	1.0489788	1.5035999		
29		0.633766808	0.889729669	1.079958584	1.359805	1.1942943	1.0334981	0.9499323	1.2045437	1.0657053	1.3405926		
30		0.757861185	1.023629271	1.028364843	1.2384362	1.1536979	0.9995408	0.9152648	1.1863598	1.1223071	1.137226		
31		0.710643464			0.935041954		1.1921972	0.9834344		1.1771886		1.0740788	

Tabla 2: Microcuenca La Mina datos tabulados a una resolución diaria del periodo enero 2018; enero 2019.

En la ilustración 5 se presenta el hidrograma de la microcuenca La Mina enero 2018- enero 2019

Ilustración 5: Hidrograma Microcuenca La Mina 2018-2019.



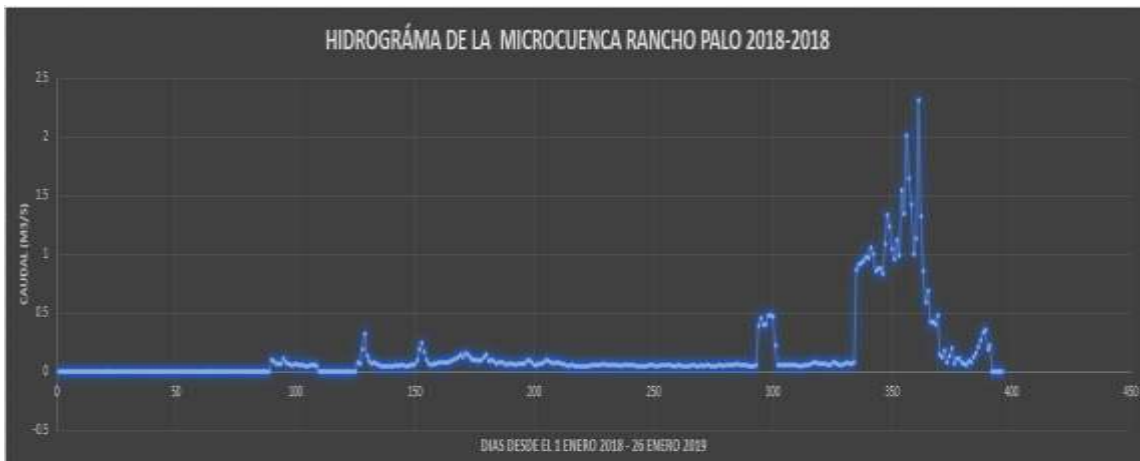
Microcuenca Rancho Palo.

