



## A. ANEXOS

### A.1 Balance de humedad del suelo

Se realizaron simulaciones de balances hidrológicos a escala diaria y decadal con base en los registros de la estación Tulenapa. Para realizar los balances hidrológicos se usó como herramienta computacional el software Budget (K.U.Leuven University 2005). Con el uso de este software se puede incorporar cada uno de los componentes del balance hidrológico: partición evaporación – transpiración del cultivo, procesos afectados por la humedad del suelo, el tipo y grado de desarrollo del cultivo y coeficientes de estrés hídrico. La escorrentía superficial es calculada por el método de la curva número del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos. Así mismo la infiltración, percolación y patrón de extracción de humedad de un suelo al cual se le definen sus propiedades hidrofísicas. El software puede realizar balances de humedad de suelo a escala diaria, decadal o mensual. Se puede representar el modelo según la siguiente figura en el cual se simboliza el volumen de control en el cual se evalúa el cambio de humedad como respuesta a las entradas (lluvia, riego, ascenso capilar) y salidas (escorrentía, evapotranspiración, percolación).

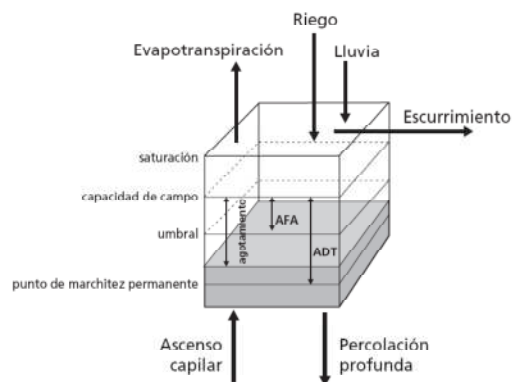


Figura A.1: Balance hidrológico del suelo. Fuente (Allen *et al.* 2006)

Como entradas del modelo están la precipitación y la evapotranspiración del cultivo de referencia. Se definió un perfil de suelo con estratos discretos que limitan entre sí, a los cuales se les definen sus características hidrofísicas, como la cobertura del suelo, que puede ir desde suelo desnudo hasta un cultivo con sus características relacionadas con agua definidas:  $K_c$ ,  $K_s$ ,  $K_y$ , LAI, patrón de raíces, que en su orden representan factor de



cultivo, factor de estrés por agua, factor de respuesta a la producción por estrés hídrico, índice de área foliar y patrón de distribución de las raíces en el suelo y por tanto patrón de extracción de agua.

Para realizar este balance se utilizaron datos diarios de precipitación y evaporación de la estación Tulenapa con registros entre 01/01/1995 y 31/12/2003. Se realizaron 2 balances en un suelo agrícola con cultivo de banano establecido. Los suelos se definieron hasta una profundidad de 4.8 mts en una primera simulación se situó un estrato relativamente impermeable en el fondo y en otra simulación definiendo un estrato inferior con un drenaje adecuado. El suelo se dividió en 12 compartimentos. Para el cultivo se definió Kc, Ky, profundidad radicular, LAI, y demás parámetros según bibliografía. Para el cálculo de la escorrentía superficial se escogió un número de curva, según las características del cultivo y el tipo de suelo escogido. El software corrige durante la simulación el número de curva según la humedad antecedente para cada delta de tiempo.

Se definieron los siguientes atributos al cultivo y propiedades físicas de los suelos:

Tabla A-1: Parámetros de un cultivo de Banano usados en la simulación.

Parámetro	Valor
Kc	1,1
Ky	1,27
Ks	Estimado según “p”
LAI	3,5
Profundidad radicular efectiva	0,75
Factor de Agotamiento	0,35

Tabla A-2: Propiedades hidrofísicas de los suelos usadas en la simulación.

Propiedad	Suelo A		Suelo B	
	Estrato 1	Franco	Estrato 1	Franco arenoso
Textura	Estrato 2	Arcilloso*	Estrato 2	Franco areno - arcilloso **
Humedad Volumétrica a Capacidad de Campo (%)	31		22	
Humedad Volumétrica a PMP (%)	15		10	
Humedad Volumétrica a Saturación (%)	46		41	
Tau. (Parámetro de drenaje)	0,6		0,75	
Profundidad (m)	4,5		4,5	
Conductividad Hidráulica (mm/día)	250		500	

\* Estrato impermeable de 0,4 mts de espesor y K = 2 mm/día.

\*\* Estrato de 0,4 mts de espesor y K = 125 mm/día.



Se obtienen los siguientes resultados:

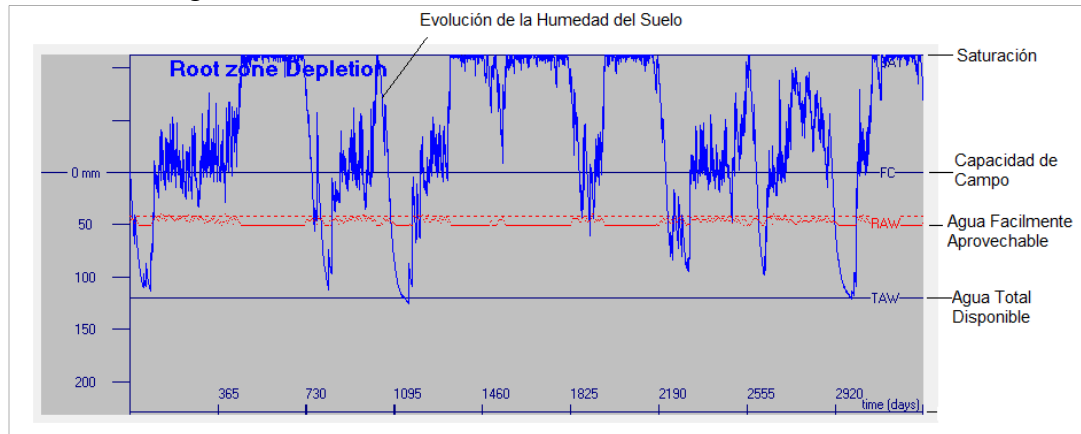


Figura A.2: Evolución de la humedad del suelo. Estrato impermeable ubicado a 4.4 mts.

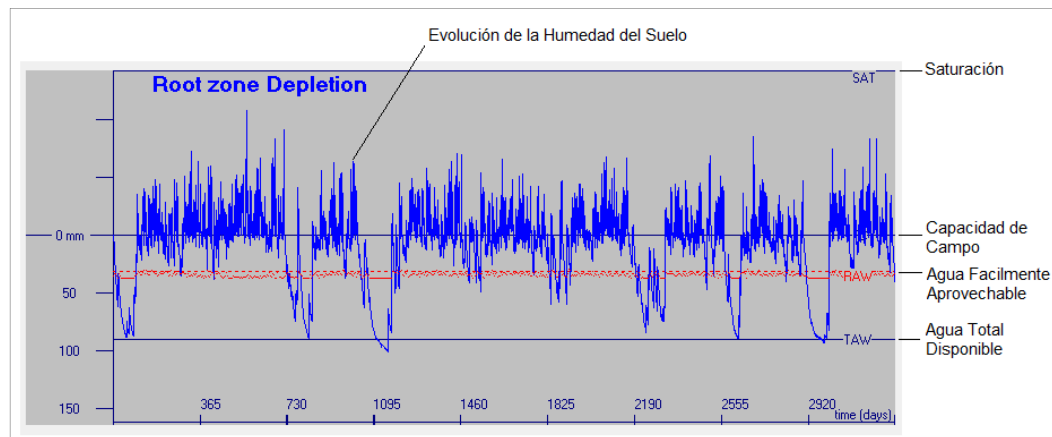


Figura A.3: Evolución de la humedad del suelo. Estrato de  $K = 125$  mm/día ubicado a 4.4 mts.

De las simulaciones se desprenden las siguientes consideraciones:

- ❖ Cuando existe un estrato inferior impermeable (figura A.2) el suelo en casi todo su perfil y en la temporada de lluvias (Mayo – Noviembre) permanece saturado o con una humedad por encima de capacidad de campo, condición claramente limitante para la producción de banano o cualquier cultivo. Esto indica la necesidad de construir sistemas combinados de drenaje subsuperficial y superficial.
- ❖ A pesar de que el estrato impermeable obliga a que el suelo sea un reservorio de agua libre (agua no retenida), se presentan déficits hídricos en 6 de los 10 periodos secos presentados, situación que adicional, a los problemas de drenaje implican una reducción en producción e indican la necesidad de un buen sistema de riego.
- ❖ Para la segunda simulación (figura A.3) con un estrato inferior permeable ( $K = 125$  mm/día) en los periodos húmedos el suelo permanece con una humedad por encima de capacidad de campo pero nunca llega a saturación. A pesar de esta



situación sigue siendo indispensable los sistemas combinados de drenaje subsuperficial y superficial.

### Identificación de Excesos y Déficit de Agua.

En un estudio, para una estación climatológica, se calculan tres balances hídricos climáticos correspondientes a un año húmedo, a un año seco y a uno normal, el análisis de esta información tiene como fin orientar y establecer unas bases que permitan diseñar en forma adecuada un proyecto de drenaje o riego mediante la determinación de los excesos o déficit totales de agua y la estructuración de un plan general de uso de la tierra que conociendo los niveles de precipitación y humedad del suelo en diferentes épocas de un año (húmedo, normal o seco), determine las condiciones mínimas para el normal desarrollo de las plantas.

Debido a la alta variabilidad de la precipitación es necesario considerar un umbral determinado de probabilidad de lluvia, que caracterice condiciones húmedas, secas y normales, a partir de estas precipitaciones se realizan balances hidrológicos decadales.

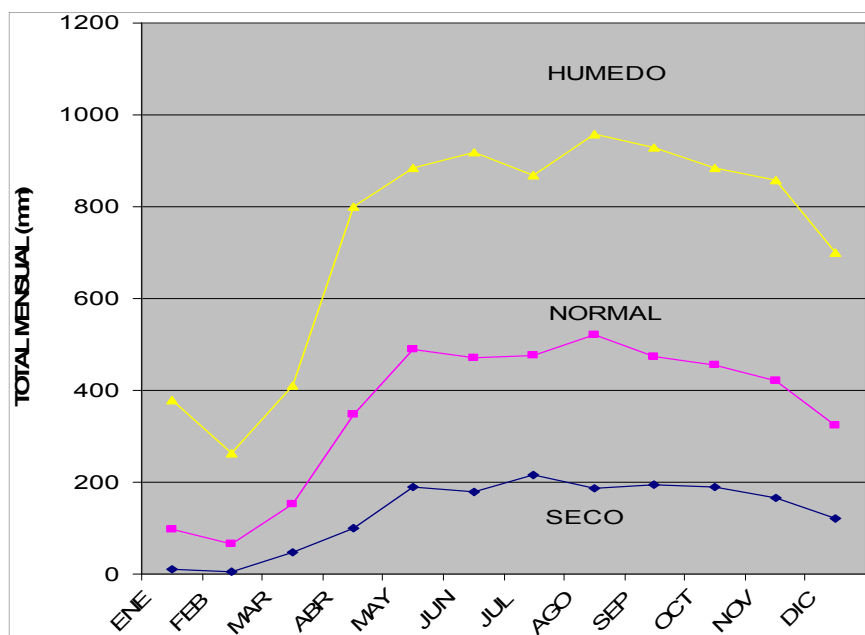


Figura A.4: Precipitación típica de años secos, normales y húmedos para la estación Tulenapa.

