



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Comite Chileno
para el Programa
Hidrologico Internacional
CONAPHI-CHILE



ESTUDIO DE ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN SUB SUB CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO, EN LAS REGIONES DEL MAULE, BIOBÍO Y LA ARAUCANÍA, Y SU RELACIÓN CON EL USO ACTUAL DEL SUELO

Seminario Programa Agua y Sistemas Forestales

Dr. Roberto Pizarro Tapia
Director

Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental

EFECTOS HIDROLÓGICOS

DE LA VEGETACIÓN – CUBIERTA AÉREA

CUBIERTA AÉREA

- *Disminución de la energía cinética de la lluvia*
- *Disminución de la erosión por salpicadura*
- *Disminución de la fragmentación de agregados del suelo*
- *Disminución del sellado superficial*
- *Mayor infiltración*
- *Disminución de la escorrentía*
- *Disminución de la precipitación que alcanza el suelo (intercepción)*



EFECTOS HIDROLÓGICOS

DE LA VEGETACIÓN – CUBIERTA VIVA O MUERTA DEL SUELO

CUBIERTA VIVA O MUERTA EN CONTACTO CON EL SUELO

- *Disminución de la energía cinética de la lluvia*
- *Aumento de la resistencia a la circulación superficial del flujo*
- *Menor circulación en línea de máxima pendiente*
 - *Mayor tiempo de circulación*
 - *Menor capacidad erosiva del flujo*
- *Mayor retención superficial del agua*
- *Aumento de la formación de agregados estables*



EFECTOS HIDROLÓGICOS

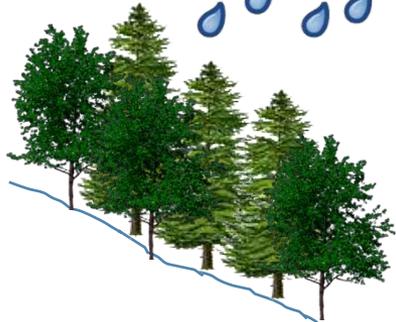
DE LA VEGETACIÓN – SISTEMAS RADICALES

SISTEMAS RADICALES

- *Mayor infiltración*
- *Aumento de la calidad del agua*
 - *Menor emisión de nutrientes a la red de drenaje*
- *Mayor estabilidad del suelo*
- *Menor humedad del suelo (transpiración)*
 - *Menor volumen total de recursos hídricos, alta tasa de infiltración*



P



Si tenemos una lluvia de x mm que cae sobre 2 laderas con igual pendiente, condición hidrogeológica y tipo de suelo, pero con diferente vegetación, entonces:

Pérdida x interceptación: 15%
→ llega al suelo **85%**

De lo que llega al suelo, infiltra 20%
→ Infiltración = $0,85 \cdot 0,2 = 17\%$

De lo que infiltra, la mitad recarga
→ Recarga = $0,17 \cdot 0,5 = 8,5\%$

Debido a que en el suelo hay materia orgánica que dificulta que el agua se desplace rápidamente pendiente abajo.

Transpiración > Evaporación

Y el monto que escurre es
→ Escorrentía = $0,85 \cdot 0,8 = 68\%$

P



Pérdida x interceptación: 1%
→ llega al suelo **99%**

De lo que llega al suelo, infiltra 2%
→ Infiltración = $0,99 \cdot 0,02 = 2\%$

De lo que infiltra, la mitad recarga
→ Recarga = $0,02 \cdot 0,5 = 1\%$

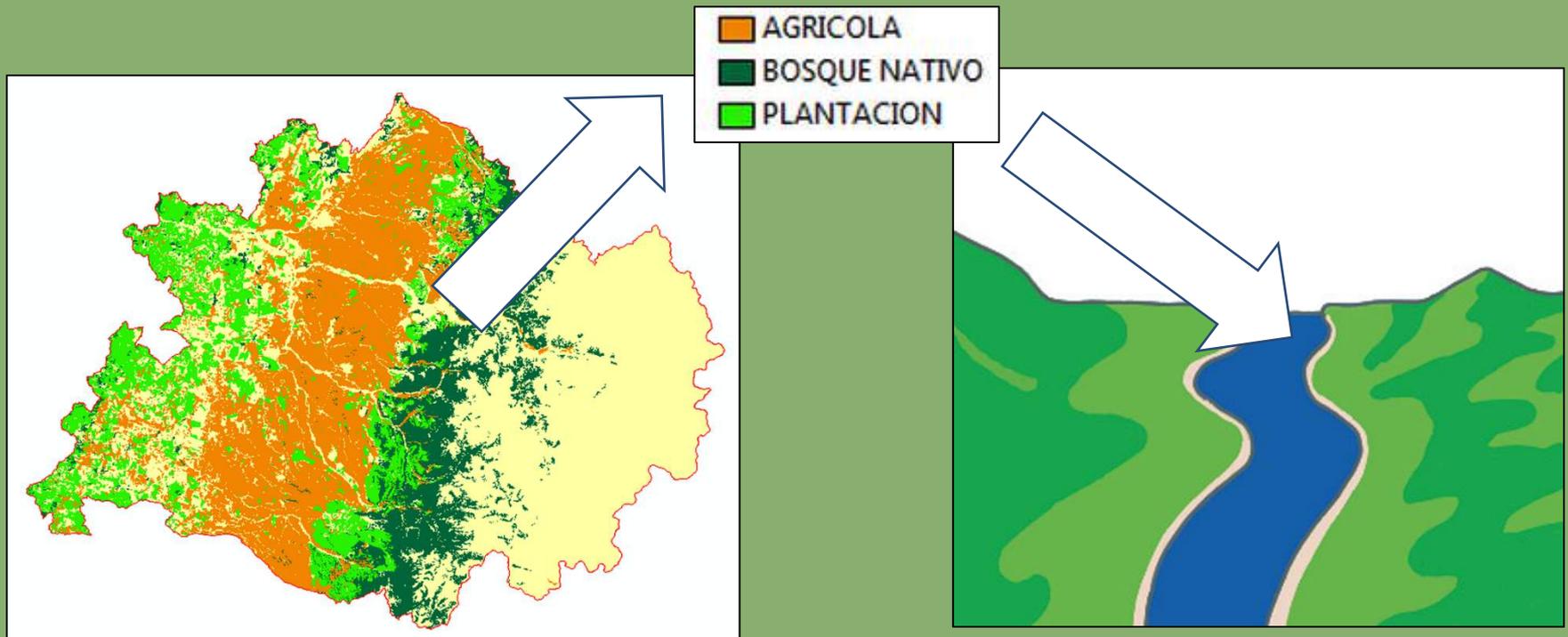
Evaporación > Transpiración

Y el monto que escurre es
→ Escorrentía = $0,99 \cdot 0,98 = 97\%$

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL:

- Determinar preliminarmente si las actividades silvoagropecuarias han afectado la escorrentía superficial en cuencas entre las regiones del Maule y la región de La Araucanía en los meses estivales.



ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



1. SELECCIÓN DE DATOS

SELECCIÓN DE ESTACIONES Y DATOS

- Se seleccionaron 40 estaciones fluviométricas (DGA) que tuviesen al menos 20 años de registro de caudal medio (Q_m) y de caudal máximo instantáneo (Q_i) a nivel mensual y anual (desde 1993 a 2013) .
- Se seleccionaron estaciones que estuviesen en cuencas con poca o nula intervención antrópica.



PROBLEMAS

- Estaciones sin 20 años de registro de datos de Q_i .
- Estaciones que representaban cuencas muy intervenidas.
- Falta de registro de datos algunos meses en algunas estaciones.



SOLUCIONES

- Ampliación de la zona de estudio hacia regiones de O'higgins y Los Lagos.
- No discriminación de meses con más de 15 datos dentro de los 20 años de registro.

ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



1. SELECCIÓN DE DATOS – AÑOS DE REGISTRO POR ESTACIÓN

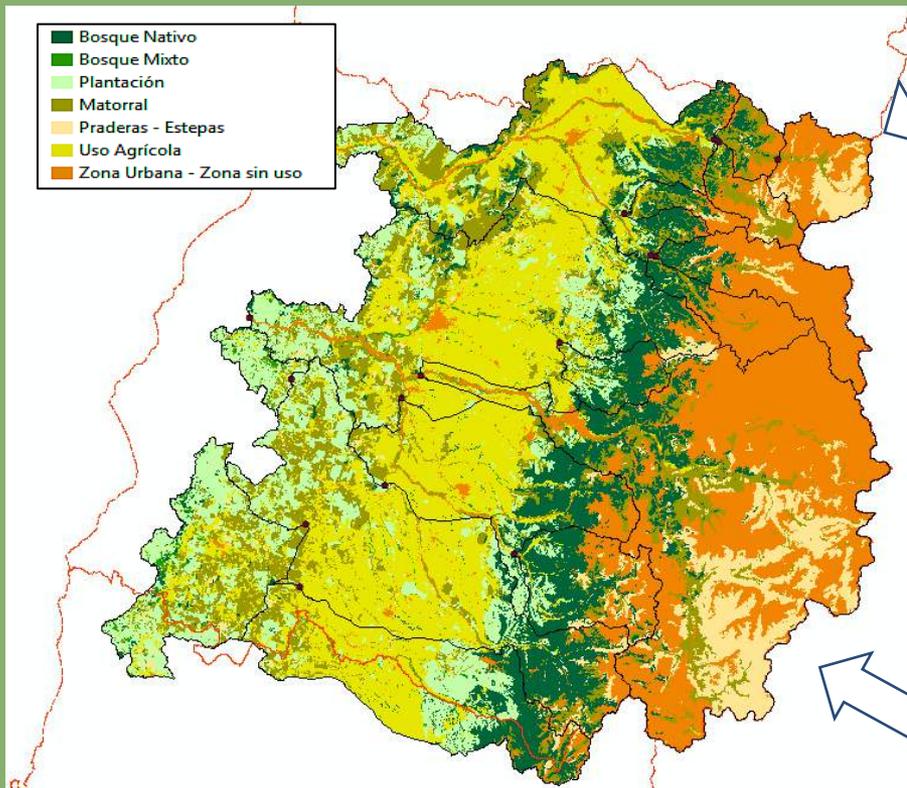
Cuenca	Estación	Años de registro	
		Qm	Qi
Itata	Itata en Coelemu	29*	29*
	Itata en General Cruz	58*	56*
	Cato en puente Cato	55*	54*
	Ñuble en San Fabián	68*	56*
	Ñuble en La Punilla	57*	56*
	Diguillin en Longitudinal	58*	36*
Biobío	Diguillin en San Lorenzo	68	56
	Biobio en Desembocadura	44*	44*
	Biobio en Rucalhue	77*	44*
	Laja en puente Perales	57*	55*
Imperial	Mininco en Longitudinal	51	51*
	Cautin en Almagro	49*	26*
	Cautin en Cajon	65	42*
	Cautin en Rari Ruca	85*	53*
Toltén	Quepe en Quepe	85*	52*
	Tolten en Teodoro Smith	22*	23*
	Tolten en Villarica	85*	52*
	Donguil en Gorbea	49*	26*
	Allipen en Los Laureles	68	52
Calle-Calle	Curaco en Colico	28*	28*
	San Pedro en Desague lago Riñihue	29	29
Bueno	Damas en Tacamo	28	24
	Coihueco antes junta Pichicope	27	24

Nota:

Los valores marcados con asterisco (*), indican la ausencia de hasta 5 valores en alguna de las series mensuales de los últimos 20 años de registro.

ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO

2. DISEÑO DE CUENCAS Y PROPORCIÓN DEL USO ACTUAL DE SUELO



DISEÑO DE CUENCAS

- Se delimitaron las cuencas tomando como punto de desagüe la ubicación espacial de la estación.

OBTENCIÓN DE LA PROPORCIÓN DEL USO DEL SUELO

- Se cruzó el diseño del polígono de la cuenca con la capa vectorial de uso actual de suelo (previamente reclasificado) del catastro de bosque nativo de CONAF
- Se obtuvieron las proporciones mediante calculadoras digitales de terreno.

ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



2. DISEÑO DE CUENCAS Y PROPORCIÓN DEL USO ACTUAL DE SUELO

Categoría de Reclasificación	Categorías del catastro involucradas
PLANTACION	Plantación Joven - Recién Cosechada.
	Plantación de Arbustos.
	Plantación.
PRADERA - ESTEPA	Pradera.
	Praderas Anuales.
	Praderas Perennes.
	Estepa Andina Central y Patagónica.
URBANA - SIN USO	Ciudades – Pueblos - Zonas Industriales.
	Minera Industrial.
	Afloramientos Rocosos.
	Corridas de Lava y Escoriales.
	Derrumbes Sin Vegetación.
	Otros Terrenos Sin Vegetación.
	Sin Cobertura Aerofotográfica.
	Terrenos sobre limite vegetacional.
	Áreas de acceso Restringido.
	Ríos, Nieves y Cajas de Ríos.
	Lago-Laguna-Embalse-Tranque.
	Playas y Dunas.
Vegetación herbácea en orilla.	

ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



2. DISEÑO DE CUENCAS Y PROPORCIÓN DEL USO ACTUAL DE SUELO

N°	Estación	CUENCA	Área (%)							TOTAL (KM ²)
			BOSQUE NATIVO	BOSQUE MIXTO	PLANTACIÓN	MATORRAL	PRADERA ESTEPA	AGRÍCOLA	URBANO SIN USO	
27	Biobío en Desembocadura	Biobío	29,1	1,8	25,6	11,4	7,0	16,4	8,7	24.251
28	Biobío en Rucalhue		52,0	0,1	1,0	19,1	13,6	1,6	12,7	6.903
29	Laja en puente Perales		25,9	0,6	15,6	17,2	9,5	7,7	23,5	3.592
30	Mininco en Longitudinal		11,2	1,4	61,3	0,3	1,5	24,3	0,0	444
31	Cautín en Almagro	Imperial	27,8	0,6	8,1	5,4	3,9	49,3	4,9	5.597
32	Cautín en Cajon		35,9	0,4	7,5	7,2	3,5	38,9	6,7	2.726
33	Cautín en Rari Ruca		53,4	0,3	2,6	10,7	5,2	15,1	12,9	1.297
34	Quepe en Quepe		29,1	0,7	8,6	4,6	3,5	51,1	2,5	1.699
35	Toltén en Teodoro Smith	Toltén	43,2	1,7	7,5	6,1	25,1	5,8	10,6	7.841
36	Toltén en Villarica		62,1	0,6	1,1	7,5	12,6	0,3	15,9	2.866
37	Donguil en Gorbea		13,1	4,7	12,2	0,8	63,0	6,0	0,2	735
38	Allipen en Los Laureles		45,4	0,3	6,6	8,2	15,2	8,6	15,7	1.649
39	Curaco en Colico	Calle-Calle	60,2	1,4	6,7	6,8	13,0	1,0	10,9	539
40	San Pedro en Desague lago Riñihue		64,9	0,7	1,0	2,6	11,8	18,1	1,1	3.304
41	Damas en Tacamo		19,6	1,1	0,6	3,9	74,4	0,5	0,1	252
42	Coihueco antes junta Pichicope		74,5	0,1	4,7	6,1	12,5	0,1	2,1	324
19	Purapel en Nirivilo	Maule	4,3	8,2	67,1	12,2	0,9	6,8	0,5	263
20	Itata en Coelemu		20,5	2,3	21,1	7,6	2,1	35,7	10,7	9.950
21	Itata en General Cruz		23,5	1,8	30,4	8,7	0,8	32,9	1,9	1.691
22	Cato en puente Cato		25,9	1,6	32,9	3,0	0,1	33,3	3,3	944
23	Ñuble en San Fabián	Itata	42,9	0,0	0,2	6,8	6,5	0,6	43,0	1.650
24	Ñuble en La Punilla		34,5	0,0	0,0	6,9	7,5	0,1	51,0	1.255
25	Diguillín en Longitudinal		29,2	0,6	13,2	5,8	0,9	42,5	8,0	1.412
26	Diguillín en San Lorenzo		48,5	0,1	0,1	24,0	2,2	0,5	24,3	203

ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



3. ANÁLISIS MANN KENDALL - TENDENCIAS

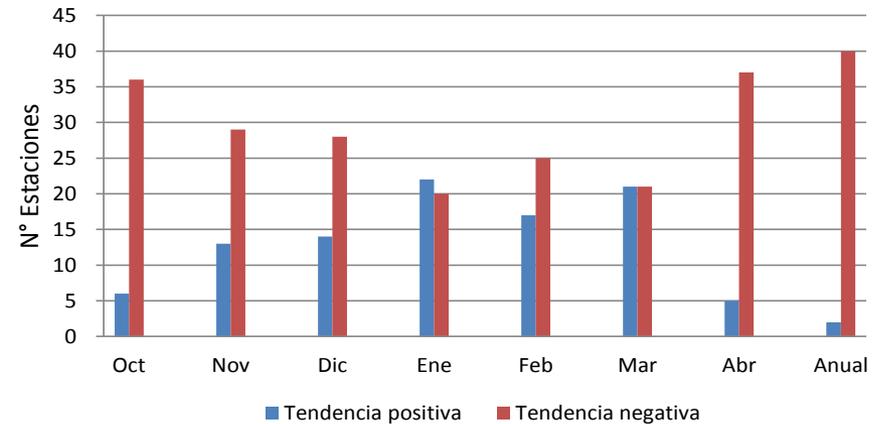
Mes	Caudal Medio			
	Tendencia +	Tendencia -	Tend. + sig.	Tend. - sig.
Octubre	6	36	1	1
Noviembre	13	29	1	2
Diciembre	14	28	0	1
Enero	22	20	5	1
Febrero	17	25	5	2
Marzo	21	21	3	4
Abril	5	37	0	10
Total meses	98	196	15	21
Anual	2	40	1	5

estación y se obtuvieron los valores Q y la tendencia para cada mes.

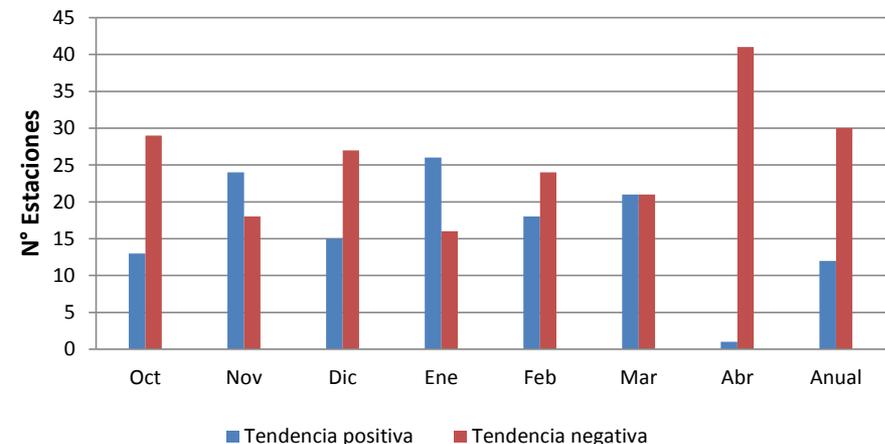
Mes	Caudal Punta			
	Tendencia +	Tendencia -	Tend. + sig.	Tend. - sig.
Octubre	13	29	2	0
Noviembre	24	18	1	1
Diciembre	15	27	2	1
Enero	26	16	6	0
Febrero	18	24	6	6
Marzo	21	21	2	1
Abril	1	41	0	21
Total meses	118	176	19	30
Anual	12	30	0	0

valor histórico del mes.