DATOS DE CAUDALES Q(M3/S) DIARIOS POR MES PARA LA MICROCUENCA "RANCHO PALO"													
Día	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	ene-19
1				0.09028559		0.1920587	0.102219	0.0587363	0.0498286	0.0501906	0.0530274	0.8653875	0.4283704
2				0.068562602		0.2411844	0.0948113	0.0506865	0.0496362	0.0512931	0.056389	0.9152458	0.424109
3				0.063335602		0.1712376	0.0698491	0.0551103	0.0511431	0.0490393	0.0534358	0.9227047	0.4038175
4				0.068851596		0.0974951	0.0843323	0.0545735	0.0473927	0.0531675	0.0585316	0.9491433	0.4811457
5				0.108255731		0.0705442	0.0815547	0.0490191	0.0533826	0.0522977	0.0566096	0.984842	0.1481413
6				0.078226088	0.082497481	0.0607574	0.0809401	0.047307	0.0523366	0.0514221	0.0520022	0.9689171	0.1262484
7				0.065807368	0.067453408	0.0633351	0.0605366	0.0479313	0.0544521	0.0548625	0.0511614	1.0583357	0.1830877
8				0.055188349	0.190443341	0.0648985	0.0677127	0.0497517	0.0497843	0.0566051	0.0486969	0.9967674	0.0739565
9				0.059961324	0.327286368	0.074994	0.0650741	0.0483059	0.0508404	0.0566036	0.0531405	0.85706	0.1386736
10				0.065796347	0.130373174	0.0766756	0.0654718	0.05084	0.0534023	0.0529588	0.0527753	0.8744682	0.1967515
11				0.062347943	0.093290526	0.0788677	0.060258	0.0513806	0.0569973	0.0592706	0.0577439	0.8756491	0.0697415
12				0.054853307	0.071530514	0.0762961	0.0682538	0.0547635	0.0578325	0.0663097	0.0673416	0.8361257	0.1091853
13				0.052511102	0.082601143	0.0777105	0.0719108	0.0551829	0.0552946	0.0605633	0.0790165	1.0873187	0.1176836
14				0.051262417	0.064029014	0.0850407	0.0655009	0.053271	0.0516959	0.052679	0.0796829	1.3350138	0.0832645
15				0.051424187	0.054868182	0.1027984	0.0640589	0.0547334	0.0495883	0.0517113	0.0696876	1.2339895	0.0705031
16				0.054742582	0.049562744	0.107345	0.0864679	0.0580178	0.0493232	0.0537681	0.0642125	1.0426519	0.0546826
17				0.0566545	0.050115247	0.1188681	0.09951	0.0650447	0.0516468	0.049324	0.066319	0.958958	0.0866575
18				0.053515336	0.048012159	0.1408012	0.0801104	0.0589142	0.0545893	0.0505049	0.0643536	1.1284997	0.0845456
19				0.049812519	0.047332382	0.1261786	0.0598853	0.0548442	0.0503529	0.0512554	0.0578495	0.9889117	0.1226019
20				0.048287795	0.1597759	0.055836	0.0520285	0.051295	0.0548424	0.0614989	1.54955	0.160571	
21				0.050180988	0.1450765	0.0635346	0.0516457	0.0490283	0.3857331	0.0749732	1.3477279	0.2088802	
22				0.05648965	0.1213323	0.065224	0.0551385	0.0510086	0.4583471	0.0738985	2.0122869	0.2671164	
23				0.048378664	0.1065495	0.0794682	0.0535796	0.0551655	0.3996555	0.0636862	1.6502901	0.3352686	
24				0.054330684	0.0968361	0.0972388	0.0512552	0.0567166	0.4050366	0.0552489	1.4229187	0.3563329	
25				0.051544935	0.1008645	0.0878326	0.0575355	0.0510121	0.4849604	0.0552709	0.9976958	0.1903665	
26				0.051398329	0.0907382	0.081683	0.05416	0.0510901	0.478142	0.0716881	1.1325037	0.2258939	
27				0.051355729	0.1047023	0.0700871	0.055167	0.0604064	0.4634293	0.0771958	2.3113132		
28				0.051986066	0.1205604	0.0776602	0.0527457	0.0497353	0.2291745	0.0665075	1.3283442		
29				0.057744411	0.1418622	0.0764595	0.056362	0.0532053	0.0542469	0.0666445	0.8551815		
30				0.069583076	0.0909518	0.063131	0.0577238	0.0576827	0.0543503	0.080716	0.5876305		
31			0.10329808		0.097226007		0.0637751	0.049434		0.0553422		0.6915009	

Tabla 3: Microcuenca Rancho Palo datos tabulados a una resolución diaria del periodo enero 2018; enero 2019.

En la ilustración 6 se presenta el hidrograma de la microcuenca Rancho Palo enero 2018- enero 2019

Ilustración 6: Hidrograma de la Microcuenca Rancho Palo 2018-2019.





### **Calibración del modelo para la obtención de los parámetros de la curva de recesión.**

Se entiende como periodo de recesión al intervalo en el cual los valores del aforo de cualquier día son menores a los de los valores del día anterior, si bien se entiende naturalmente que como cualquier reservorio la descarga no es lineal con respecto al tiempo en un acuífero no es la excepción; sin embargo, es posible que los aportes del flujo base observados sean iguales en días posteriores relativamente prolongados generando así una irreal idea de lo que sucede realmente con la relación almacenamiento- descarga, por esta razón según lo descrito por (Aguilar, Macedo, Paz, Ortiz, & Palacios, E., 2015) en la ecuación.

$$Q_{t-\Delta t} = \left[ Q_t^{b-1} \frac{t(b-1)}{ab} \right]^{\frac{1}{b-1}}$$

Donde a es el factor de dimensión y b es adimensional en el que b = 1 significa que es una descarga lineal.