#### 1) Balance Hídrico Año Seco.

Del análisis de precipitación decadal de la estación Tulenapa se extrae la lluvia con una probabilidad de excedencia del 75% y se realiza el balance hidrológico según las propiedades del suelo B (tabla A.2)

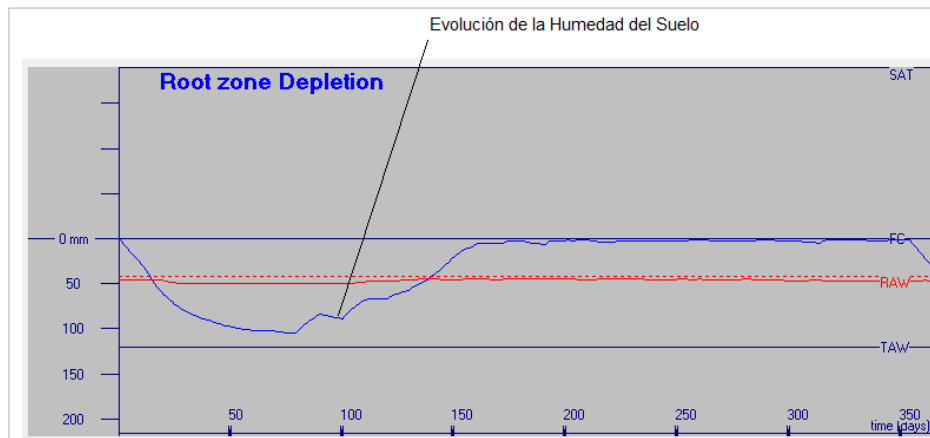


Figura A.5: Evolución de la humedad del suelo. Año seco. Estrato de K = 125 mm/día ubicado a 4,4 mts.

Precipitación Total (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Percolación profunda (mm/año)	Etr (mm/año)
1605,4	210,3	287,7	1136,9

**2) Balance Hídrico Año Normal.**

Del análisis de precipitación decadal de la estación Tulenapa se extrae la lluvia con una probabilidad de excedencia del 50% y se realiza el balance hidrológico según las propiedades del suelo B (tabla A.2)

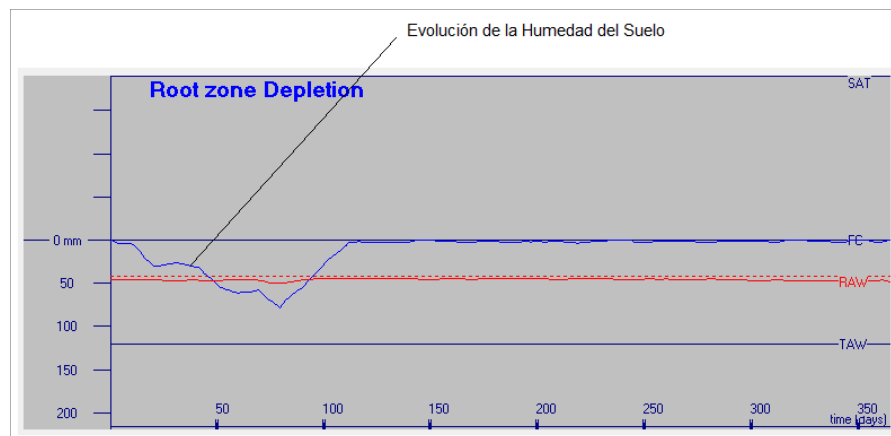


Figura A.6: Evolución de la humedad del suelo. Año Normal. Estrato de K = 125 mm/día ubicado a 4.4 mts.

Precipitación Total (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Percolación profunda (mm/año)	Etr (mm/año)
2690,1	614,7	749,4	1345,9



### 3) Balance Hídrico Año Húmedo

Del análisis de precipitación decadal de la estación Tulenapa se extrae la lluvia con una probabilidad de excedencia del 25% y se realiza el balance hidrológico según las propiedades del suelo B (tabla A.2)

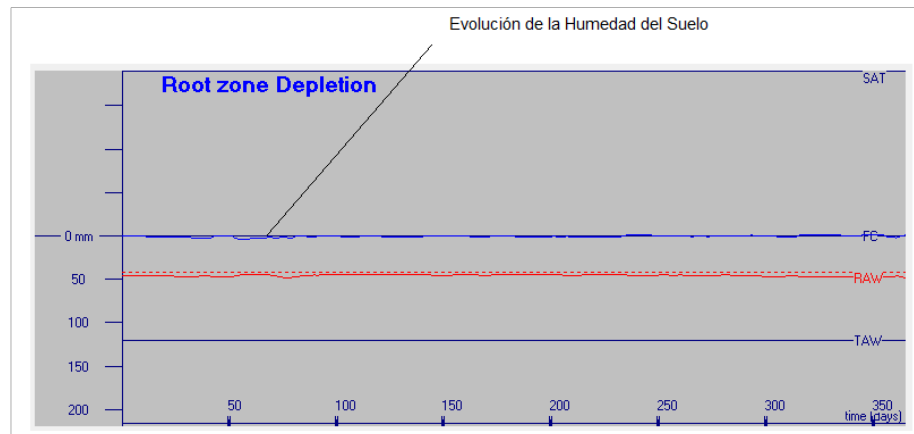


Figura A.7: Evolución de la humedad del suelo. Año Húmedo. Estrato de  $K = 125$  mm/día ubicado a 4.4 mts.

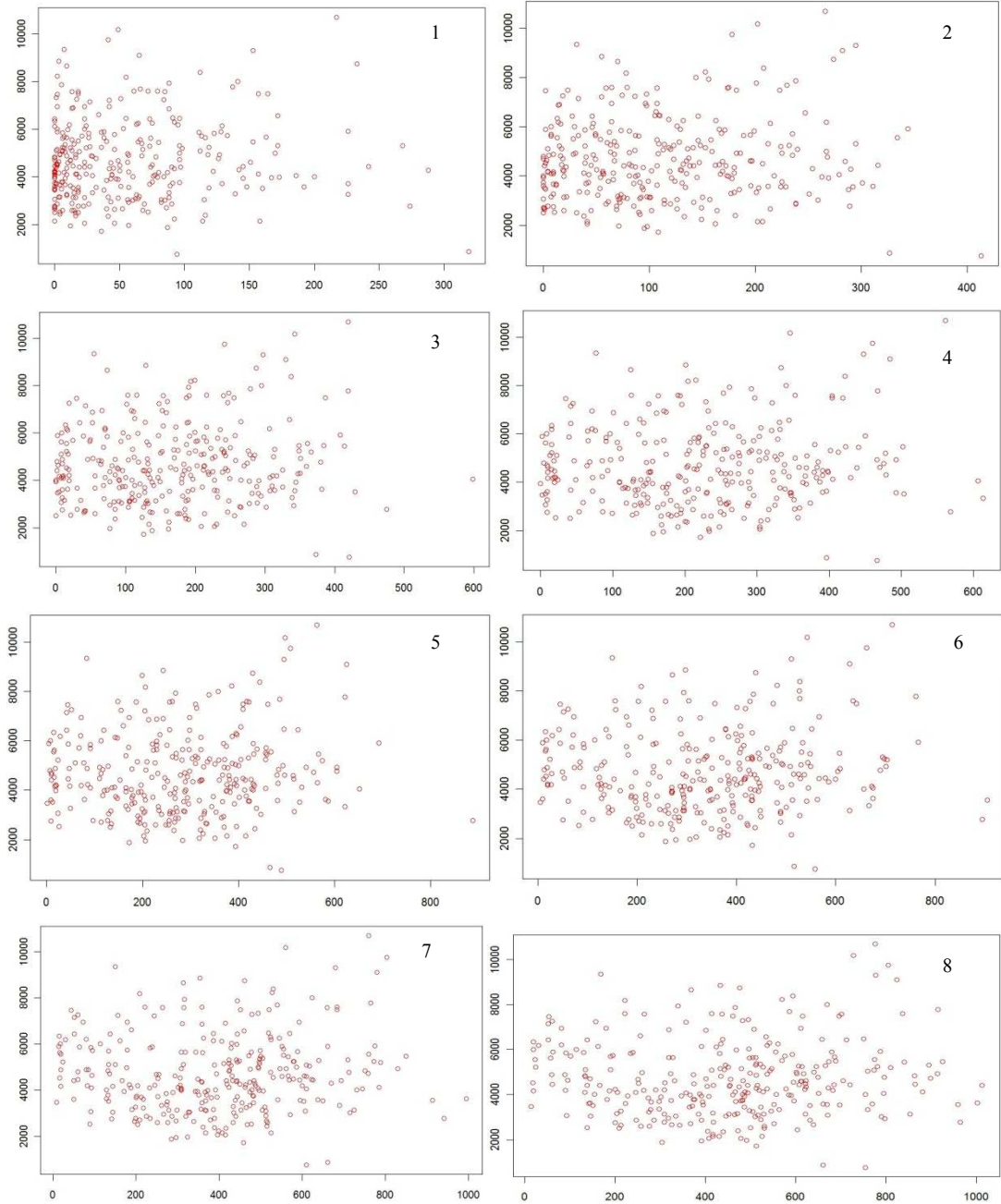
Precipitación Total (mm/año)	Escurrentía (mm/año)	Percolación profunda (mm/año)	Etr (mm/año)
4558,2	1677	1529,4	1345,9

De los balances hidrológicos decadales se concluye para la Zona de Influencia de la Estación Tulenapa:

- ❖ En la época de lluvias (Mayo – Noviembre) para cualquier condición: año seco, normal o húmedo, la humedad del suelo permanece alrededor de capacidad de campo, esto debido a las definiciones del perfil del suelo que favorecen una lámina de drenaje grande, que va de 287,7 mm en año seco hasta 1529,4 mm para año húmedo.
- ❖ Se advierte necesidades de riego en el periodo seco del año para condiciones secas y normales. En un año húmedo esta condición no aparece y el suelo permanece con un adecuado nivel de humedad.
- ❖ Las láminas de escurrentía anual para todas las condiciones indican la necesidad de un buen sistema de drenaje tanto superficial como subsuperficial, condición representada en la simulación.



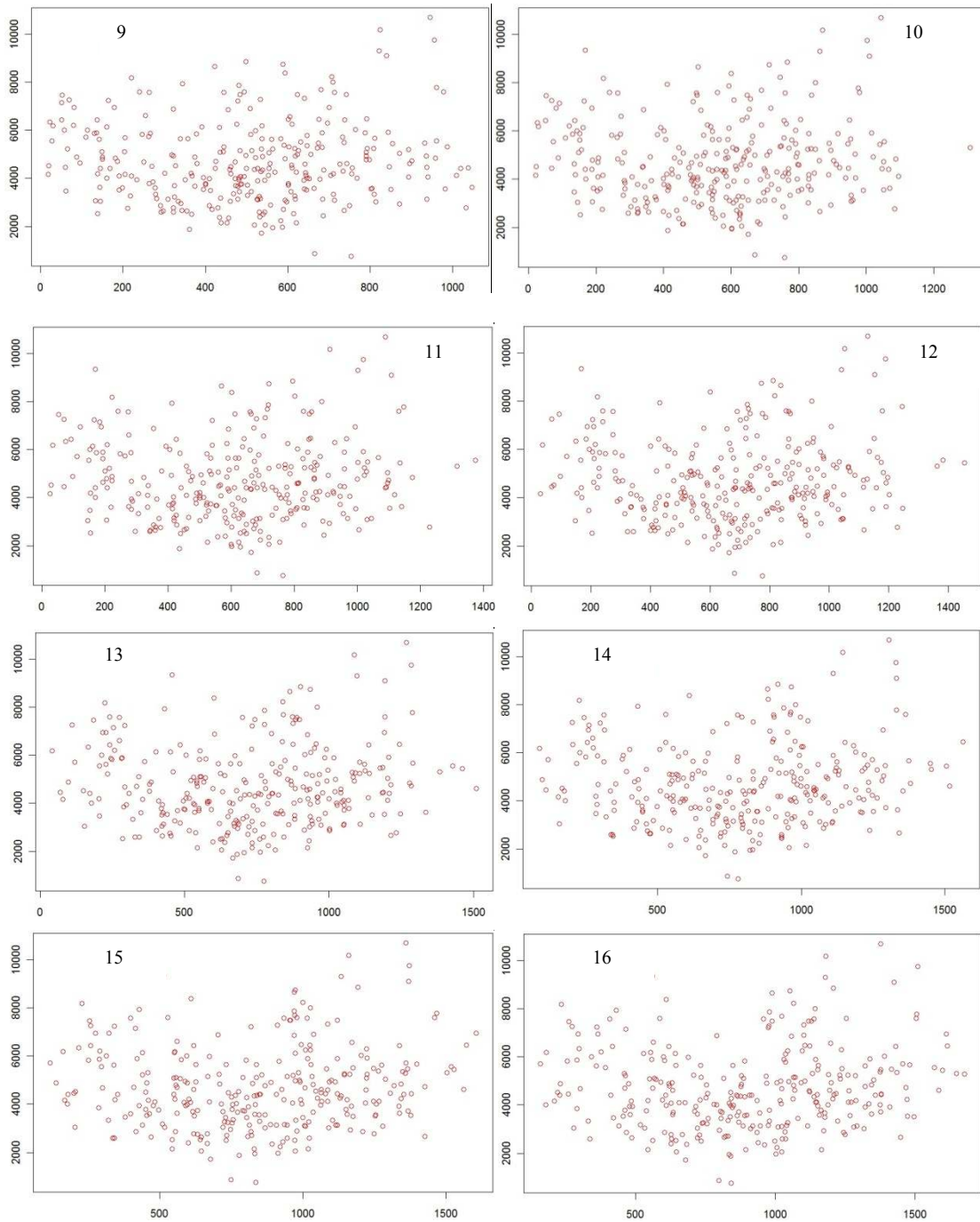
## A.2 Precipitación Acumulada – Cajas Exportadas







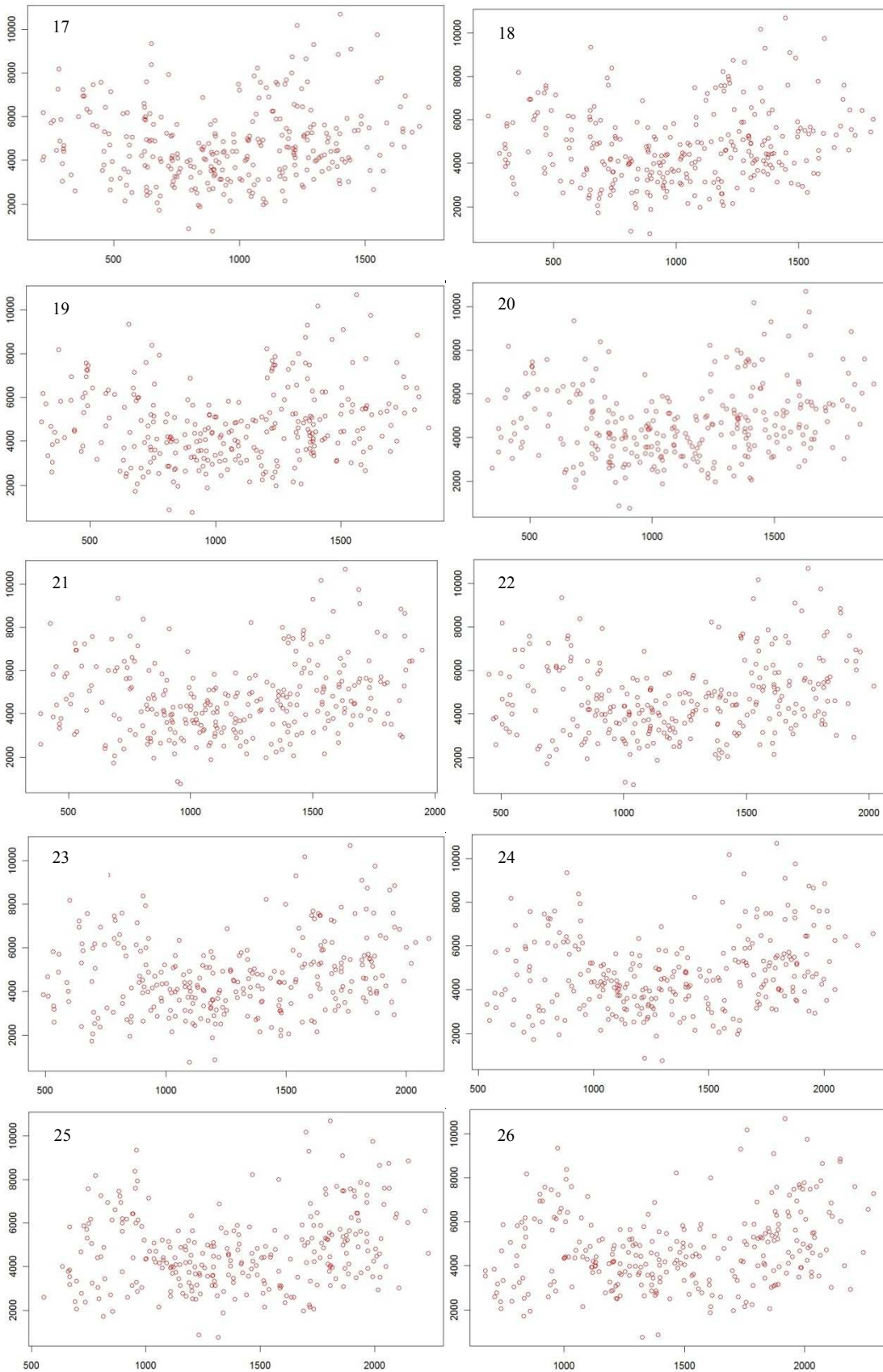
# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño







# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño



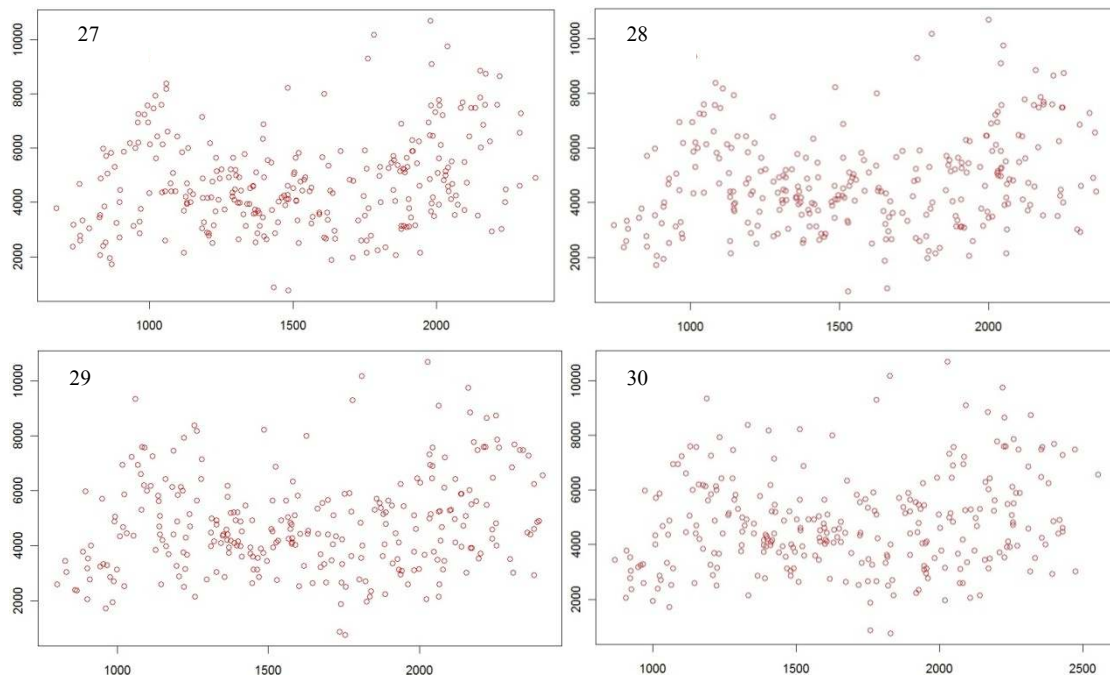
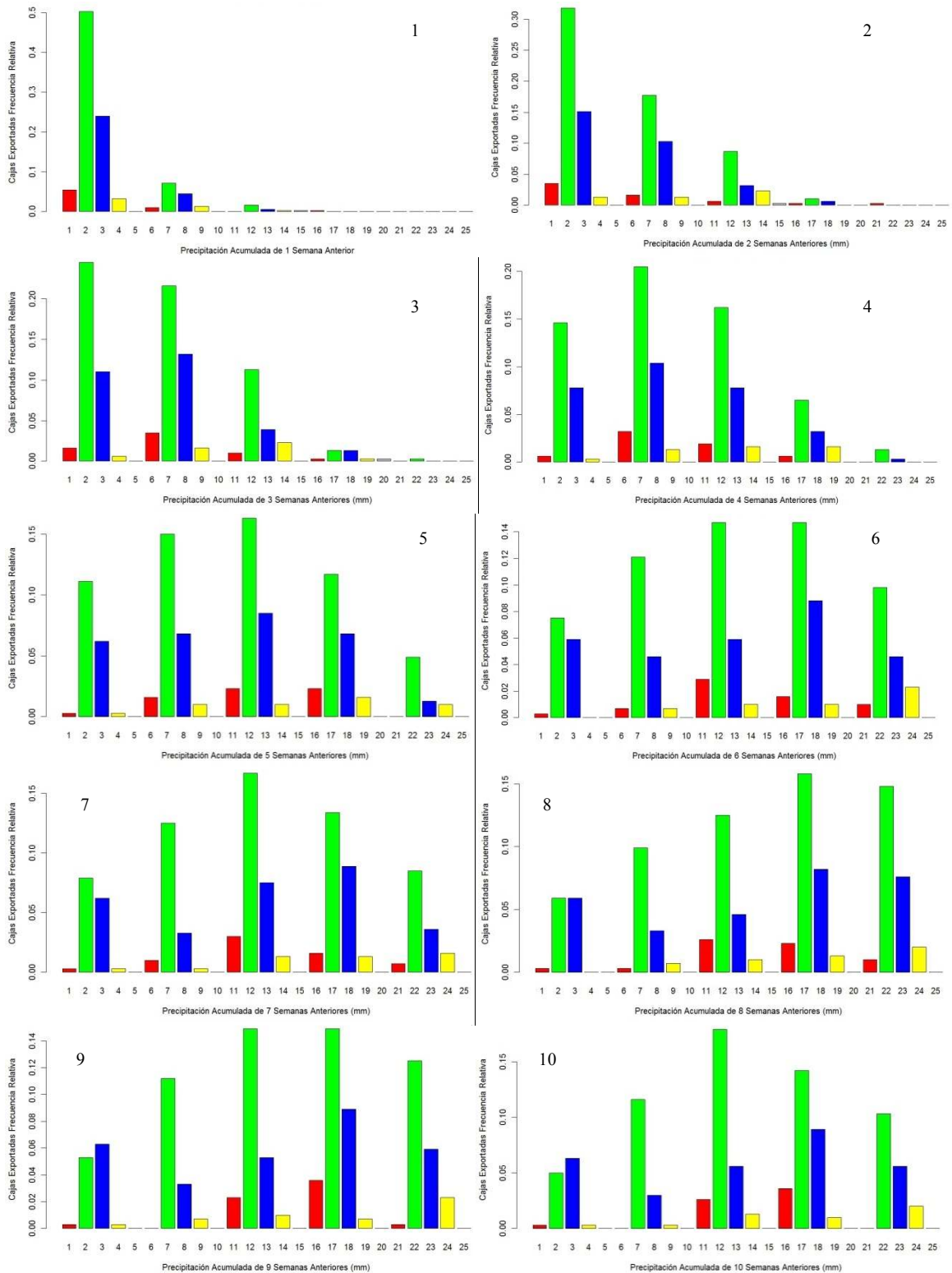


Figura A.8: Precipitación acumulada vs Cajas exportadas para la finca Alameda. En el eje X la precipitación acumulada de 1 hasta 30 semanas. En el eje Y la producción semanal.

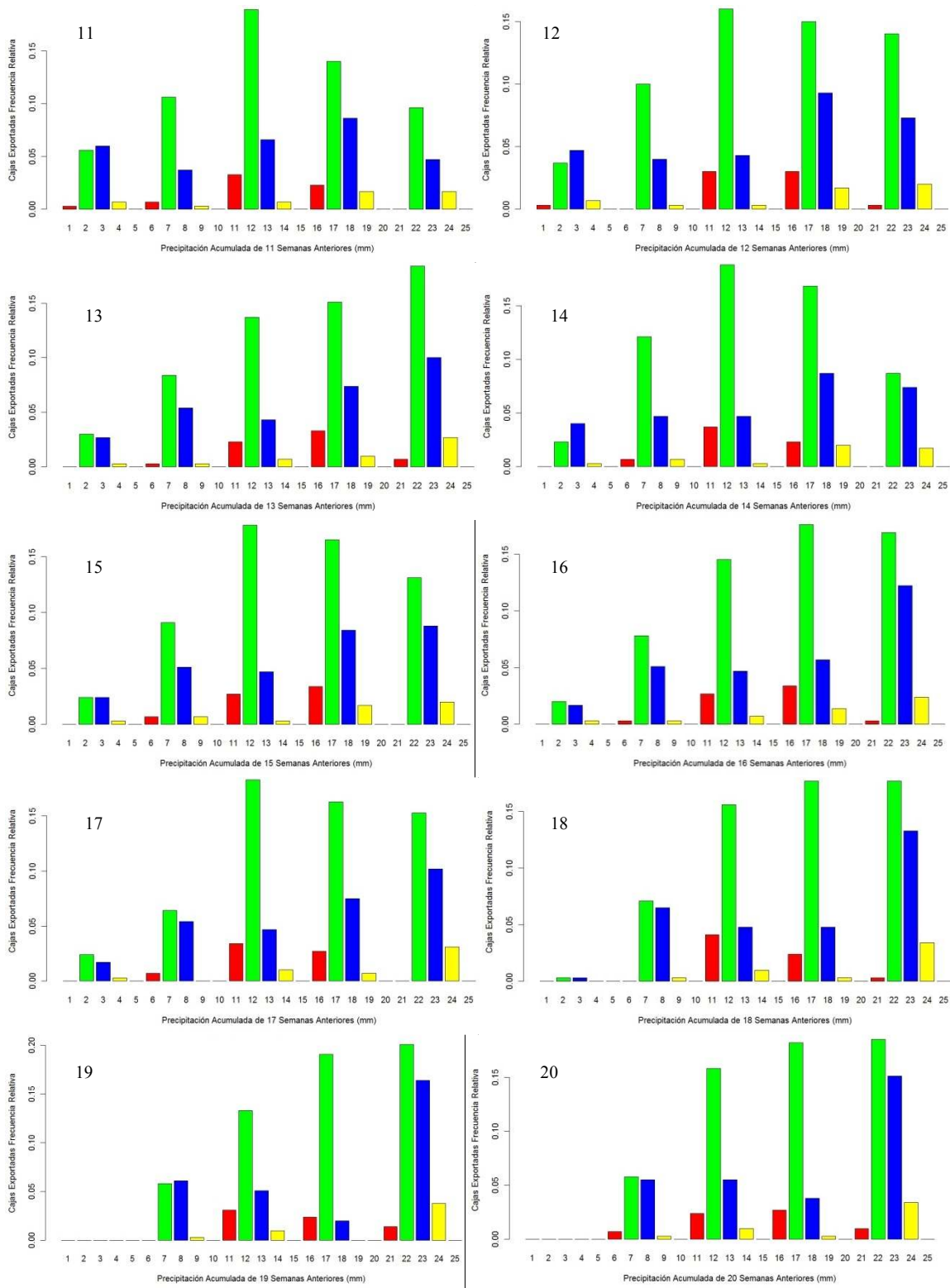


# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño





# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño





# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño

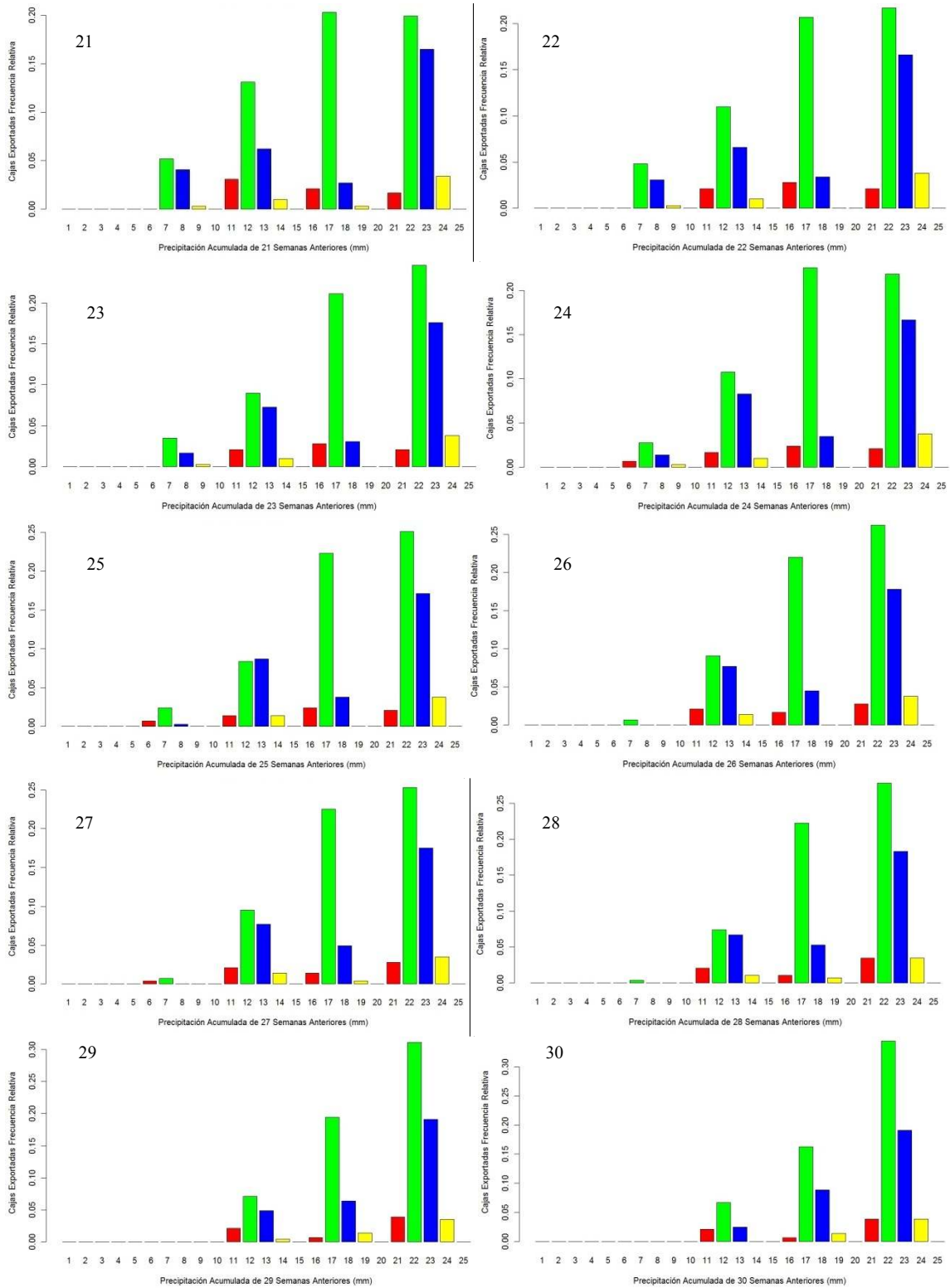
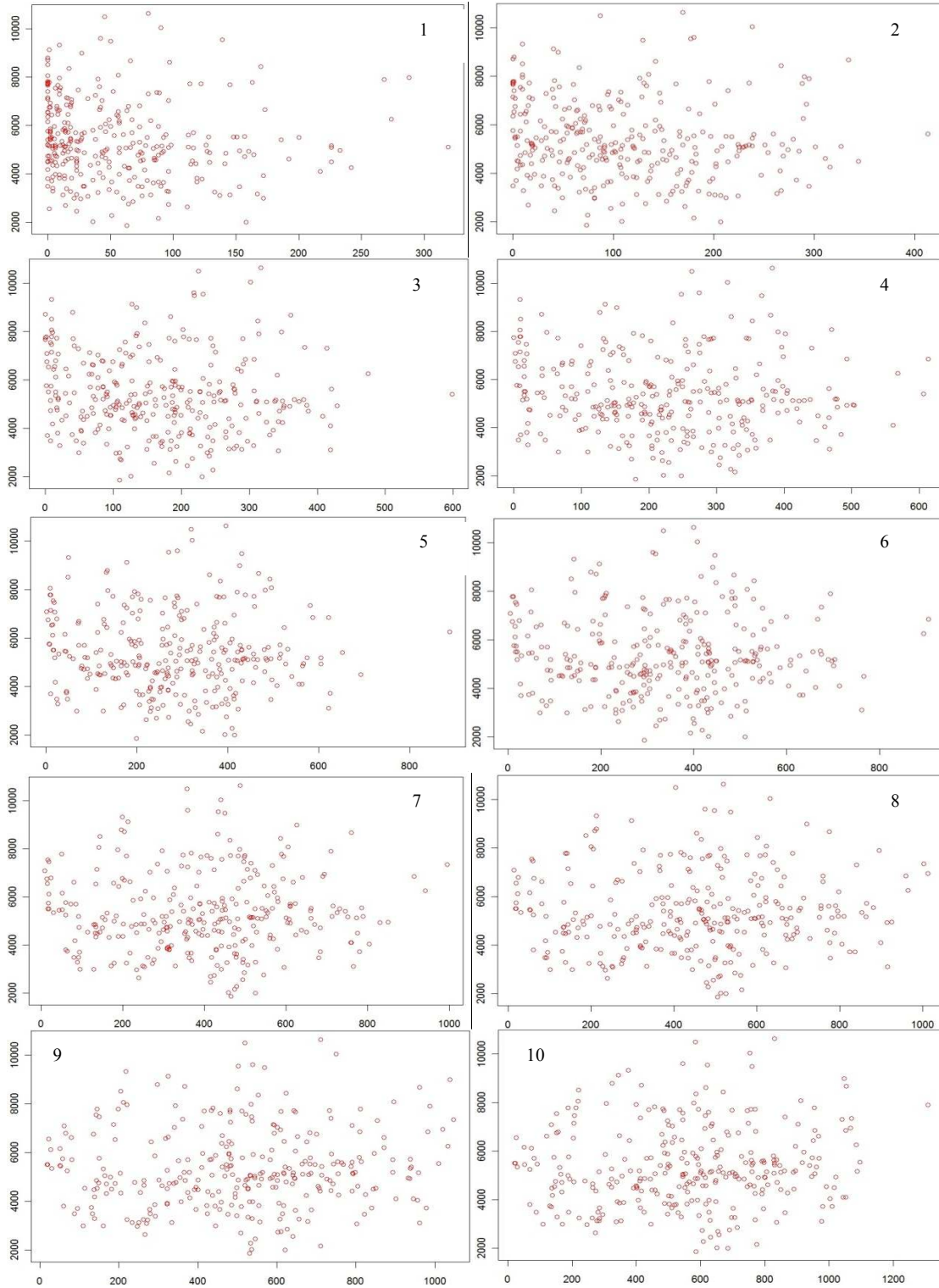


Figura A.9: Análisis de frecuencias bivariado. Cajas Exportas/ha y precipitación acumulada. Finca Alameda.



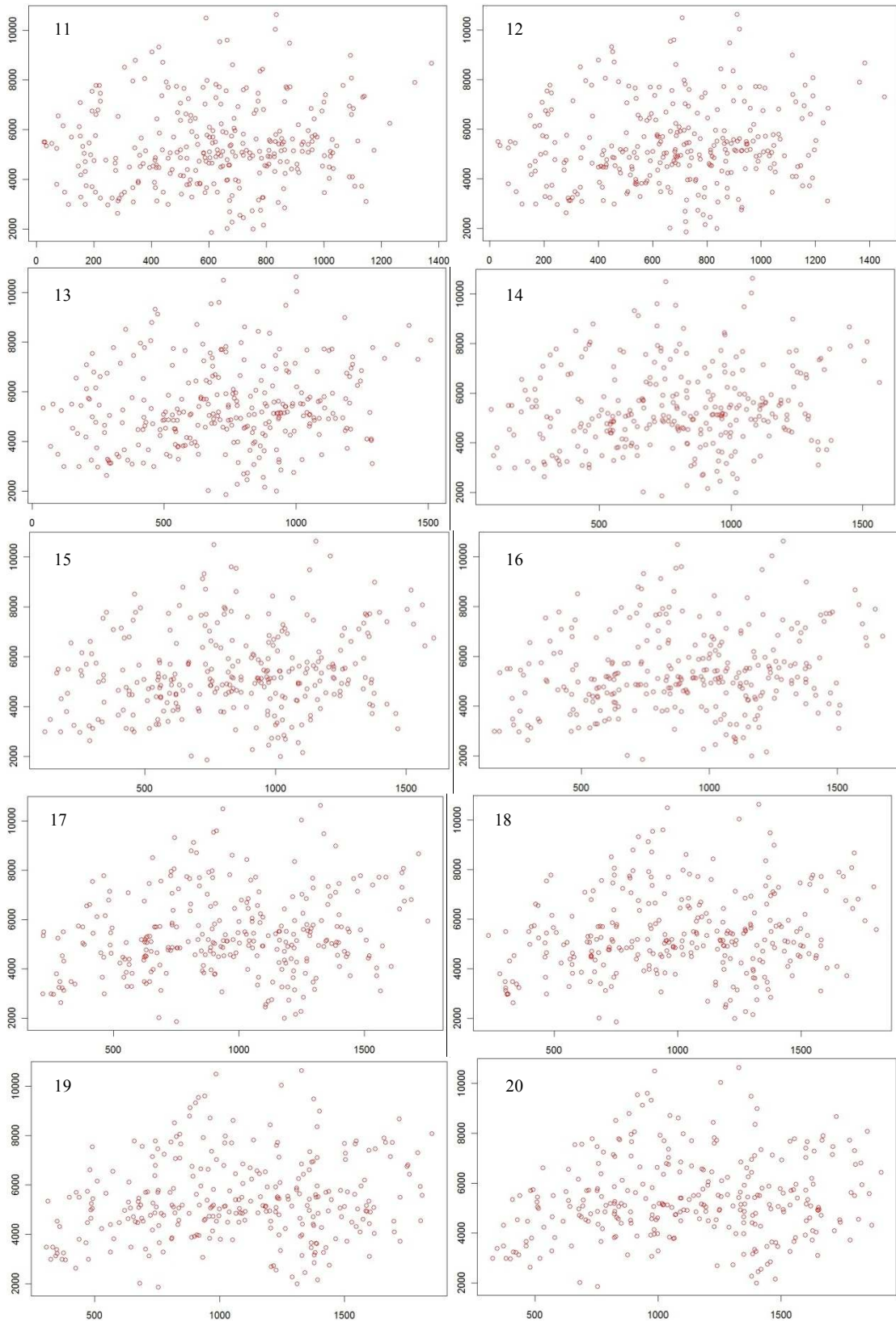


### A.3 Precipitación Acumulada – Racimos Embolsados





# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño





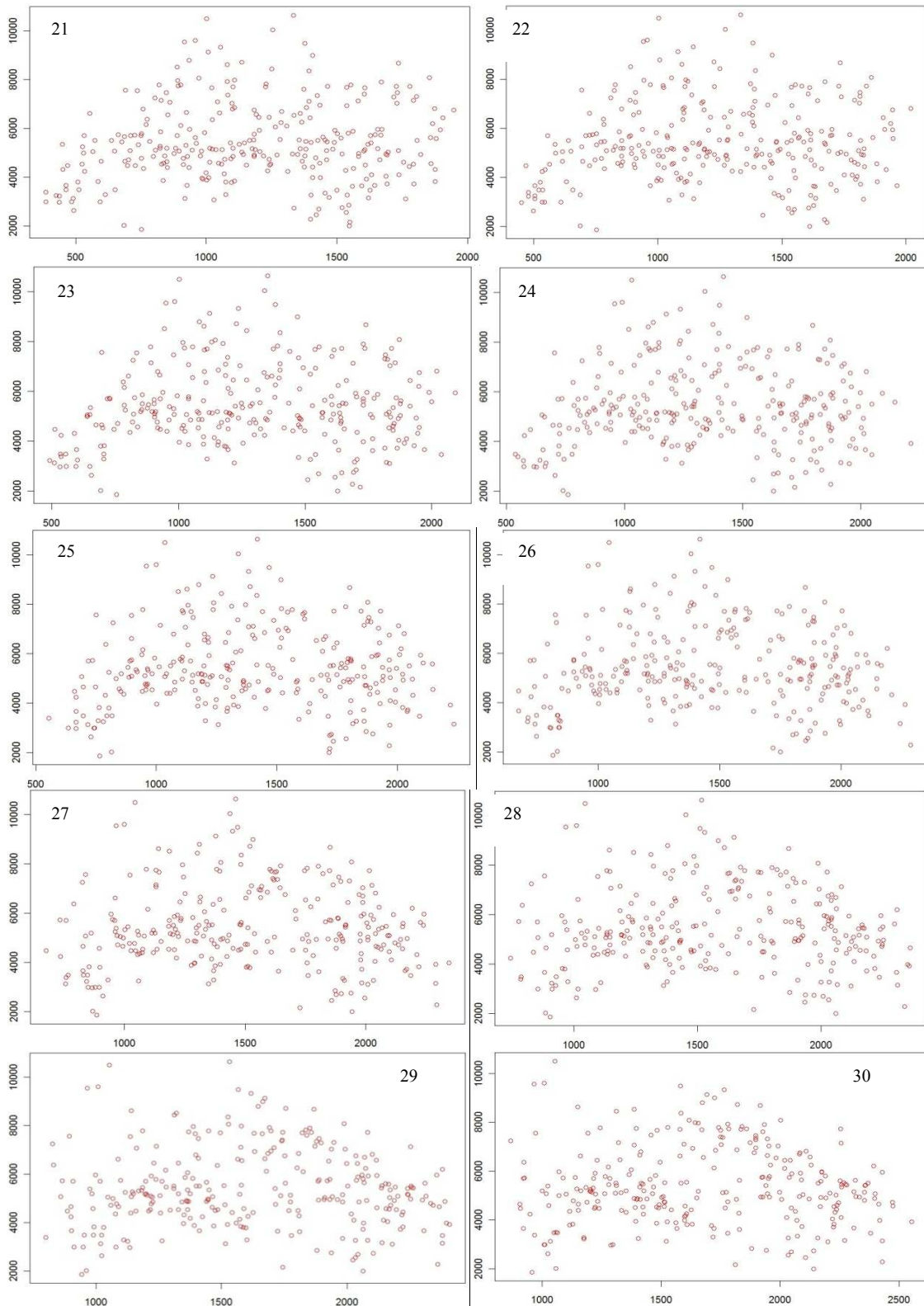
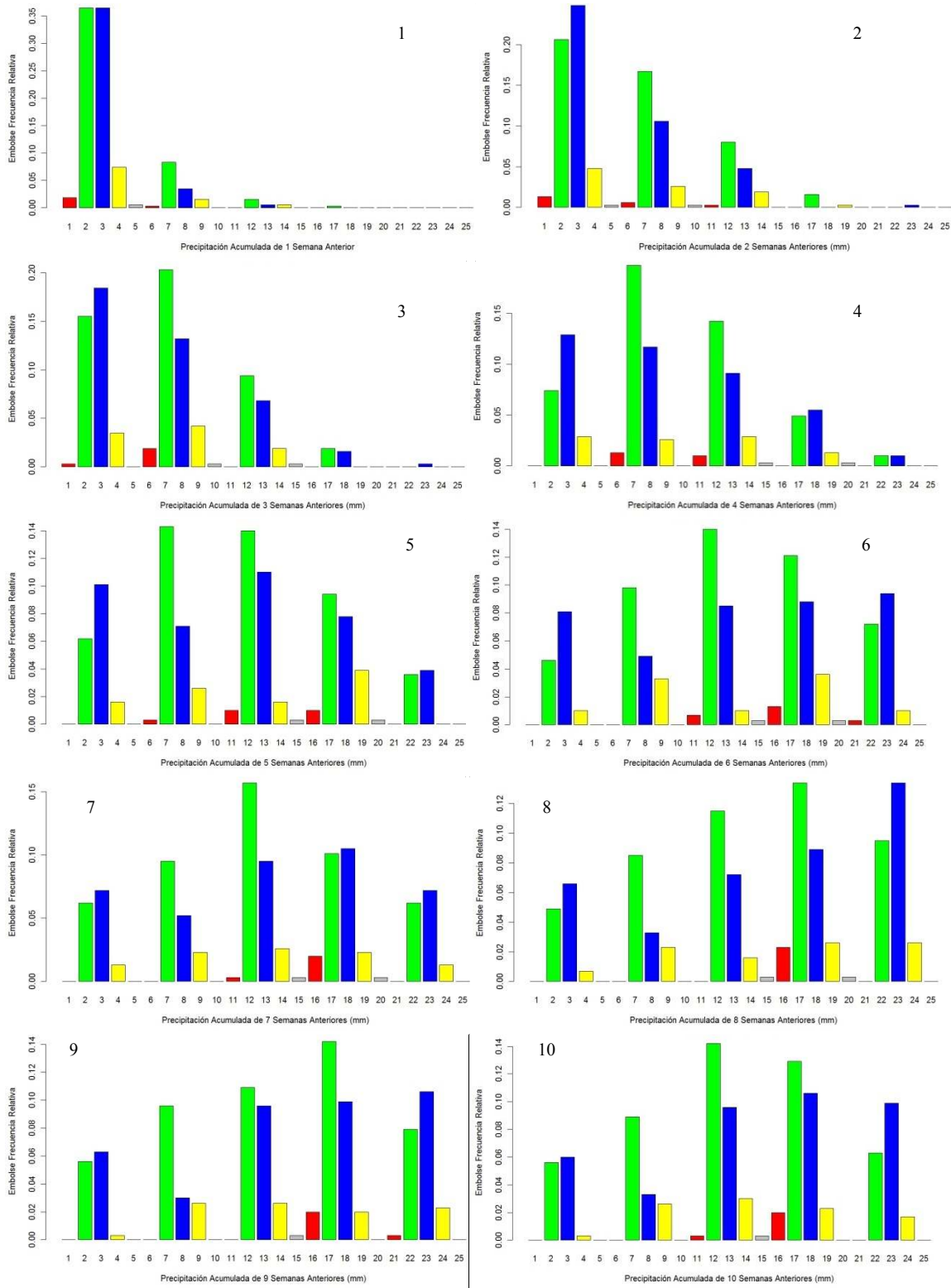


Figura A.10: Precipitación acumulada vs Racimos embolsados para la finca Alameda. En el eje X la precipitación acumulada de 1 hasta 30 semanas. En el eje Y la embolse semanal.

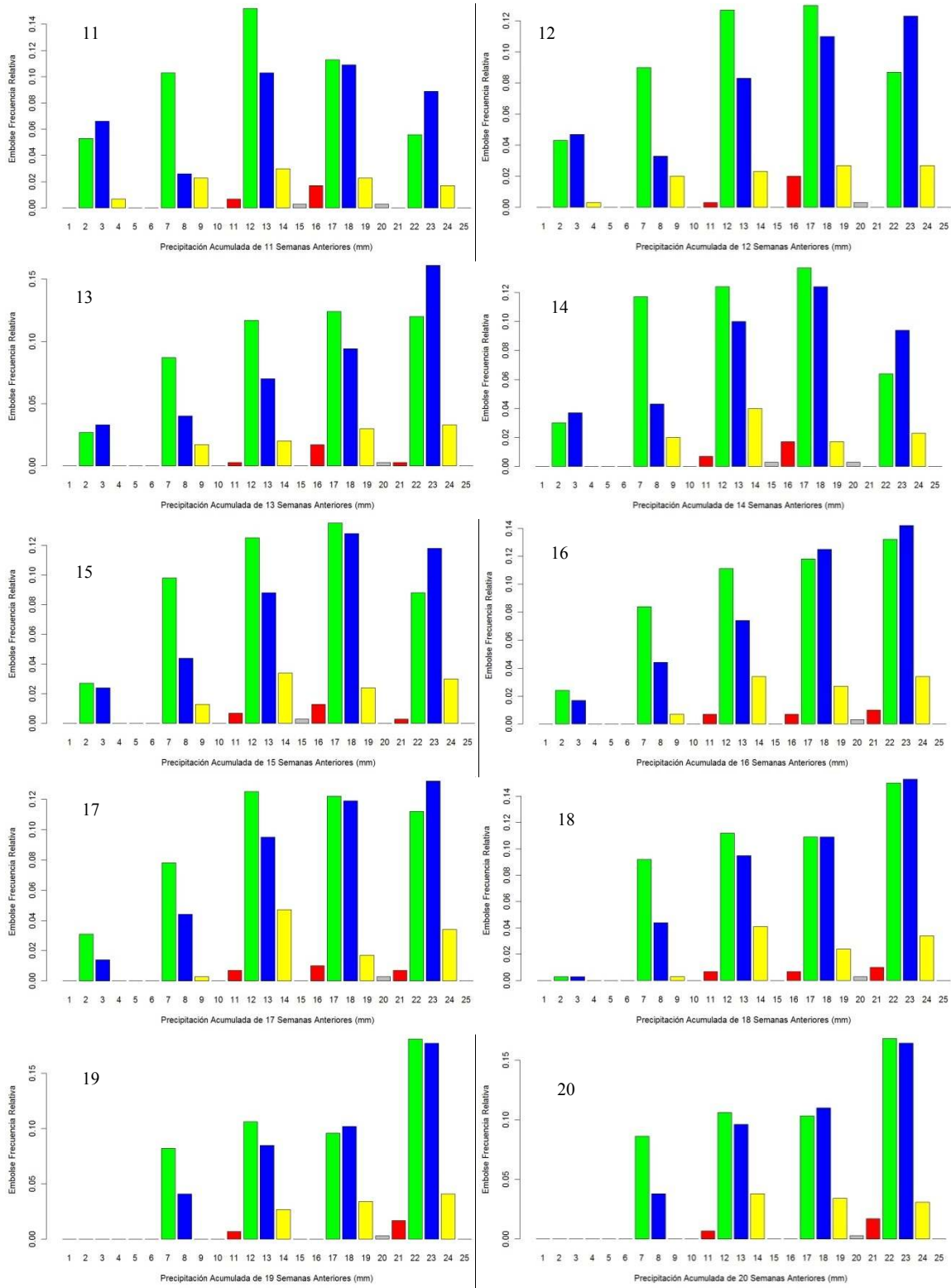


# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño





# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño





# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño

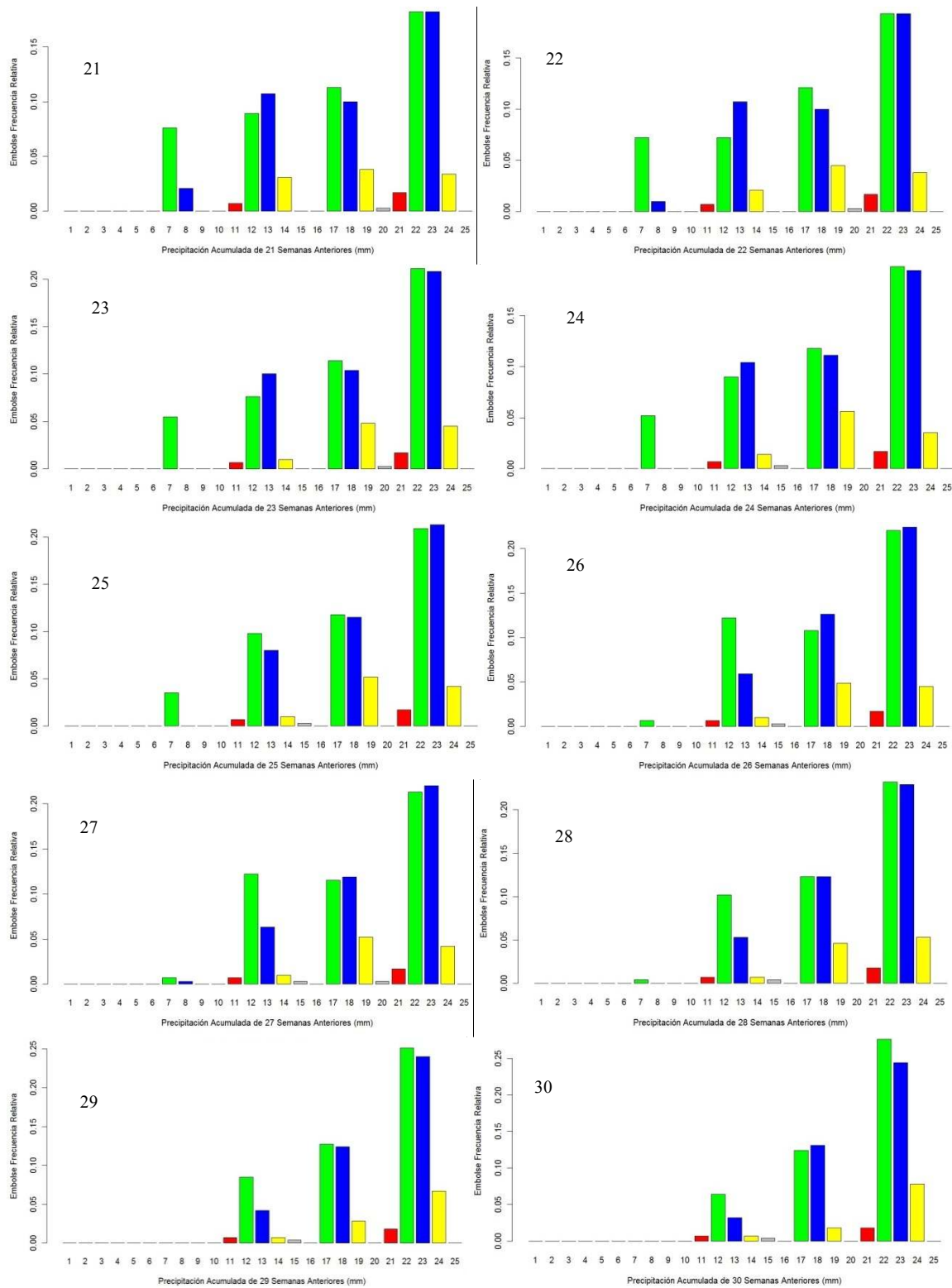
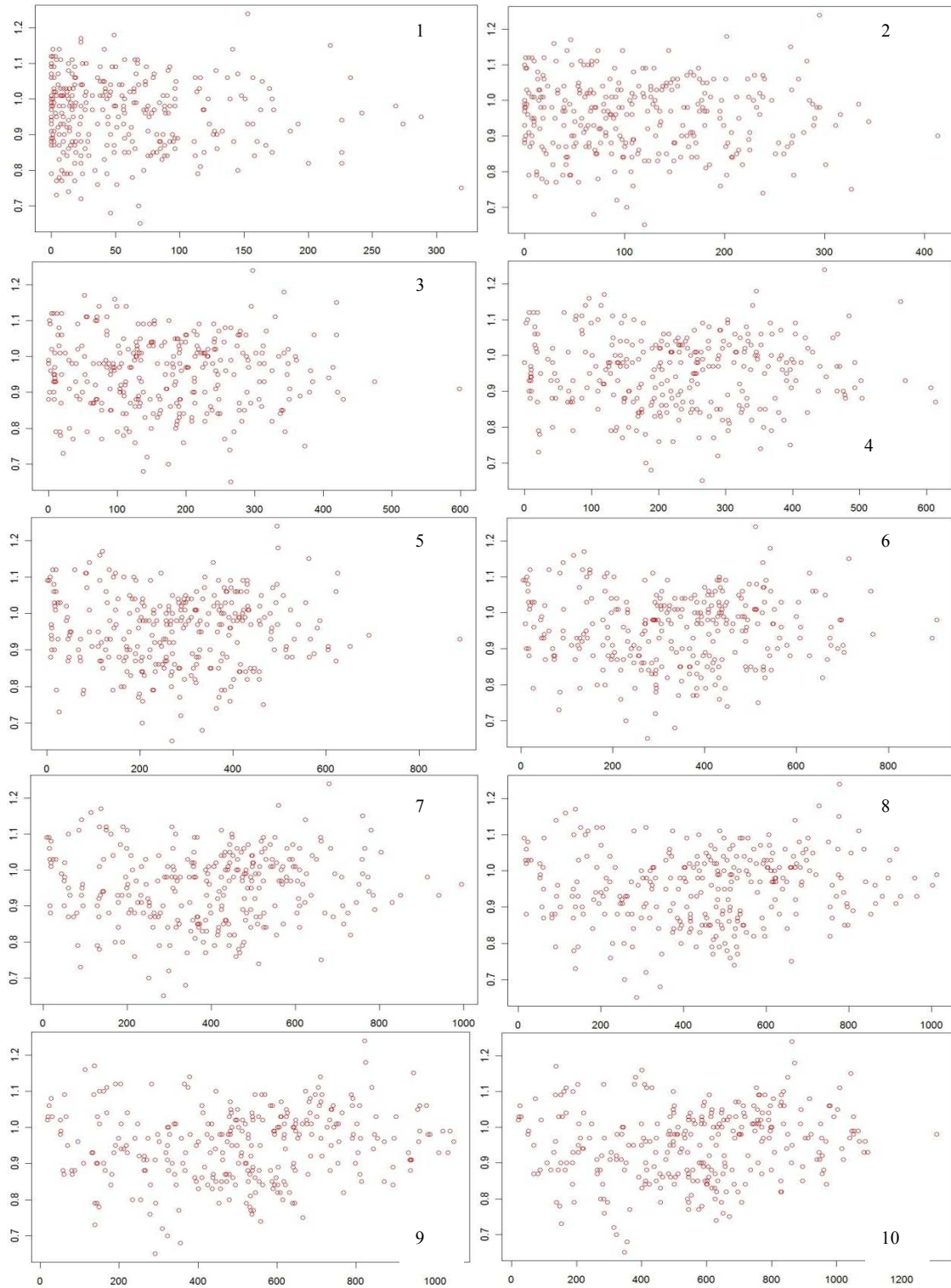


Figura A.11: Análisis de frecuencias bivariado. Racimos Embolsados/ha y precipitación acumulada. Finca Alameda



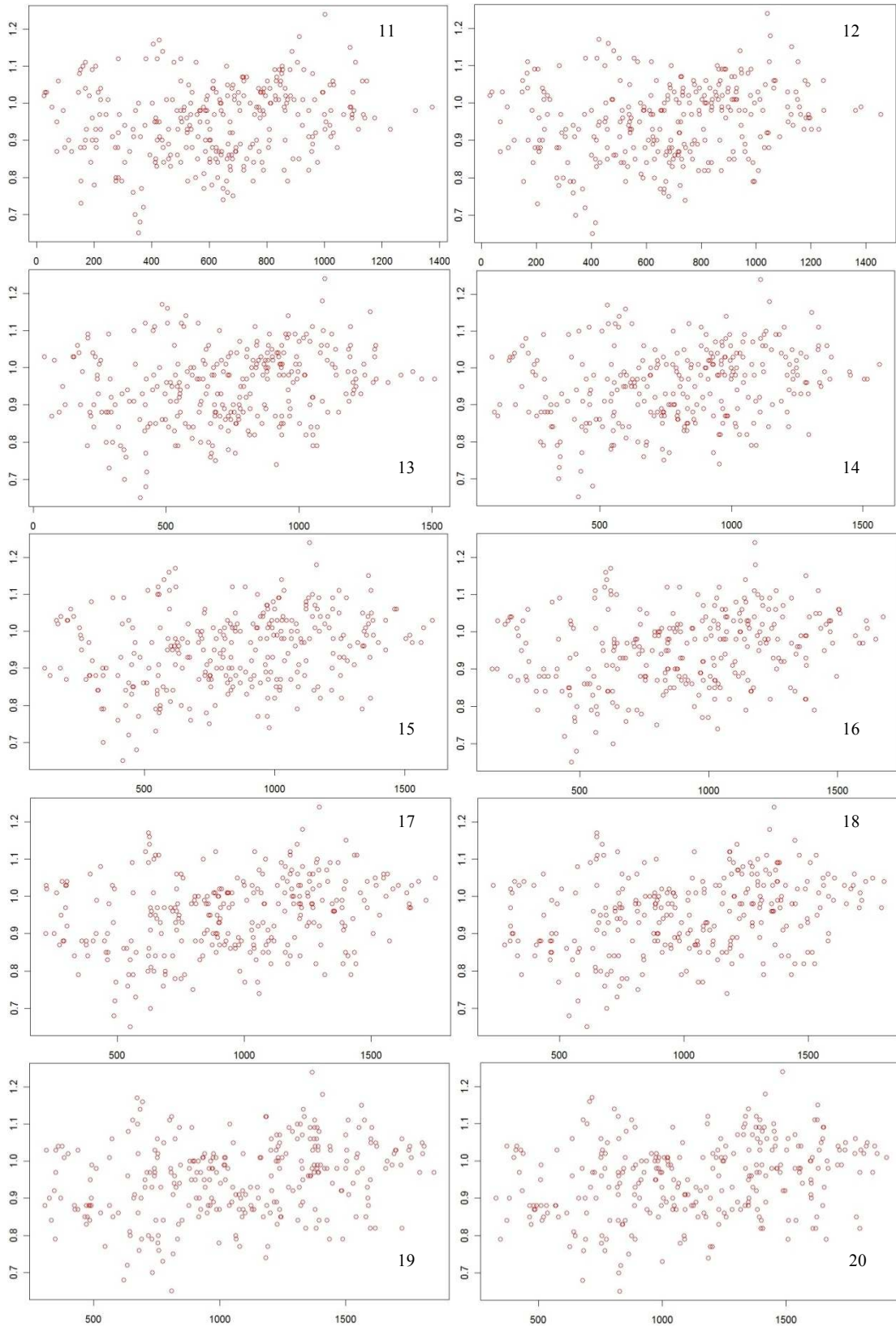
## A.4 Precipitación Acumulada – Ratio







# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño



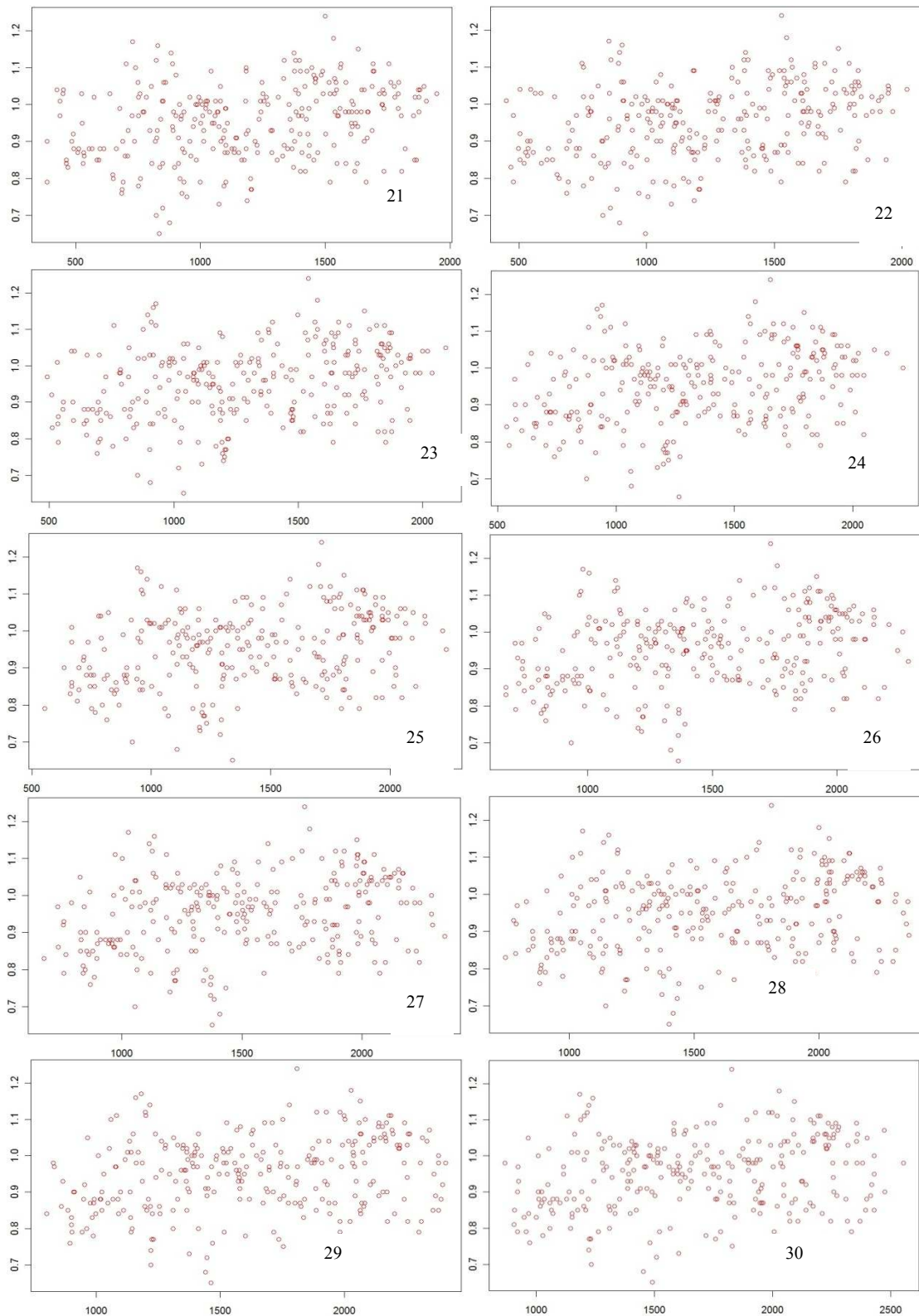
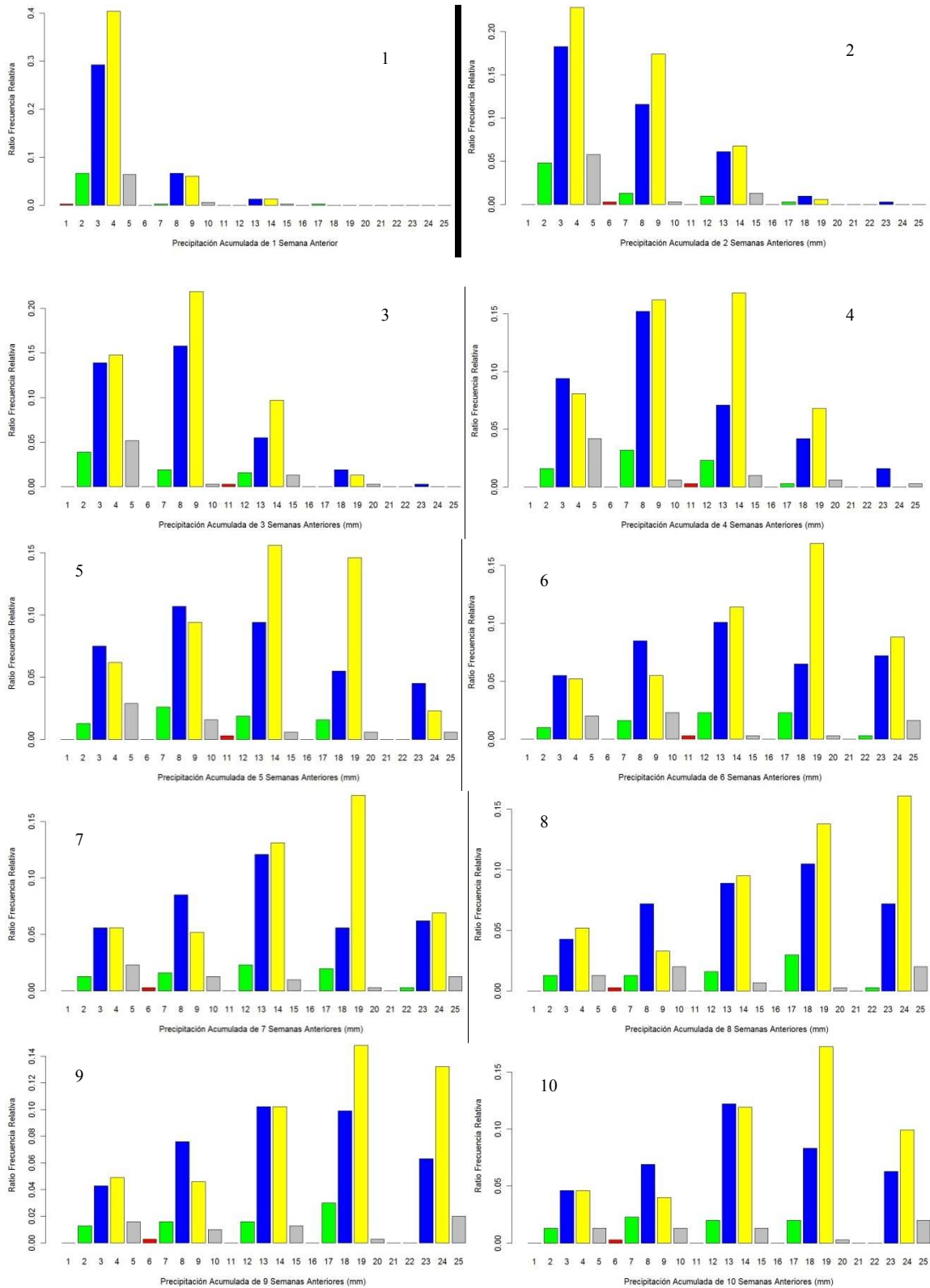


Figura A.12: Precipitación acumulada anterior vs Ratio para la finca Alameda. En el eje X la precipitación acumulada de 1 hasta 30 semanas. En el eje Y el ratio promedio semanal.



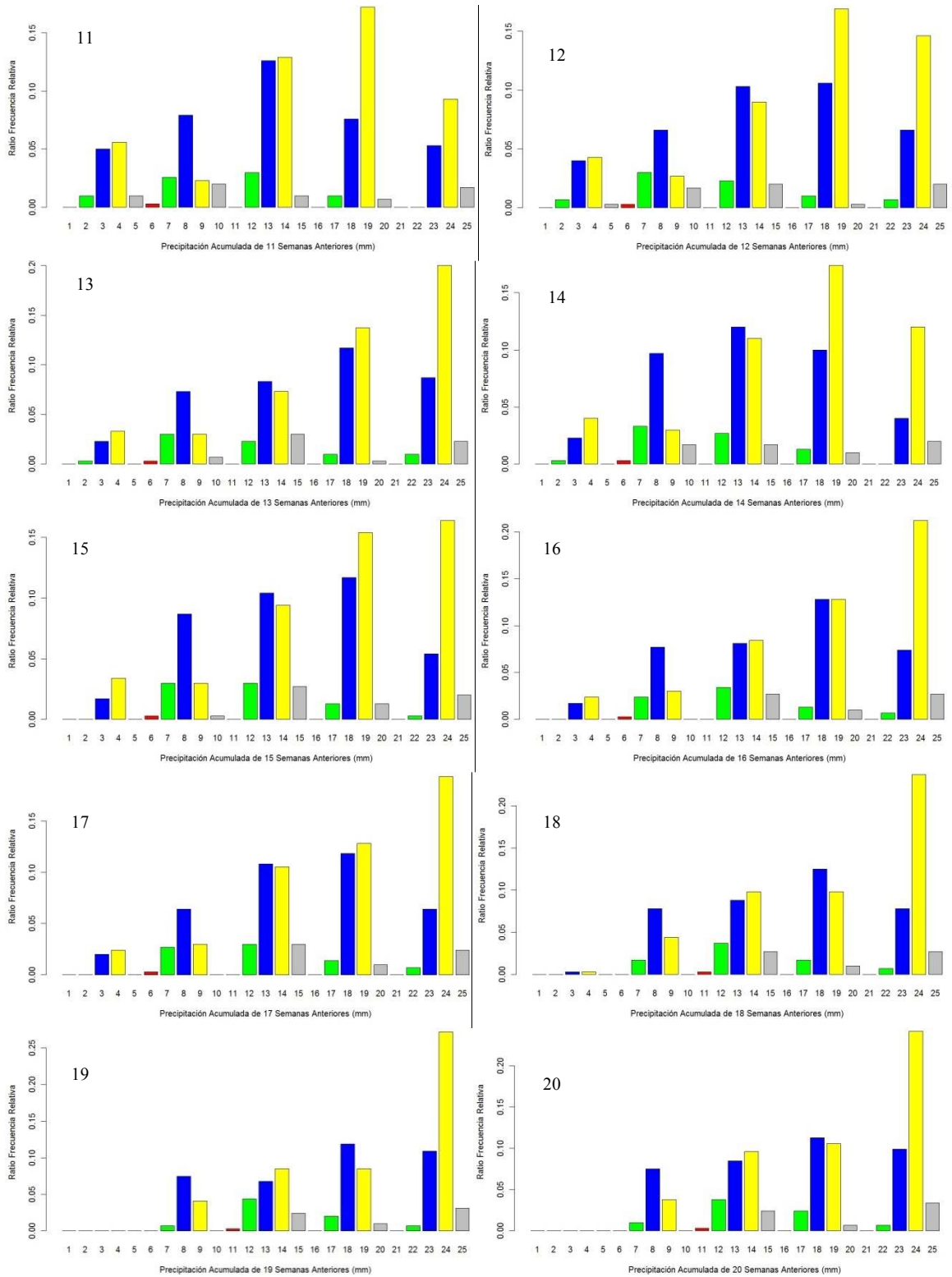


# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño





# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño





# Impacto de la Variabilidad Climática en la Producción de Banano en el Urabá Antioqueño

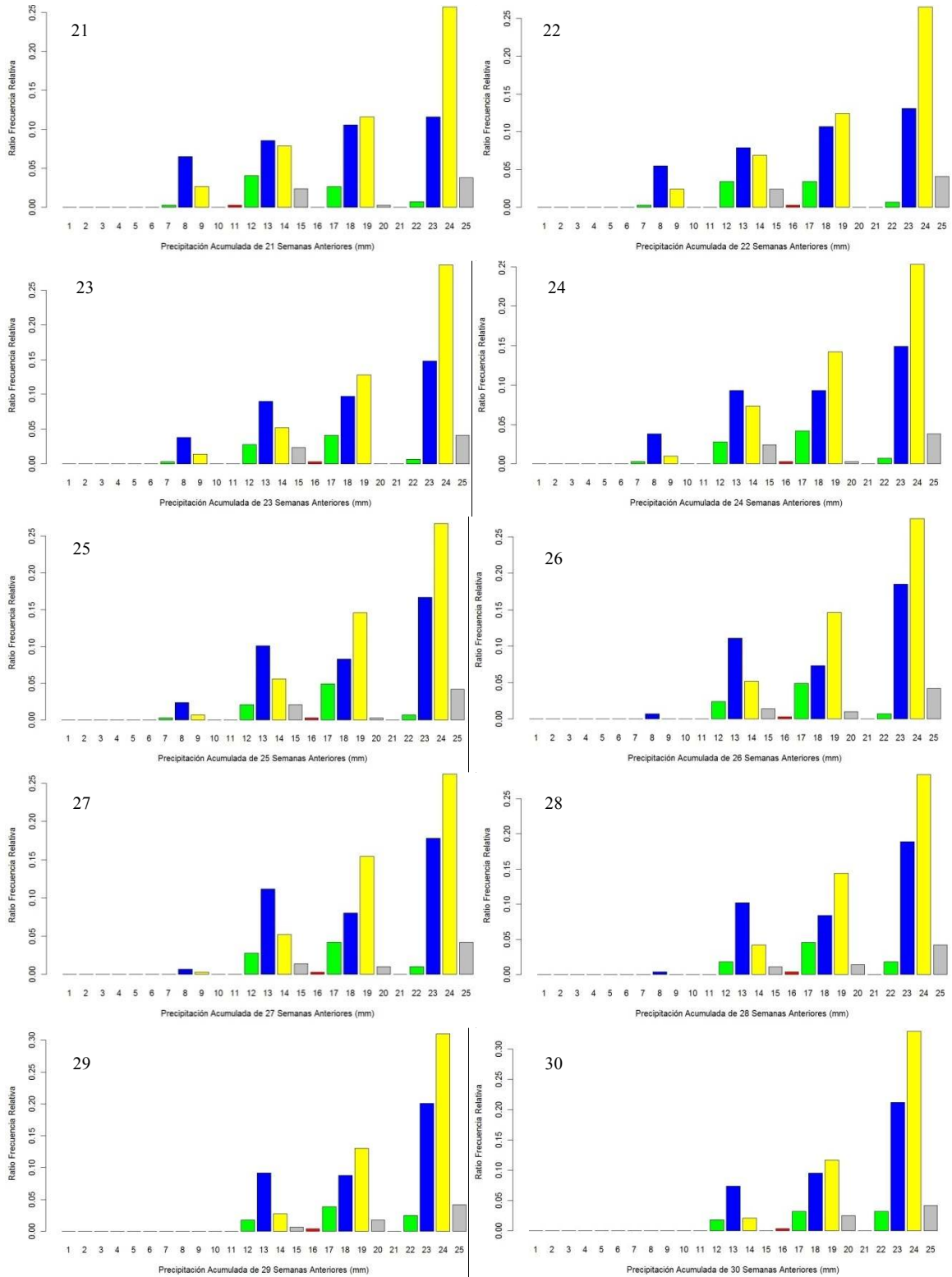


Figura A.13: Análisis de frecuencias bivariado. Ratio y precipitación acumulada. Finca Alameda.