Tendencia Mann-Kendall para caudales medios



Tendencia Mann-Kendall para caudales punta

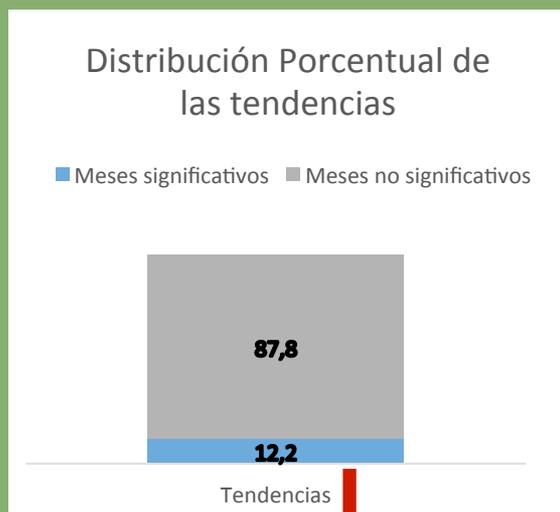


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO

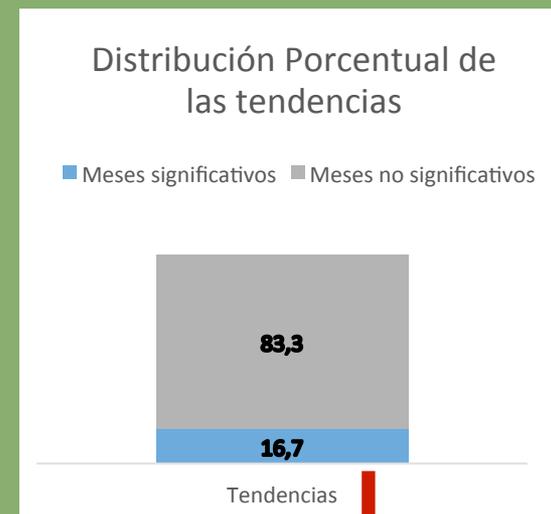


3. ANÁLISIS MANN KENDALL - TENDENCIAS

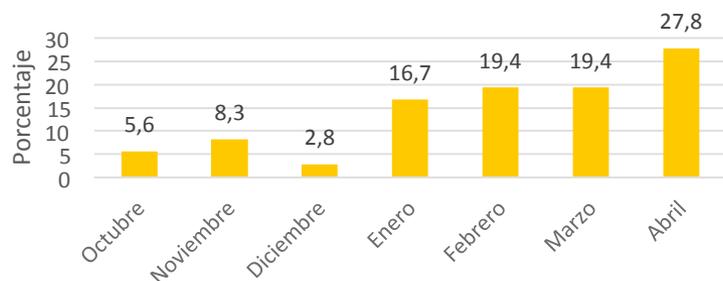
Distribución de las tendencias CAUDALES MEDIOS



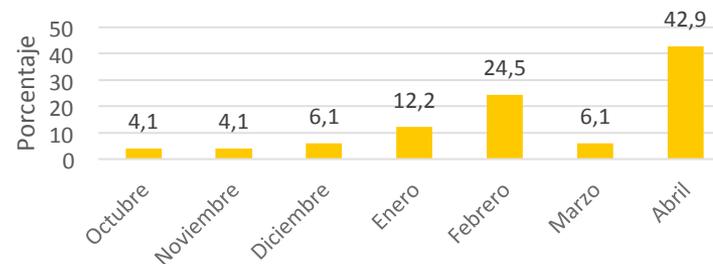
Distribución de las tendencias CAUDALES PUNTA



Distribución mensual en porcentaje de tendencias significativas



Distribución mensual en porcentaje de tendencias significativas

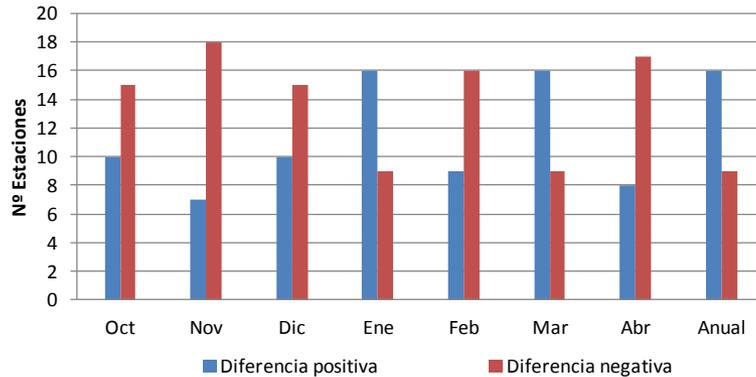


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO

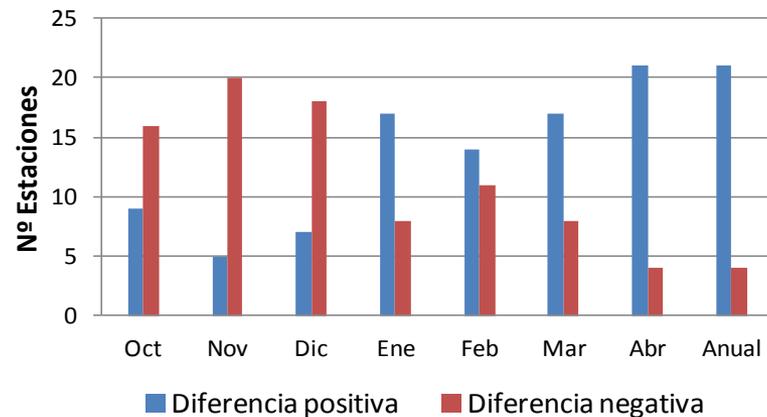


4. COMPARACIÓN ENTRE PERIODOS

Diferencia porcentual entre periodos para Caudales Medios



Diferencia porcentual entre periodos para Caudales Punta



COMPARACIÓN DE PERIODOS

$$\Delta P = \frac{Q(93-13) - Q(73-93)}{Q(73-93)}$$

registro para realizar una comparación de los valores del caudal medio y del caudal punta.

Mes	Caudal Medio		Caudal Punta	
	Tendencia +	Tendencia -	Tendencia +	Tendencia -
Octubre	10	15	9	16
Noviembre	7	18	5	20
Diciembre	10	15	7	18
Enero	16	9	17	8
Febrero	9	16	14	11
Marzo	16	9	17	8
Abril	8	17	21	4
Total meses	76	99	90	85
Anual	16	9	21	4

ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO

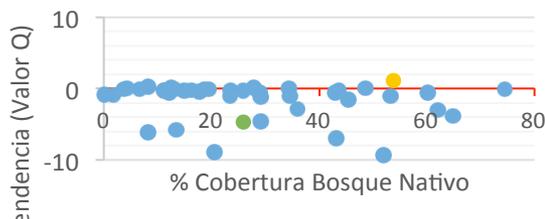


5. TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

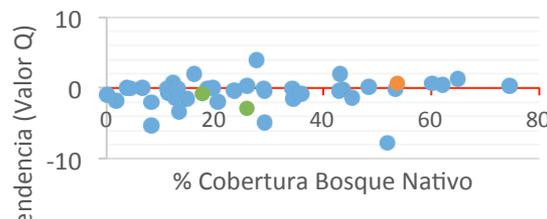
Caudal medio – Bosque Nativo

GRÁFICOS DE TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

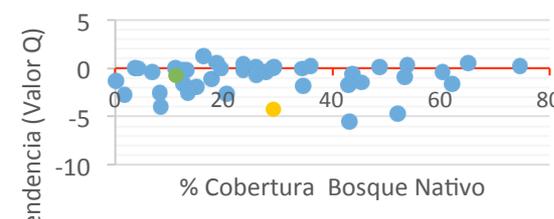
Octubre



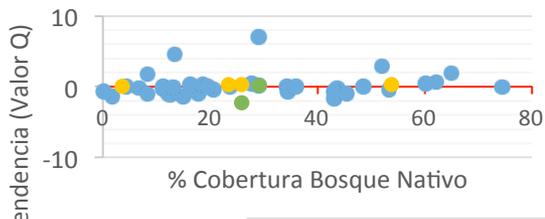
Noviembre



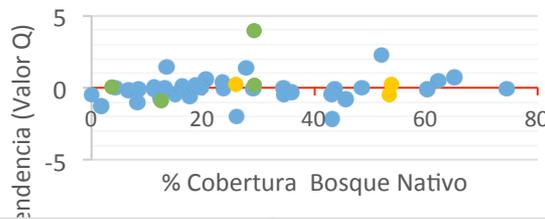
Diciembre



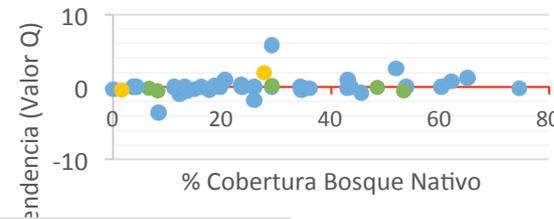
Enero



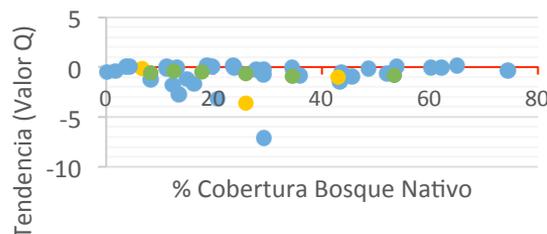
Febrero



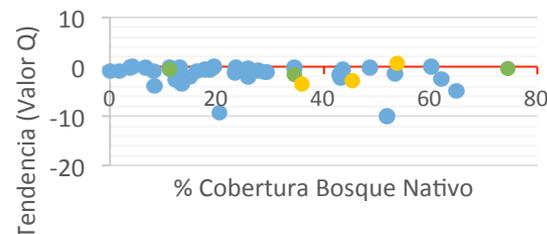
Marzo



Abril



Anual

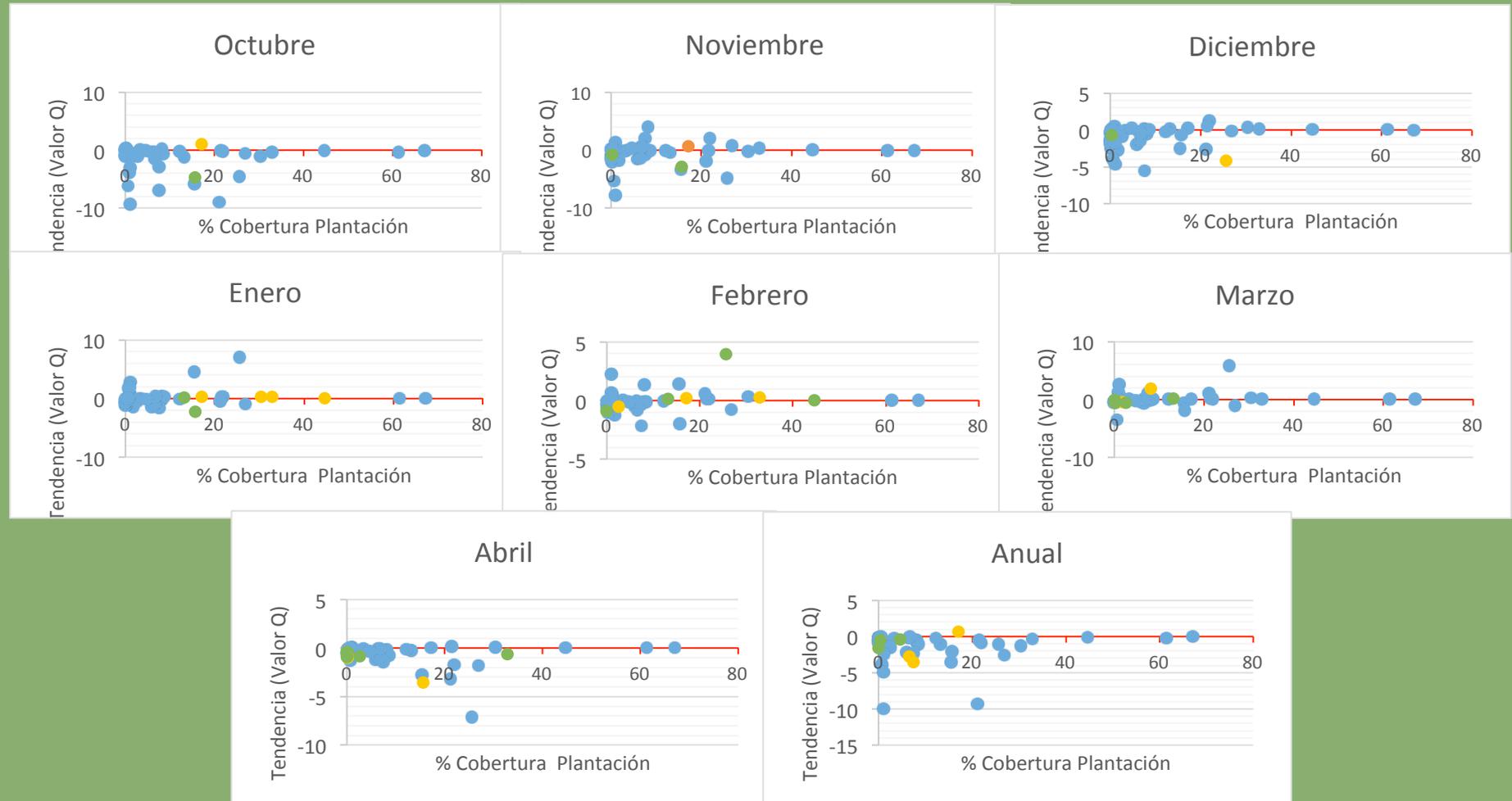


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



5. TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

Caudal medio – Plantaciones

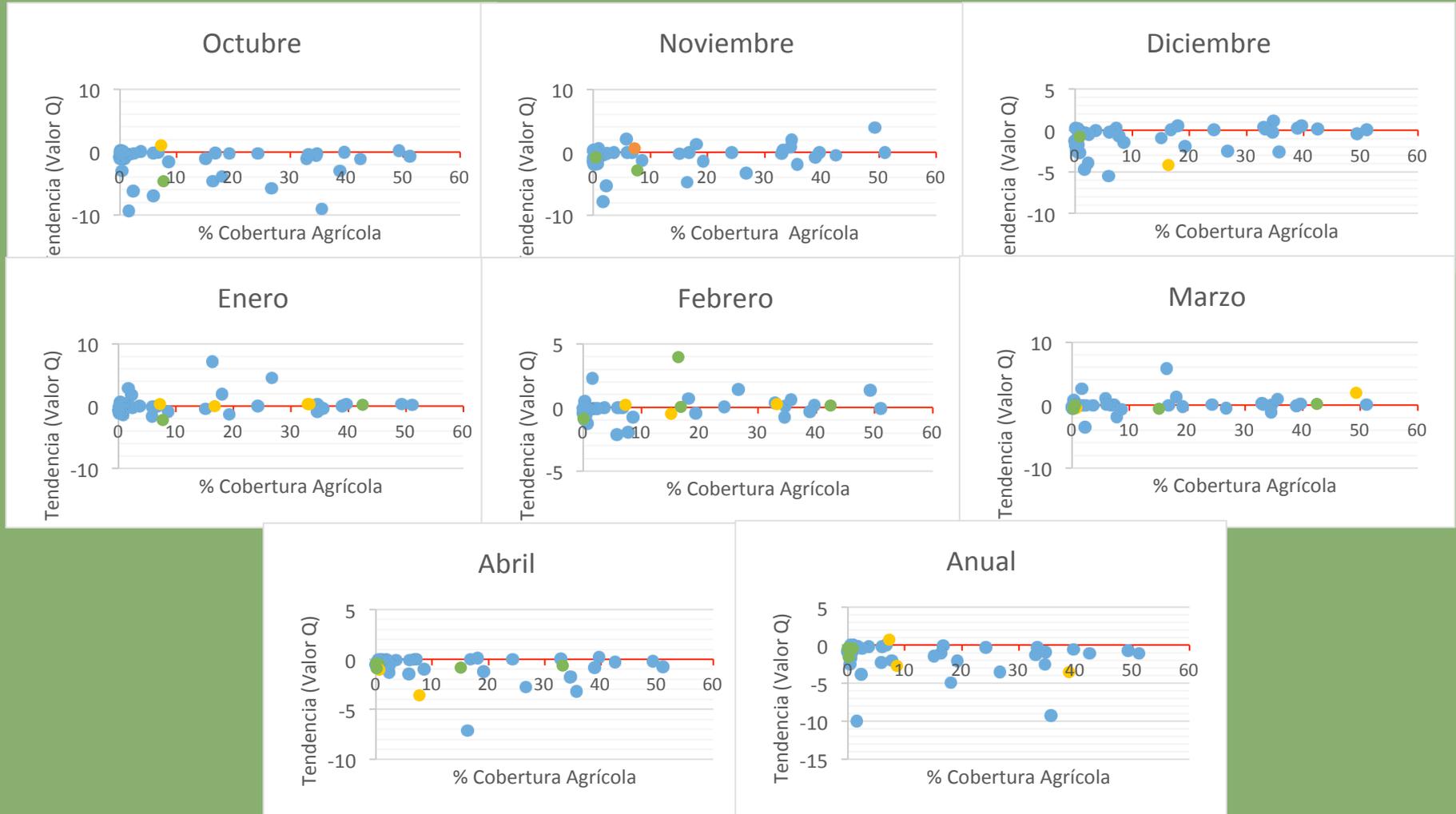


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



5. TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

Caudal medio – Uso Agrícola

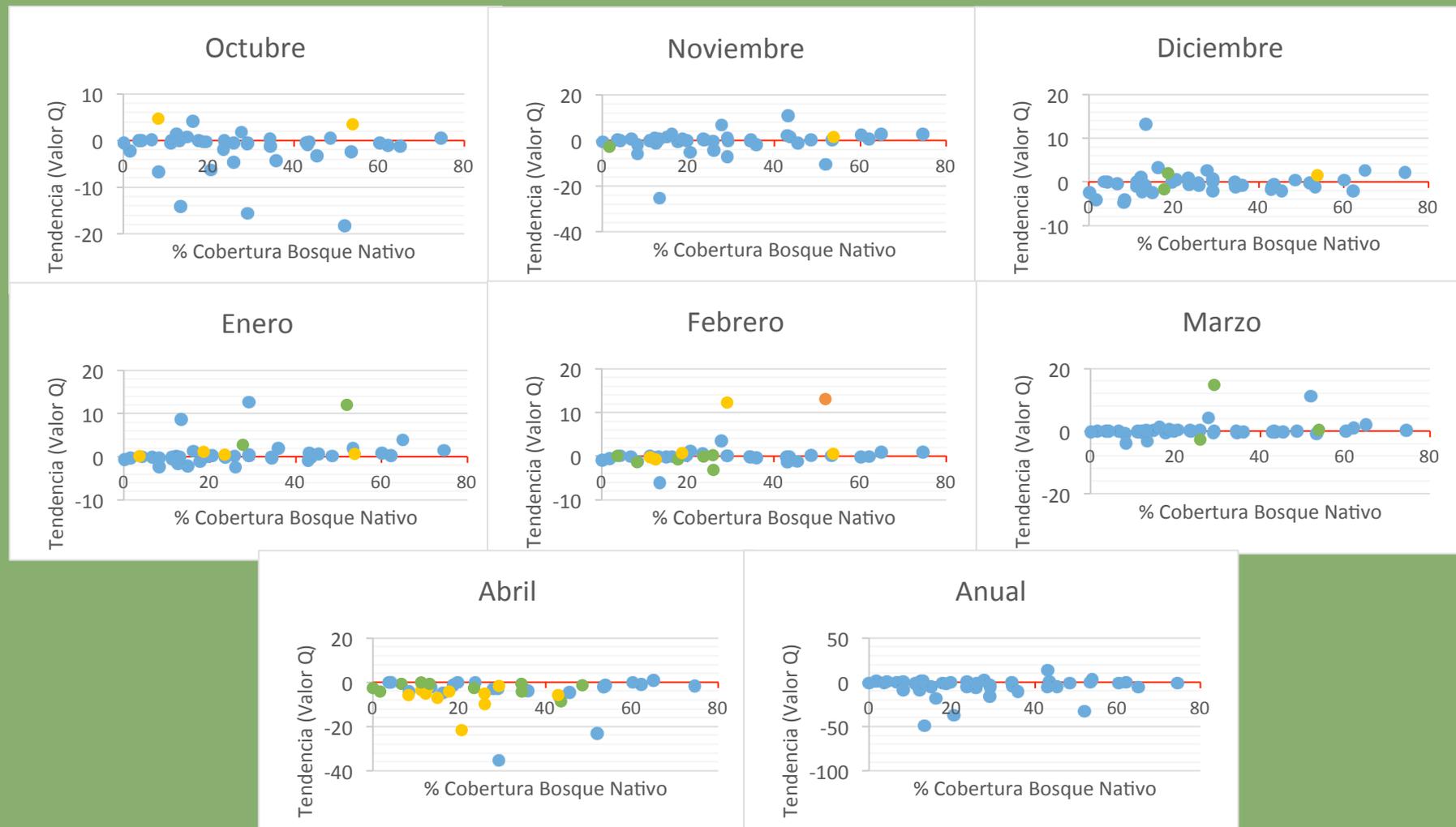


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



5. TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

Caudal punta – Bosque Nativo

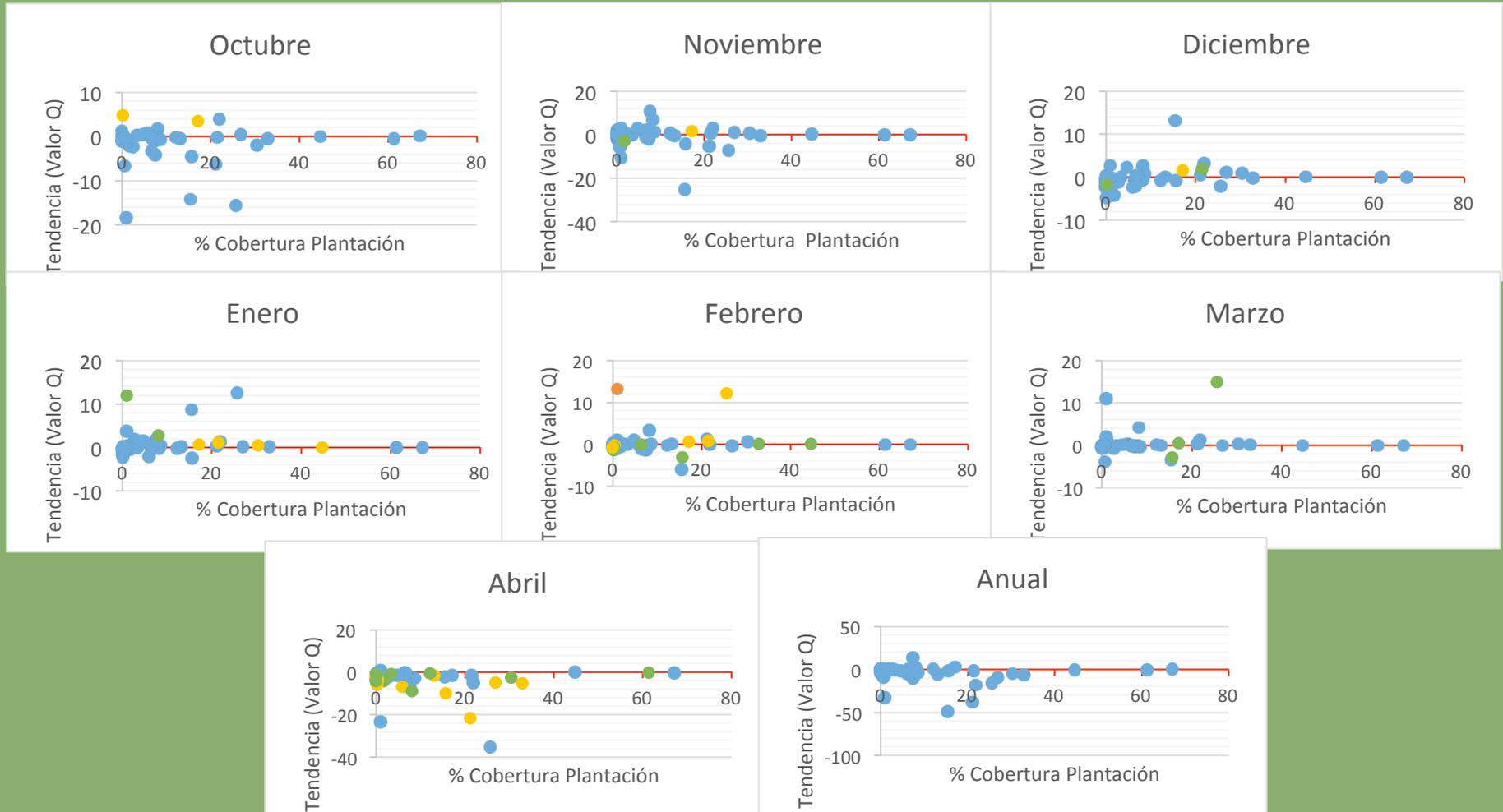


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



5. TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

Caudal punta – Plantaciones

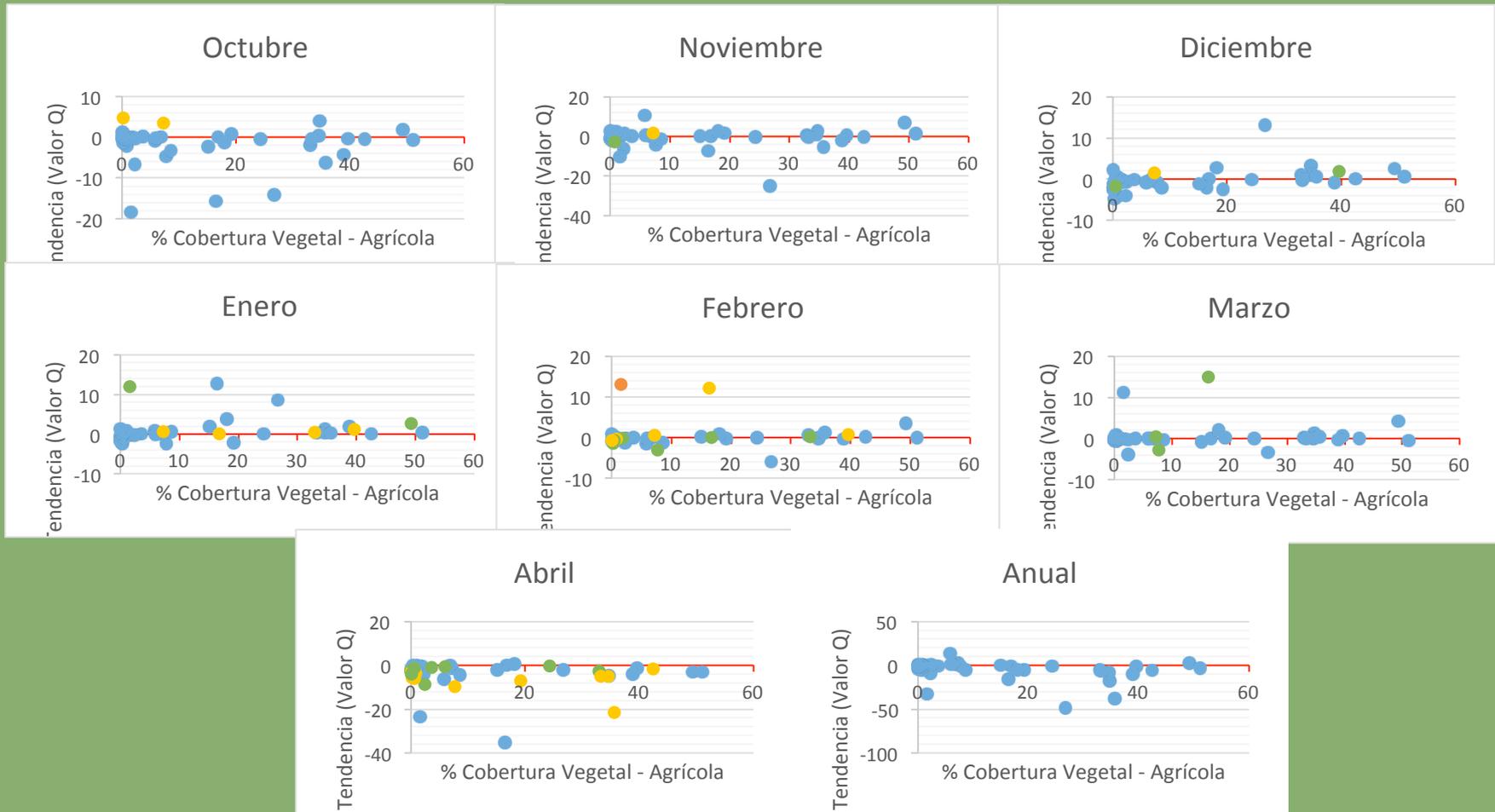


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



5. TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

Caudal punta – Uso Agrícola

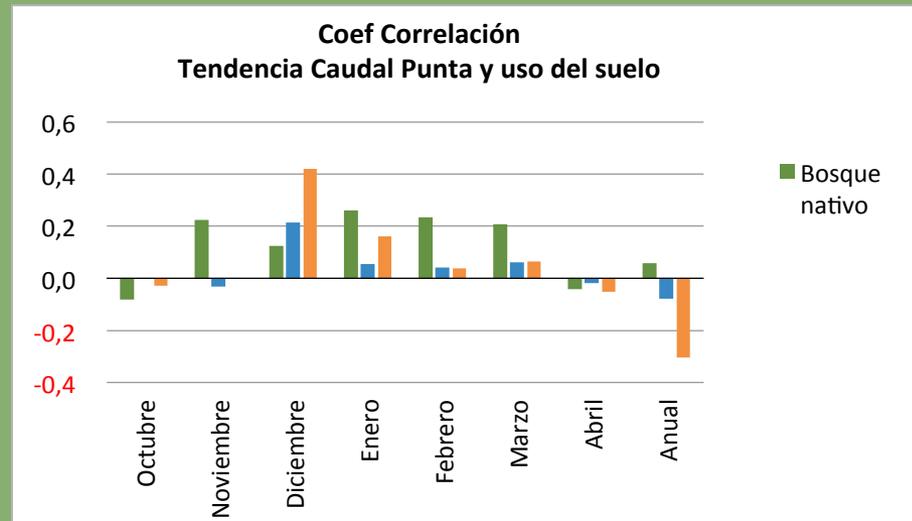
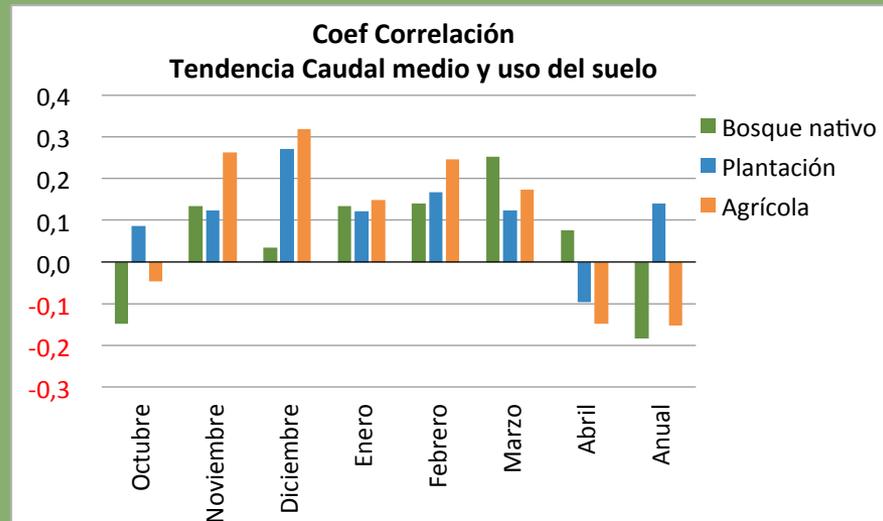


ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO



5. TENDENCIAS VS COBERTURA VEGETAL

Coeficientes de Correlación



	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Anual
Caudal medio								
Bosque nativo	-0,15	0,13	0,03	0,13	0,14	0,25	0,08	-0,18
Plantación	0,09	0,12	0,27	0,12	0,17	0,12	-0,10	0,14
Agrícola	-0,05	0,26	0,32	0,15	0,25	0,17	-0,15	-0,15
Caudal punta								
Bosque nativo	-0,08	0,23	0,12	0,26	0,23	0,21	-0,04	0,06
Plantación	-0,00	-0,03	0,21	0,05	0,04	0,06	-0,02	-0,08