$\Delta t$  es generalmente trazado en un día y el parámetro b es fijado por (Wittenberg H. 1., 1999). En b=0.5 debido a que evidentemente no es una descarga lineal, la única variable corresponde al parámetro A asumida como la recarga potencial del acuífero.

Para el ajuste de la curva de recesión, es necesario separar por bloques las recesiones establecidas por debajo del umbral del caudal con el que se considera mediante apreciación visual del hidrograma que el periodo de recesión comienza, de esta manera se realiza un análisis individual por cada bloque y separar el flujo base y la recarga potencial como se puede ver, en la siguiente figura, que muestra en la primera línea de figura los bloques dentro del hidrograma, en la segunda línea los bloques en hidrogramas separados, y en la tercer línea de la figura se observa el ajuste potencial de los hidrogramas de los periodos de recesión con sus respectivos R<sup>2</sup>.

### Microcuenca Las Flores.

En la ilustración 7 se puede observar en la primera fila el hidrograma con sus respectivos bloques a analizar, en la segunda fila se observan las dos diferentes recesiones observadas en el hidrograma, mientras que en la tercera fila observamos el ajuste potencial con la respectiva comprobación de  $R^2 < 0.19; 0.16 >$ .

Ilustración 7: Microcuenca Las Flores.

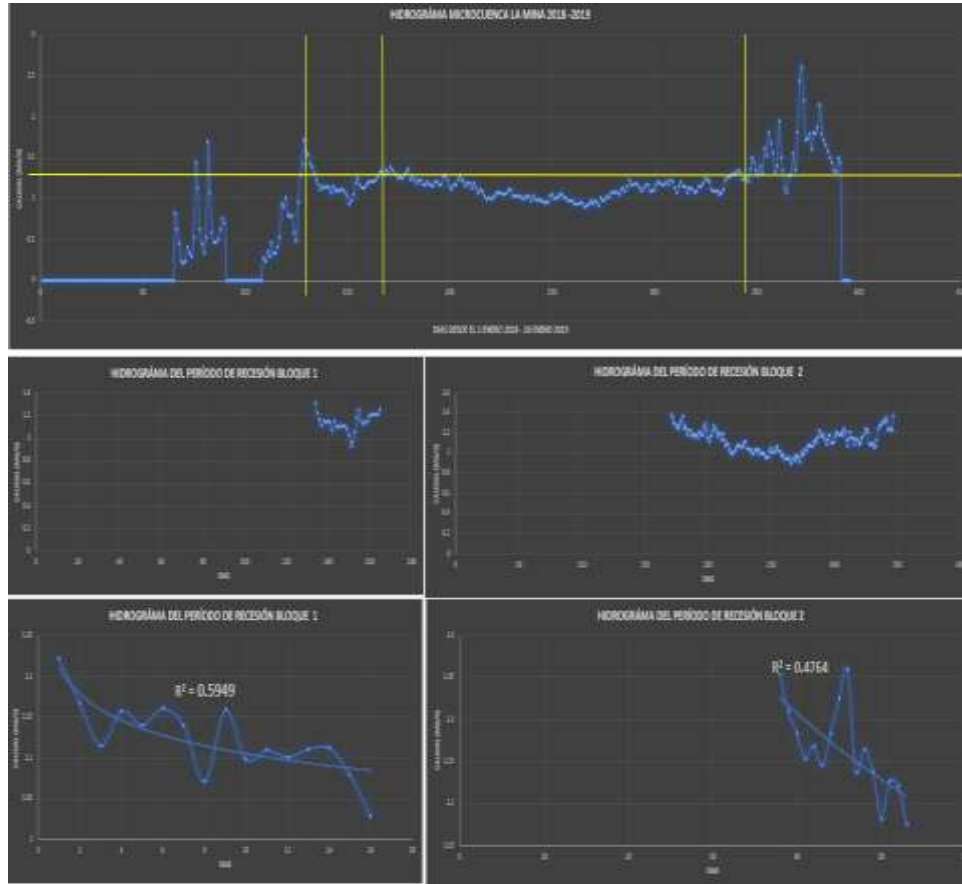


### Microcuenca La Mina.

En la ilustración 8 se puede observar en la primera fila el hidrograma con sus respectivos bloques a analizar, en la segunda fila se observan las dos diferentes recesiones observadas en el hidrograma,

mientras que en la tercera fila observamos el ajuste potencial con la respectiva comprobación de  $R^2 < 0.59; 0.47 >$ .

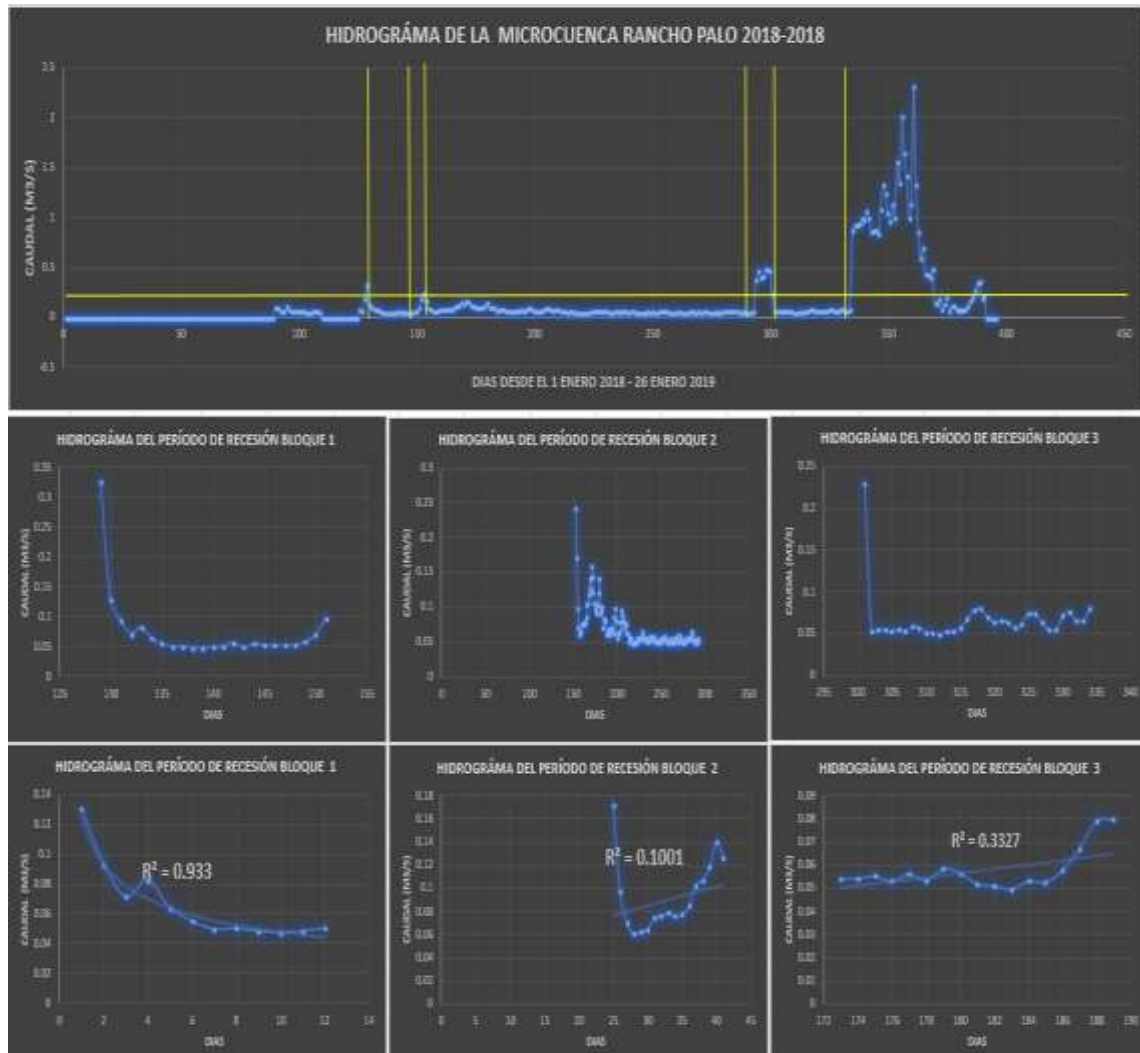
Ilustración 8: Microcuenca La Mina.



### Microcuenca Rancho Palo.

En la ilustración 9 se puede observar en la primera fila el hidrograma con sus respectivos bloques a analizar, en la segunda fila se observan las tres diferentes recesiones observadas en el hidrograma, mientras que en la tercera fila observamos el ajuste potencial con la respectiva comprobación de  $R^2 < 0.933; 0.1001 >$

Ilustración 9: Microcuenca Rancho Palo.



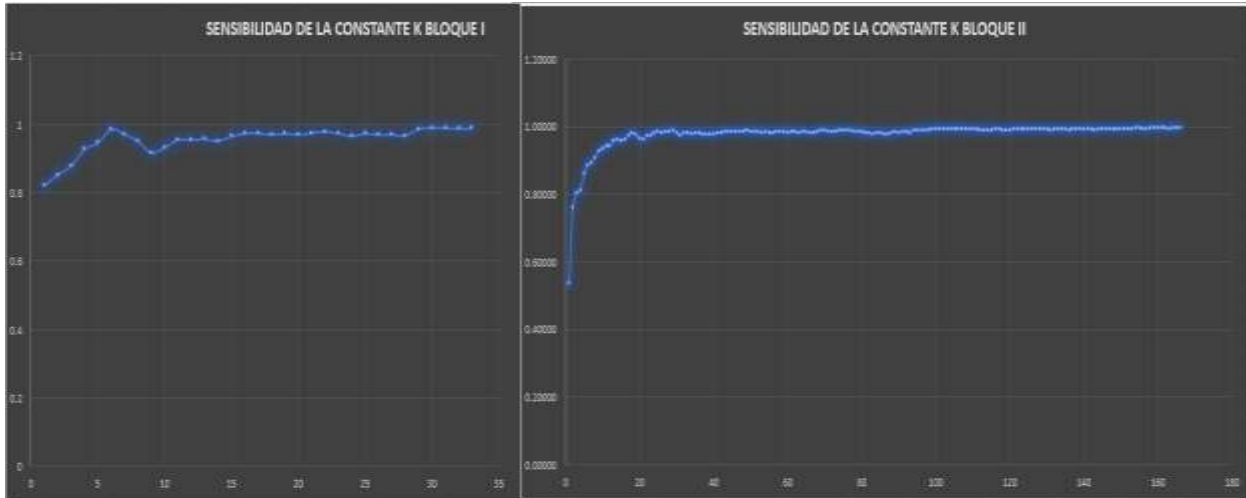
En los tres análisis de las diferentes microcuencas que cuentan con condiciones climáticas similares se observan rangos ( $R^2$ ) aceptables para el ajuste con la función potencial; sin embargo, el planteamiento de la interrogante se basa en el comportamiento del aporte subterráneo evidenciado en los puntos inferiores de la organización de valores. Para esto, es necesaria una regresión logarítmica que ajuste la sensibilidad de los valores de  $K$  con respecto al tiempo de todos los intervalos diarios dentro del periodo considerado de recesión de cada bloque como se muestra en las siguientes gráficas para cada una de las microcuencas en estudio.



**Microcuenca Las Flores.**

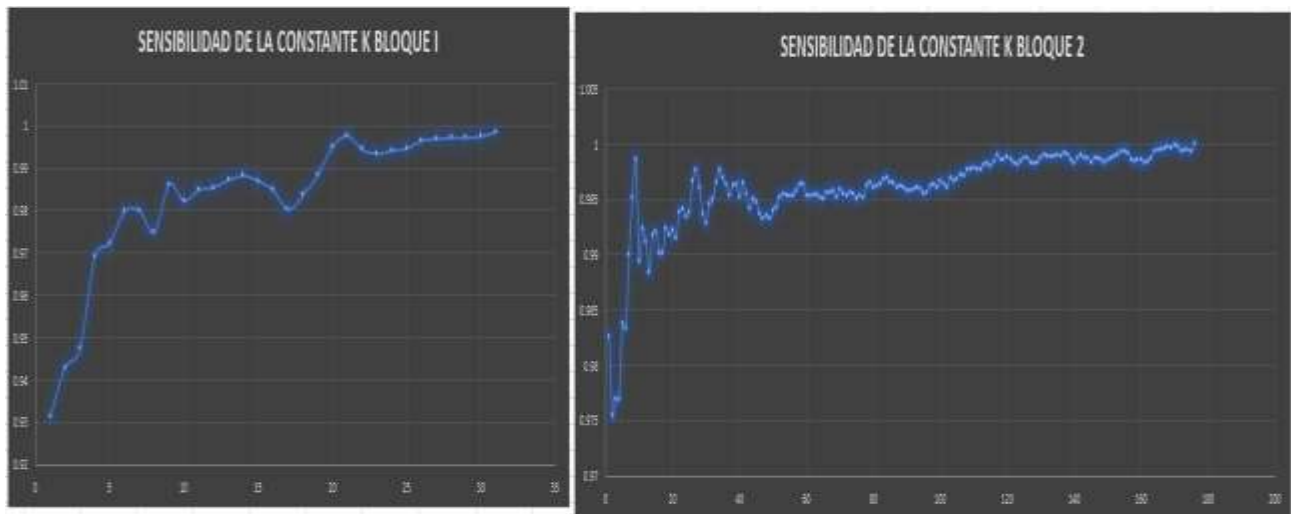
En la ilustración 10 se observa la sensibilidad del valor de K que se acerca a 1 para cada uno de los bloques de la microcuenca Las Flores.

Ilustración 10: Microcuenca Las Flores.

**Microcuenca La Mina.**

En la ilustración 11 se observa la sensibilidad del valor de K que se acerca a 1 para cada uno de los bloques de la microcuenca La Mina.

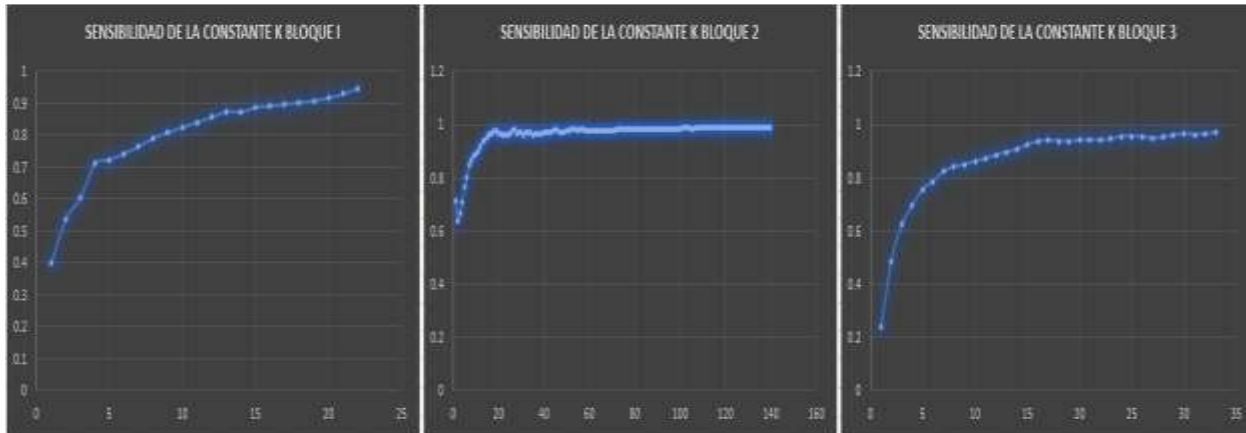
Ilustración 11: Microcuenca La Mina.



### Microcuenca Rancho Palo.

En la ilustración 12 se observa la sensibilidad del valor de K que se acerca a 1 para cada uno de los bloques de la microcuenca Rancho Palo.

Ilustración 12: Microcuenca Rancho Palo.



El objeto de este estudio es derivar una constante de recesión que establezca lo que sucede en la cuenca independientemente del bloque en el que se obtuvo por esto es necesario La ecuación utilizada por (Bako & Hunt, 1988) que establece la contante recesión K como la curva maestra de recesión independientemente del bloque.

$$\log K = \frac{\sum_{i=1}^b \left[ \sum_{v=1}^{n_i} V_j y_{iv} - \frac{1}{2}(n_i)(n_i + 1)(Y_i) \right]}{\sum_{i=1}^b \left( \frac{1}{12} \right) (n_i^3 - n_i)}$$

Donde:

**B**= número de bloques de recesión.

**N<sub>i</sub>**= número de flujos en el bloque de recesión i.

**V<sub>j</sub>**= varianza de flujos en el bloque i.

**Y<sub>i</sub>** =media de flujos en el bloque i.

**Y<sub>iv</sub>**= vth flujo en el bloque i.

Dándonos como resultados los siguientes valores para cada una de las microcuencas:

### Las Flores.

En la ilustración 13 se observa la curva del caudal simulado que se ajusta bastante bien a la curva del caudal observado arrojándonos valores de  $K= 0.997$

Ilustración 13: Microcuenca Las Flores.



### La Mina.

En la ilustración 14 se observa la curva del caudal simulado que se ajusta bastante bien a la curva del caudal observado arrojándonos valores de  $K = 0.999$ .

Ilustración 14: Microcuenca La Mina.



## Rancho Palo.

En la ilustración 15 se observa la curva del caudal simulado que se ajusta bastante bien a la curva del caudal observado arrojándonos valores de  $K = 0.999$ .

Ilustración 15: Microcuenca Rancho Palo.



## CONCLUSIONES.

La obtención de la curva de recesión de los caudales de flujo base es una herramienta sumamente poderosa para la modelación de caudales base, ya que permite modelar y conocer el comportamiento de los acuíferos que se comportan como en reservorio no lineal en el que intervienen la relación almacenamiento descarga.

El método numérico utilizado para la modelación del flujo base si bien no es el más preciso, rápido y exacto, pero brinda información bastante certera de lo que sucede en la relación almacenamiento descarga de lo que sucede en el acuífero, otros métodos como la utilización de software son herramientas que más rápidas y exactas para la calibración de la constante de recesión.

La falta de datos en los estudios el principal problema para la realización de proyectos de investigación, si bien en este estudio se realizaron análisis en un periodo de un año los cuales han dado buenos resultados, sin embargo para la realización de estudios similares es importante obtener

la mayor cantidad de datos posibles por lo menos de 5 años que nos permitan calibrar de mejor manera los valores de la constante de recesión y la curva maestra de recesión que caracteriza a dicha cuenca.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Aguilar, V. M., Macedo Cruz, A., Paz Pellat, F., Ortiz Solorio, C., & Palacios Vélez, E. (2015). Modelación no lineal de la separación del flujo base en subcuencas de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 33(4), 285-297.
2. Bako, M. D., & Hunt, D. N. (1988). Derivation of baseflow recession constant using computer and numerical analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 33(4), 357-367.
3. Giler-Ormaza, A., Navarrete, X. A. Z., Zambrano, J. L. C., Vera, D. A. A., Sánchez, J. P. G., Mera, F., ... & Ramón, J. (2019). Análisis del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas tropicales utilizando índices: estudio de caso en la región costa del Ecuador. *Terra. Nueva Etapa*, 35(58), e1.
4. Padilla, A., Pulido-Bosch, A., & Mangin, A. (1994). Relative importance of baseflow and quickflow from hydrographs of karst spring. *Groundwater*, 32(2), 267-277.
5. Verdugo M. (2017). Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el bosque y vegetación protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico. (Tesis pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede de Cuenca.
6. Wittenberg, H. (1999). Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes. *Hydrological processes*, 13(5), 715-726.
7. Wittenberg, H., & Sivapalan, M. (1999). Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation. *Journal of hydrology*, 219(1-2), 20-33.

**DATOS DE LOS AUTORES.**

- 1. Miller Ernesto Rodríguez Bravo.** Ingeniero Hidráulico. Maestrante de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: [mrodriguez1134@pucesm.edu.ec](mailto:mrodriguez1134@pucesm.edu.ec)
- 2. Micheal David Caicedo Toro.** Magíster en Ciencias Ambientales Mención Tecnologías y Gestión. Docente de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: [mcaicedo@pucesm.edu.ec](mailto:mcaicedo@pucesm.edu.ec)
- 3. Pedro Elías Intriago Zambrano.** Ingeniero Hidráulico. Maestrante de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: [pintriago5522@pucesm.edu.ec](mailto:pintriago5522@pucesm.edu.ec)
- 4. Andy Miguel Giler-Ormaza.** Master of Science in River Basin Dynamics and Management with Geographical Information Systems. Docente de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: [agiler@pucesm.edu.ec](mailto:agiler@pucesm.edu.ec)

**RECIBIDO:** 1 de febrero del 2021.**APROBADO:** 10 de febrero del 2021.