Agrícola	-0,03	-0,00	0,42	0,16	0,04	0,07	-0,05	-0,30

7. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con respecto a la comparación entre periodos:

En cuanto al caudal medio, un 56,6% de los diferenciales muestran una tendencia a la baja

En el caudal punta, las tendencias a la baja disminuyen al 48,6%.

→ Se recomienda realizar a futuro un análisis de Mann Kendall para observar si es que estas tendencias son significativas o no.

170 series de datos (alrededor del 60%) tienden a la baja, de las cuales 50 (10,2%) son significativas.

En cuanto a las que tienden al alza, 6,5% (19 series) son significativas

Con respecto a las tendencias de ambos caudales:

El mes de enero es el que presenta el mayor número de tendencias positivas que negativas

El mes de abril es el que presenta la mayor cantidad de tendencias negativas.

→ Lo primero puede deberse al derretimiento glacial, mientras que lo segundo puede deberse a que ese mes marca el término y el inicio del año hidrológico.

7. CONCLUSIONES

Finalmente, se puede decir que el análisis hecho a 42 cuencas demostraría que no es posible afirmar que sea el tipo de uso del suelo el causante o el factor determinante de las tendencias de producción de agua en los periodos estivales para cada cuenca analizada. Esto hace inferir que existirían otras variables que pudiesen explicar de mejor forma las variaciones en la producción de agua de las cuencas, tales como, las precipitaciones, el cambio en las demandas de agua por parte de usuarios endógenos o exógenos a la cuenca, el comportamiento hidrogeológico de las cuencas y las extracciones de agua superficiales y subterráneas, entre otras.



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Comite Chileno
para el Programa
Hidrologico Internacional
CONAPHI-CHILE



ESTUDIO DE ANÁLISIS TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL EN SUB SUB CUENCAS CON APROVECHAMIENTO HUMANO, EN LAS REGIONES DEL MAULE, BIOBÍO Y LA ARAUCANÍA, Y SU RELACIÓN CON EL USO ACTUAL DEL SUELO

Seminario Programa Agua y Sistemas Forestales

Dr. Roberto Pizarro Tapia
Director

Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental