

**Dinámica de mantos freáticos en el cultivo de banano (*Musa sp.*) Apartadó, Antioquia – Colombia****Dynamics of water table in banana crop (*Musa sp.*) Apartadó, Antioquia– Colombia**

Juan Camilo Durango González. Ingeniero agrónomo- Agrícola Samajo. E-mail: djuank5552@hotmail.com.

Slim Camilo Álvarez Alarcón. Instructor red Biotecnología. Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico-Sena. alvaslim@hotmail.com

Recibido: julio 13 de 2017. Aceptado: diciembre 3 de 2017

Resumen

La planta de banano necesita desarrollarse bajo condiciones armónicas entre el sistema radical y el foliar, para producir un fruto económicamente rentable y de buena calidad. Es por ello, que el sistema radicular de la planta de banano constituye un factor determinante; por lo tanto, la deficiencia o exceso de agua en los suelos bananeros es un factor a tener en cuenta en el normal desarrollo del cultivo. El objetivo del trabajo consistió en evaluar la dinámica del manto freático a través de la medición de profundidades, cotas de niveles freáticos y la salinidad de aguas freáticas en una red de 34 pozos de observación durante un año, correlacionando con la variable de producción del cultivo. La investigación se realizó en Apartadó – Antioquia, el área evaluada correspondió a 84,46 ha. De acuerdo a los mapas de isobatas las zonas del área de estudio que más se ven afectadas por los niveles freáticos están ubicadas en el sector oeste en donde el sistema de drenajes no se encuentra realizando la función estipulada, ya que los canales que están cortando las aguas son los secundarios y no los terciarios. Se encontró para los meses de enero a marzo valores de nivel freático entre 1.5- 2 m, datos que contrastan con la condición de sequía de esos meses, por tal razón lo pesos de los racimos se ven afectados de forma negativa presentado así los valores más bajos de todo el año, caso contrario para los meses de octubre a diciembre donde los valores de nivel freático se encuentran 1-1.5m y la variable peso de racimo mejora con valores cercanos a 26 kilogramos por racimo, los meses de mayo a septiembre son meses equilibrados donde los pesos mantienen valores promedios de 24 kilogramos por racimo y de igual forma la profundidad del nivel freático se mantiene estable. Las principales sales que predominan en las aguas freáticas del área de estudio, son sulfato de magnesio y cloruro de magnesio. La salinidad que se presenta tiene tendencia de tipo sulfática en un 82,4% del muestreo realizado y el tipo clorhídrico – sulfática con 17,6% de acuerdo a las relaciones iónicas. La migración de sales se da en dirección del flujo freático, lo cual es responsable de los valores mayores de pH, en la zona de descarga.

Palabras clave: manto de agua, nivel freático, isobatas, isohipsas, salinidad, freatimetría.

Abstract

The banana plant needs to be developed under harmonic conditions between its root and foliar system, in order to produce an economically profitable and good quality fruit. That is why the root system of the banana plant is a determining factor in production; therefore, the deficiency or excess of water in the banana soils is a factor to be taken into account in the normal development of the crop. The objective of the research was to evaluate the dynamics of the water table through the measurement of depths, levels of groundwater levels and the salinity of groundwater in a network of 34 observation wells during one year, correlating with the variable of crop production. The investigation was conducted in Apartadó - Antioquia, the evaluated area was 84.46 ha. According to the map of isobaths, the zones of the studying area that are most affected by groundwater levels are located in the western sector, where the drainage system is not performing its predetermined function, since the canals that are collecting the waters are secondary and not tertiary. It was found for the months from January to March values of water table between 1.5-2 m, data that contrast with the drought condition of those months, for this reason the weights of the clusters are affected in a negative way, thus presenting the values more low for the whole year, otherwise for the months from October to December where the values of water table are 1-1.5m and the variable cluster weight improves with values close to 26 kilograms per cluster, the months from May to September are months balanced where the weights maintain average values of 24 kilograms per cluster and in the same way the depth of the water table remains stable. The main salts that predominate in the groundwater of the study area, are magnesium sulfate and magnesium chloride. The salinity that appears has a sulphatic type tendency in 82.4% of the sampling done and the hydrochloric - sulfatic type with 17.6% according to the ionic relations. The migration of salts occurs in the direction of the phreatic flow, which is responsible for the higher pH values in the discharge area.

Key words: water mantle, water table, isobats, isohipsas, salinity, freatimetry

Introducción

La actividad bananera en la zona de Urabá se desarrolla desde 1960 en el llamado eje o corredor bananero que conforman los municipios de Chigorodó, Carepa, Apartadó y Turbo. Generando 24 mil empleos directos y 72 mil indirectos, Emplea así mismo otras 3.000 personas en sus fábricas de producción de cajas, sellos, plásticos, astilleros, servicio de fumigación, y en otras actividades del proceso de integración vertical que ha desarrollado. Beneficiándose de esta manera más de 100 mil familias en esta zona. A la economía nacional le genera anualmente ingresos por valor de US \$811 millones, participando del sector agropecuario de 0.5% del PIB Colombia. (Augura, 2017). En Colombia se desarrolla en 47.272 ha. Magdalena, Guajira y Urabá son las zonas productoras. Solo en Urabá se reportan 34.267 ha en producción (Augura, 2016)

Las exportaciones de banano en Colombia han bajado, disminuyendo en un 0,78 % (Augura, 2016). Esta disminución puede deberse a muchos factores como comercio, en muchas ocasiones a las limitantes edafoclimáticas que presenta la zona, afectando en cierto grado la calidad requerida para su comercialización en comercios internacionales.

Como resultado de la variabilidad climática cada vez son más la frecuentes y prolongados los eventos climáticos extremos como las precipitaciones de mayor intensidad, que impactan la actividad bananera, ocasionando principalmente sobresaturación de agua en los lotes de cultivo. Más aun cuando la geomorfología de la zona bananera de Urabá, está conformada por planicies aluviales desarrolladas por aportes de sedimentos que convergen bien al Río León o al Golfo y está comprendida entre las estribaciones de la Cordillera Occidental, la serranía de Abibe y el Golfo de Urabá que es bañado por los Ríos Atrato y León.

Los ríos que bañan la zona, bajan de la cordillera e inmediatamente abandonan la zona montañosa serpentean el valle en forma aproximadamente paralela, desbordándose en varios puntos, pero sin abandonar su cauce, constituyendo un patrón de drenaje sub-paralelo en suelos aluviales de baja pendiente. Un patrón de drenaje sub-paralelo, con ríos cortos y poco profundos, necesariamente tiende a generar desbordamientos y acumulación de materiales finos en las partes bajas de la cuenca. Cuando se tienen ríos con estas características, el nivel freático no tiende a drenar hacia los ríos, sino por el contrario tiende a ser paralelo a ellos. Ello permite establecer que todo el flujo

del drenaje de la zona bananera tiene una dirección predominante de Oriente-Occidente (Guarín, 2011). Los efectos del exceso de agua en el suelo sobre el desarrollo, crecimiento y productividad de los cultivos, deben ser tenidos en cuenta para diseñar estrategias de adaptación y estar preparados para afrontarlos desde el punto de vista técnico y económico siendo menos vulnerables a dichos eventos; la saturación del agua en el suelo es común en las áreas que presentan altos niveles de precipitación a través del año, pobre drenaje natural del suelo y alta fluctuación de la tabla de agua.

Una gran parte de los suelos agrícolas presenta limitaciones de producción en áreas con problemas de salinidad o sodicidad del suelo. Estos problemas, causados por la aplicación de un agua de riego salina o por un inadecuado manejo del suelo, se está agravando en las regiones áridas y semi-áridas de todo el mundo. En áreas donde los suelos tienen un drenaje deficiente favorecido por las condiciones geomorfológicas, topográficas, hidrológicas y biológicas, suele suceder una acumulación de sales, esta condición se observa frecuentemente en las zonas, en las cuales la impermeabilidad del suelo impide el equilibrio del balance de sales, esta situación se presenta en extensas superficies, generalmente improductivas o en vía de serlo por los procesos de acumulación de sales.

La presencia de niveles freáticos cercanos a la superficie del terreno suele limitar la producción agrícola porque, cuando invade el perfil explorado por las raíces, puede producir asfixia radical o intoxicación salina, si aporta sales al mismo. Las variaciones de los NF producen mayores afectaciones a los cultivos que una freática de profundidad constante. Esto es debido a la falta de adaptación del sistema radical provocado por la alternancia de las condiciones de aerobiosis y anaerobiosis y, por la selectividad a las sales que adquieren las raíces, provocando desequilibrios fisiológicos que inciden en los rendimientos hasta la muerte de los cultivos (Pereira, 2010).

Las isobatas e isohipsa representan zonas con igual profundidad del nivel freático, estas se obtienen por la medición directa en los pozos de observación desde la superficie del suelo, y determinan las zonas con riesgos de salinización y necesidad de drenaje en especial en períodos o etapas críticas como cuando el cultivo es más sensible a los niveles de agua someros o cuando la napa presenta su máxima elevación en el año, deducida de las mismas hidrógrafas. (Bustamante, 1993; Pizarro, 1978). Son utilizadas cuando se quiere conocer en función del tiempo en forma conjunta y

dibujar las líneas de cambio, simplemente se superponen los mapas de isobatas e isohipsas para los períodos en consideración; las diferencias en la interpolación de las líneas se localizan y se dibujan los mapas de fluctuaciones de los niveles freáticos (Bustamante, 1993; Hassan, 1994; Martínez, 1986; Mercado, 1999).

De acuerdo con Ortegón (2004), con base en la información de los niveles del agua en los freatómetros se deben elaborar mapas de profundidades del nivel freático o isobatas, de alturas del nivel freático o isohipsas e hidrogramas de niveles freáticos y de lluvias. El mismo autor reporta los siguientes conceptos:

Mapas de isohipsas. Los mapas de isohipsas o curvas de igual cota del nivel freático permiten conocer la dirección del flujo freático, su gradiente hidráulico, las zonas de recarga y de descarga del área. Las cotas del nivel freático se calculan para cada sitio restando de la cota de la superficie del terreno la profundidad del nivel freático respectivo.

Mapas de isobatas. Los mapas de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático son de gran importancia porque permiten delimitar las áreas que requieren drenaje, es decir aquellas zonas que permanecen afectadas por niveles freáticos superficiales durante períodos prolongados.

La salinidad del suelo reduce el crecimiento y la productividad de los cultivos debido a la disminución de la presión osmótica de la solución del suelo y al aumento de la concentración de iones específicos a niveles tóxicos para las plantas entre los índices hidroquímicos más utilizados encontramos la relaciones Mg/Ca , K/Na , Na/Ca , $Na/(Ca+Mg)$, Cl/HCO_2 , SO_4/Cl , $(Cl-(Na+Ca))/Cl$, y Br/Cl . Esos factores interfieren en procesos fisiológicos como la transpiración, la fotosíntesis, la translocación y la respiración, además de causar desequilibrio hídrico y/o iónico en la planta (Richards, 1990; Ferreira et al, 2002).

Materiales y métodos Generalidades de la zona de estudio

La investigación se realizó en la zona de Urabá, ubicada en la región caribe, en el departamento de Antioquia, municipio de Apartadó el área estudiada se encuentra en las coordenadas $7^{\circ}57' 0.281''$ de latitud norte, y $76^{\circ} 39' 26.81''$ de longitud oeste con respecto al

meridiano de Greenwich, con un área de 84,46 ha. dedicada a la producción de banano tipo exportación.

Se identifica para la zona de Urabá y en particular para la zona de estudio, un régimen unimodal con un periodo común seco, el cual inicia en el mes de diciembre con una disminución de las precipitaciones y se extiende hasta el mes de marzo, abril es un mes de transición y a partir de mayo se inicia un periodo sostenido de lluvias que se extiende hasta el mes de noviembre. Se nota una leve disminución de las precipitaciones en los meses de junio, julio y agosto, consecuencia del movimiento del Frente Intertropical de Convergencia. La temperatura promedio mensual de $28^{\circ}C$, humedad relativa promedio del 80 % precipitación promedio anual de 2300 mm y una altura de 25 m.s.n.m. Las características de la zona fueron corroboradas con los datos históricos de pluviometría y temperatura de los años 2010, 2011, 2012 y 2013.

Procedimientos

Se utilizó la red de pozos de observación de niveles freáticos, que cuenta con 34 pozos distribuidos en las 84,46 Ha. para una densidad de muestreo de un pozo por cada 2,5 hectáreas aproximadamente, los pozos se encuentran proyectados en forma rectangular en el sentido del drenaje natural, con líneas de pozos espaciados a 150 m. y líneas paralelas cada 225 m. Los pozos de observación fueron construidos en el centro de los botallones a cinco metros del cable central, de tal manera que mostrara el valor central de la curva de abatimiento formada por los dos canales terciarios que definen el botallón, los tubos empleados tuvieron una longitud de 2,5 m. de los cuales 30 cm. quedaron expuestos sobre la superficie del terreno. Todos los pozos de observación se localizaron en el plano del área de estudio y se identificaron con un número.

Muestreo del manto freático de cada pozo

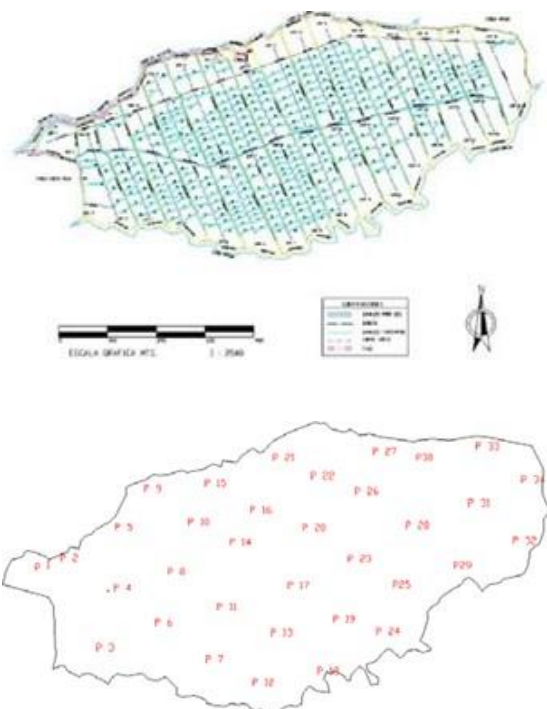
Con el apoyo del mapa abscisado de los pozos figura número 1, se ubicaron los puntos seleccionados, georreferenciándolos con la ayuda de GPS Garmin Etrex. En cada pozo se tomaron lecturas quincenales, de profundidad del nivel freático durante el 2013, de tal manera que se incluyeron períodos secos y lluviosos.



Fuente: Los autores

Figura 1. Nivelación de los pozos de la red freatimétrica 2013

Una vez se identificó la red freatimétrica y utilizando un nivel automático South NL 32, se procedió a tomar la cota de cada uno de los pozos. Con los datos obtenidos se estimó la cota de cada uno de los pozos y se ubicaron en el plano del área de estudio. Las cotas de cada pozo son la base para el cálculo de las cotas del nivel freático en diferentes sitios. En la figura 2 y en la tabla 1 se muestra la localización del área de estudio y de los sitios de muestreo.



Fuente: Los autores

Figura 2. Cartografía y cotas de nivel de boca de cada pozo de la red freatimétrica del área estudiada

Tabla 1. Localización pozos freatimétricos, municipio de Apartadó, Antioquia.

Pozo	Coordenadas geográficas de los pozos		CNS (m)
	Norte (N)	Oeste (W)	
1	07,94919°	076,66371°	3,97
2	07,94936°	076,66298°	4,14
3	07,94690°	076,66185°	4,87
4	07,94850°	076,66161°	4,42
5	07,95018°	076,66136°	4,69
6	07,94760°	076,66017°	4,76
7	07,94661°	076,65866°	5,25
8	07,94900°	076,65980°	4,76
9	07,95118°	76,66059°	4,83
10	07,95037°	076,65916°	5,16
11	07,94805°	076,65831°	5,2
12	07,95135°	076,65855°	5,46
13	07,95143°	076,65871°	5,58
14	07,94980°	076,65797°	5,24
15	07,94736°	076,65671°	4,14
16	07,95079°	076,65749°	5,27
17	07,94860°	076,65628°	5,52
18	07,94637°	076,65530°	6,25
19	07,94782°	076,65485°	5,68
20	07,95023°	076,65584°	5,83
21	07,95214°	076,65675°	5,89
22	07,95166°	076,65553°	6,17
23	07,94940°	076,65442°	6,27
24	07,94745°	076,65359°	6,64
25	07,94870°	076,65308°	6,65
26	07,95121°	076,65422°	6,46
27	07,95222°	076,65370°	6,88
28	07,95021°	076,65273°	7,02
29	07,95205°	076,65253°	7,42
30	07,94913°	076,65139°	7,42
31	07,95100°	076,65094°	7,76
32	07,94976°	076,64955°	7,81
33	07,95237°	076,65057°	6,27
34	07,95140°	076,64928°	6,66

Para medir la profundidad del manto freático se utilizó un flexómetro marcado cada centímetro y cinta de papel como indicador de humedad, la cota del nivel freático se obtuvo de la siguiente ecuación:

$CNF = CNS - PNF$ Donde:

CNF = Cota del nivel freático (m)

CNS = Cota del nivel del terreno en el entorno del pozo (m), se obtuvo por medio de nivelación.

PNF = Profundidad del nivel freático (m). se obtuvo por medición directa en cada pozo.



Los resultados de las cotas se procedieron a graficar en el programa Surfer 10, para observar que tipos de pendiente y comportamiento que tiene el terreno. Estos datos de altimetría de pozos se amararon al nivel del mar, con el objetivo de ver hacia donde corren las aguas internas del suelo (isohipsas).

Para los análisis físicos y químicos se tomaron muestras de aguas freáticas en cada pozo en la misma fecha, para lo cual se utilizó una bomba de succión manual y se colectó la muestra en un envase plástico esterilizado con capacidad aproximada de 500 ml. El cual se rotuló con el número del pozo y la fecha, y se remitió al Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba, en el cual se determinaron los cationes solubles (Ca, Mg, Na, K), aniones solubles (Cl, SO₄, CO₃, HCO₃), pH, Conductividad eléctrica (CE), con los procedimientos utilizados en el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Córdoba. Para muestras de aguas se hicieron los cálculos y análisis respectivos y los resultados fueron tabulados.

Procesamiento de datos

Todos los datos recolectados para cada variable fueron tabulados para la modelación y análisis en el Excel office 2010 y Surfer, utilizando la herramienta de interpolación.

Producción

Los pesos de racimos fueron tomados por báscula electrónica Trutest XR3000 ubicada en la empacadora donde se realiza el proceso poscosecha, estos racimos son cosechados en los días de embarque y provienen de los 16 lotes georreferenciados. Los datos fueron tomados diariamente y clasificados por lotes entre las semanas de 2013. Para mayor manejo y comparación de datos se agruparon de forma semanal (promedio de racimos diarios) por lotes, además se clasificaron los racimos como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de rangos de para el cultivo de banano a nivel de la zona de Urabá Colombia, para peso de racimo.

Color	Escala peso de racimo	
Color del rango	Rango peso (kg)	Valoración
Rojo	<20	Muy malo
Naranja	20 – 24	Malo
Amarillo	24 – 28	Regular

Azul	28 – 32	Bueno
Verde	>32	Muy bueno

Fuente: Manual de buenas prácticas agrícolas para banano C.I Uniban S.A. (2003)

Manejo de la información freatimétrica

Con la información de profundidad y cotas de los niveles freático, se realizaron, mapas de isobatas e isohipsas, mapas de isoconcentraciones de mantos freáticos, a través de interpolación por el método del Krigeado con ayuda de software Surfer, los rangos de nivel freático fueron clasificado según la escala del manual de buenas prácticas agrícolas de C.I Uniban S.A. (2003), como se muestra en la tabla número 3.

Tabla 3. Clasificación de rangos de para el cultivo de banano a nivel de la zona de Urabá Colombia, para peso de racimo.

Color	Escala profundidad nivel freático	
Color del rango	Rango nivel freático (cm)	Valoración
Rojo	<50	Muy superficial
Naranja	50 – 75	Superficial
Amarillo	75 – 100	Moderadamente profundo
Azul	100 – 150	Profundo
Verde	>150	Muy profundo

Fuente: Manual de buenas prácticas agrícolas para banano C.I Uniban S.A. (2003)

Resultados y discusión

Muestreo de los mantos freáticos del área de estudio

En la tabla 4 y 5 se presentan los resultados analíticos de las determinaciones correspondientes al análisis de salinidad de las aguas freáticas y algunos índices de salinidad e índices hidrogeoquímicos, correspondientes al muestreo del mes de enero de 2014.

Tabla 4. Resultados analíticos de las aguas freáticas Apartadó – Antioquia. Muestreo: enero/2014

Lote	No	pH	CE	C a	M g	N a	K	C l	HC O ₃	C O	S O	R A S
			dS/m									
2	3	7,1	0,3	6	2	0	0	0	0,7	0	7	0
			7						8			
					5							



							3	3	7		2	5	1
							9	8	1		8	1	9
4	6	6,6	0,4	6	2	0	0	0	0	1,1		7	0
					5	6	2	5		8		6	3
						5	3	6				4	2
5	7	6,7	0,3	6	2	0	0	0	0	0,9	0	7	0
			3		5	3	0	5		4		1	3
						9	8	9				2	2
													9
5	8	7	0,4	4	2	0	0	0	0	1,1	0	5	0
			5		5	3	2	8		4		2	4
						9	3	2				6	1
5	9	6,4	0,4	4	2	0	0	1	0,2		5		0
			6		5	5	3	8				9	2
						2	1	5				6	8
6	1	6,8	0,2	4	2	0	0	0	0,6		6		0
	0		5		5	5	2	7				4	2
						2	3	1				5	8
7	1	6,8	0,3	6	2	0	0	1	1,1		6		0
	3		8		5	5	0	0				9	2
						2	8	6				4	5
7	1	6,8	0,2	4	2	0	0	0	0,8		6		0
	4		9		5	5	3	1	7			0	2
						9	5	2				3	1
7	1	7	0,3	4	2	0	0	0	0,8	0	5		0
	5		5		5	3	0	7		4		2	7
						9	8	1				2	1
8	1	6,7	0,4	6	2	0	0	1	1,5		6		0
	6		7		5	5	2	2				5	2
						2	3					5	5
8	1	6,9	0,3	4	2	0	0	0	0,8	0	5		0
	7		8		5	5	2	0	9			1	4
						6	8	2				6	4
9	1	6,8	0,5	6	2	0	0	1	1,7	0	6		0
	9		1		5	3	2	2				0	1
						9	3					2	9
9	2	6,9	0,3	4	2	0	0	0	0,8		5		0
	0		3		5	5	2	0	8			6	1
						6	8	7				6	4
1	2	6,9	0,4	4	2	0	0	1	1,0		5		0
	0		2		5	5	3	2	0			5	2
						9	3	6				2	1
1	2	6,9	0,3	4	2	0	0	0	1,1		5		0
	0		3		5	5	5	1	7			7	2
						2	5	8				8	8
1	2	6,7	0,4	4	2	0	0	1	0,8		5		0
	1		1		5	5	5	3	2			7	2
						2	1	7				6	8
1	3	6,6	0,3	4	2	0	0	1	0,4		6		0
	6		6		5	5	5	4	3			2	2
						2	6	1				7	8

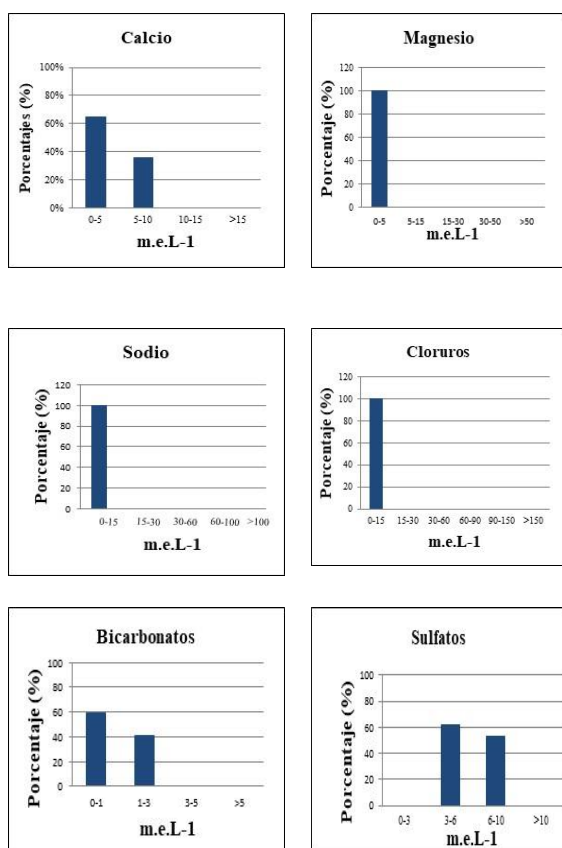
Tabla 5. Algunos Índices hidrogeoquímicos niveles freáticos, Apartadó - Antioquia. Muestreo: enero/2014

POZ O N °	Mg/ Ca	Cl/HC O ₃	K/N a	Cl/S O ₄	RA S	(Cl- (Na+C a)) Cl	HCO ₃ (Cl+S O ₄)	Cl (Cl+ SO ₄)
3	0,42	0,910	0,9 7	0,09 5	0,1 89	- 8, 00	0, 09 5	0,086
1	0,42	0,475	0,3 5	0,07 3	0,3 15	- 10, 88	0, 14 4	0,068

2	0,42	0,628	0,2 1	0,08 1	0,1 89	- 9, 83	0, 11 9	0,075
4	0,56	0,719	0,5 9	0,15 0	0,2 08	- 4, 96	0, 18 2	0,131
5	0,56	9,250	0,6 0	0,31 0	0,2 78	- 1, 71	0, 02 6	0,237
18	0,56	1,183	0,4 4	0,11 0	0,2 78	- 6, 07	0, 08 4	0,099
13	0,42	0,964	0,1 5	0,15 3	0,2 52	- 5, 15	0, 13 8	0,133
14	0,56	0,900	0,3 8	0,11 9	0,2 08	- 5, 79	0, 11 9	0,107
15	0,56	0,845	0,2 1	0,12 4	0,2 08	- 5, 89	0, 13 1	0,110
33	0,42	0,800	0,4 4	0,18 3	0,2 52	- 4, 43	0, 19 4	0,155
21	0,56	1,122	0,3 1	0,16 9	0,1 39	- 4, 17	0, 12 9	0,145
19	0,42	0,706	0,5 9	0,19 9	0,1 89	- 4, 33	0, 23 5	0,166
20	0,56	1,088	0,3 1	0,15 4	0,1 39	- 4, 47	0, 12 3	0,133
23	0,56	1,019	0,5 9	0,19 2	0,2 08	- 3, 61	0, 15 8	0,161
24	0,56	0,696	0,2 9	0,13 5	0,2 78	- 5, 44	0, 17 1	0,119
25	0,56	1,588	0,6 0	0,22 0	0,2 78	- 2, 95	0, 11 4	0,181
34	0,56	3,275	0,8 8	0,20 9	0,2 78	- 2, 83	0, 05 3	0,173

De acuerdo a los análisis de salinidad aguas freáticas que se muestran a continuación en la figura 3, se determinó que los iones sulfatos, calcio, magnesio, cloruro, carbonato, sodio y potasio en el orden son los predominantes en las aguas freáticas del área de estudio, por tanto estos iones pueden originar sales perjudiciales para el crecimiento del cultivo de banano, las cuales pueden ser sulfato de magnesio, cloruro de magnesio y en menor proporción cloruro de calcio, cloruro de sodio; estas sales pueden ser muy tóxicas para las plantas, especialmente en las zonas de raíces ya que pueden tener contacto con estas soluciones salinas a través del movimiento capilar. Tal como lo reporta Sánchez et al., (2015) y Ayers et al., (1987), donde especifican que el rendimiento de los cultivos se resiente cuando el contenido de sales en la solución del suelo se incrementa, de modo tal que inhibe a los mismos de la extracción de agua de la zona radicular,

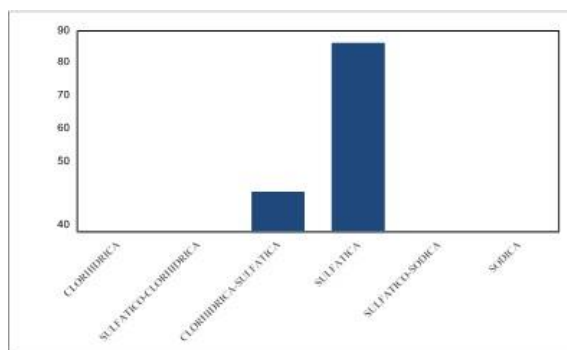
provocando sequía fisiológica, engrosando las hojas y/o generando un color verdeazulado pronunciado. El 100% de los sitios muestreados presento conductividad eléctrica menor a 5 dS/m y además se encontró que el 100% de las muestras tomadas mostraban valor de pH entre 6 – 7, lo que está relacionado con la poca presencia de sales en la totalidad del área. Estos valores de pH entre 6,0 y 7,5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de cultivos. Adicionalmente, el pH del suelo afecta la actividad de los microorganismos beneficiosos y la disponibilidad de nutrientes. Los valores obtenidos en la medición de la conductividad eléctrica son menores a 5dS /m, estos valores obtenidos tienen efectos casi despreciables en los cultivos y con pocos organismos afectados, por lo tanto, se puede decir que no hay problemas de salinidad, aunque presenta una tendencia (Carrera et al., 2014). En la figura 3 se muestra la distribución de cationes y aniones en los sitios de muestreo.



Fuente: Los autores

Figura 3. Distribución frecuencias de cationes y aniones, Apartadó, Antioquia.

La tendencia del tipo de salinidad de las aguas freáticas según las relaciones iónicas que predominan en el área de estudio, es la de tipo sulfática con una tendencia del 82,4% en el muestreo realizado, el tipo clorhídrico – sulfática con 17,6%, la sulfato-clorhídrica y clorhídrica con ninguna presencia; lo anterior indica que en estas aguas freáticas hay predominio de sulfatos y cantidades pequeñas de cloruros. Indican que las principales sales que afectan a los vegetales y que se encuentran en los suelos corresponden a los cloruros y sulfatos de sodio, calcio y magnesio, siendo para las plantas los principales iones ci-tóxicos el sodio, los cloruros y los sulfatos (Munns et al., (2005); Chinnusamy et al., (2005). Todos los suelos contienen sales y algunas de éstas se convierten en un problema en la zona radical del cultivo; a veces, el problema es el cloruro sódico (o sal de mesa) pero también pueden serlo otras sales. La presencia de sales en porcentaje en el área de estudio se muestra en la figura 4.



Fuente: Los autores

Figura 4. Tipos de salinidad según relaciones iónicas, Apartadó- Antioquia

Tendencia de los índices hidrogeoquímicos

Relación Mg/Ca : Todas las muestras presentan valores entre 0,3 y 0,6 característicos de aguas continentales, que no presentan problemas de salinidad alguna. Lo cual está relacionado con una influencia de terrenos de origen magnésico y por ende existe la posibilidad de aporte de magnesio a las aguas freáticas

Relación K/Na : Las muestras tomadas en diferentes sitios presentan valores de esta relación por encima de 0,3 rango de aguas dulces.

Relación Cl/HCO_3 : El 94,1% de los sitios de muestra presentaron valores entre 0 – 5, lo cual indica que la

mayor parte del área corresponde a aguas continentales y que no hay riesgo de intrusión marina.

Relación $(Cl-(Na+Ca))/Cl$: El 100% de los valores se encuentra en el rango de -50 a 0, esto indica el bajo contenido de sales presentes en las muestras tomadas.

Relación de adsorción de sodio: El 100% de las muestras presentaron valores menores a 3 m.e. L^{-1} .

Planos de salinidad de los mantos freáticos

Planos de isovalores de pH: Para el periodo de muestro enero/2014 mostraron poca variación para los valores de pH, predominando en toda el área valores de 6 - 7 en un 88.2% y en menor proporción rango de 7- 8 con 11.8% (figura 5). Observándose de esta manera valores muy cercanos a la neutralidad esto puede estar asociado a la presencia de sales neutras y de basicidad media. Se encontró que las zonas de mayor concentración de sales coinciden con las zonas de descarga del flujo freático, lo cual indica que el transporte de sales ocurre en la dirección del flujo subterráneo o flujo Darcyniano, este resultado coincide con lo reportado por Mercado et al., (2011) en el distrito de riego de la Doctrina, Colombia; y por Mercado (1999) en el distrito de riego 041 rio Yaqui, Sonora, México.

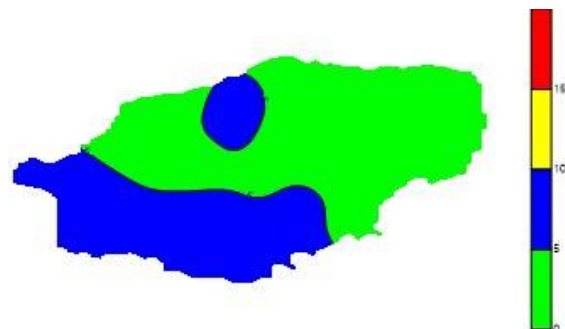


Fuente: Los autores

Figura 5. Plano de isovalores de pH, área de estudio Apartadó- Antioquia, enero/2014

Planos de isoconductividad electricidad: Para el muestreo realizado se determinó que el 100% del área presento valores entre 0-1, cabe notar que durante la época de muestreo coincidió con un periodo seco y aun así, no se observaron valores altos de CE, por concentración de solutos en las aguas freáticas. Planos de isoconcentración de la zona de estudio

Plano de isoconcentración de calcio: Se encontró que del total de área de estudio (84,46 Ha) predominan 54,6 Ha con valores dentro del intervalo de 0-5 m.e/L rango considerado como normal, los demás valores entre 5-15m.e/L corresponden a un área de 29,81 Ha (figura 6). Esta concentración de calcio no causa problemas y esto se debe posiblemente a la precipitación de calcio en forma de sales de solubilidad media.



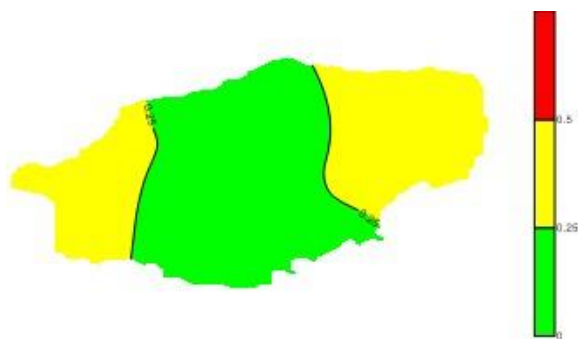
Fuente: Los autores

Figura 6. Plano de isovalores de Calcio (m.e/L), área de estudio Apartadó- Antioquia, enero/2014

Plano de isoconcentración de magnesio: Se determinó que en la totalidad del área se presentaron valores dentro del rango 0 – 5 m.e/L.

Plano de isoconcentración de sodio: Para el muestreo efectuado en Enero/2014 todos los valores se encontraron dentro del rango 0 – 5 m.e/L, lo cual ratifica los bajos valores de CE. Esto puede tener su origen en la dilución de sales por acción de la precipitación.

Plano de isoconcentración de potasio: Se encontró que en un área de 64,61 hectáreas predominan valores 0 – 0.25 m.e/L los cuales se consideran normales, solo existe un área de 19,84 Ha con valores entre 0.25 – 0, 5m.e/L (Figura 7), y es posible que en esta área el potasio pueda formar cloruro de potasio, el cual es muy soluble.



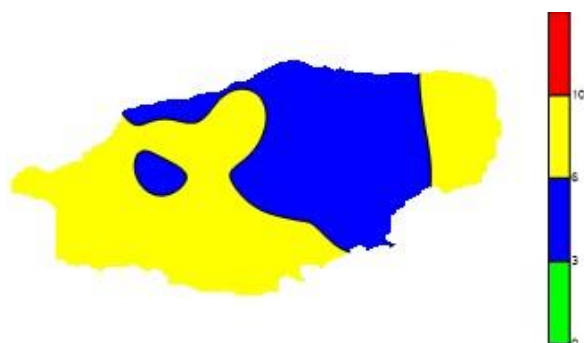
Fuente: Los autores

Figura 7. Plano de isovalores de potasio (m.e/L) del área de estudio Apartadó- Antioquia, enero/2014

Plano de isoconcentración de bicarbonatos: Se determinó que 59% del área presenta valores dentro del rango de 0 a 1 y el 41% presenta valores entre 1 y 3; en las áreas donde predominan altos valores de HCO_3 es se formen sales como el carbonato de sodio (Na_2CO_3) que es una sal muy peligrosa que causa la pérdida de la estructura y disminución de la permeabilidad del suelo.

Planos de igual concentración de cloruros: Se estableció que para toda el área los valores de concentración de cloruros estaba dentro del rango 0 - 15 m.e/L, se puede rescatar que estos valores estén afectados por la dilución producto de la precipitación.

Planos de igual concentración de sulfatos: como resultado del muestreo realizado se determinó que 39,78 Ha posen valores dentro del rango 3 – 6 m.e/L, y 44,67 Ha restantes con valores dentro del rango 6 – 10 m.e/L distribuidos como se muestra en la figura 8.



Fuente: Los autores

Figura 8. Plano de isovalores de sulfatos en el área de estudio, Apartadó- Antioquia, enero/2014

Esta concentración de sulfatos explica por qué el tipo de salinidad dominante es la de tipo sulfática y en segunda instancia la clorhídrica sulfática.

Planos de isovalores de Mg/Ca : Esta relación muestra valores cercanos uno en la totalidad del área, lo cual está relacionado con una influencia de terrenos de origen magnésico y por ende existe la posibilidad de aporte de magnesio a las aguas freáticas.

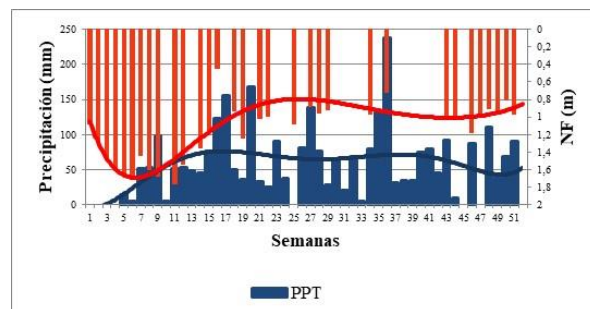
Planos de isovalores de Cl/HCO_3 : El 94,1% de los sitios de muestra presentaron valores entre 0 – 5, indicando esto que la mayor parte del área corresponde a aguas continentales.

Planos de relación $(\text{Cl}-(\text{Na}+\text{Ca}))/\text{Cl}$: El 100% de los valores se encuentra en el rango de -50 a 0, por el bajo contenido de sales presentes en las muestras tomadas.

Planos de isovalores de RAS: Con respecto a los valores de la relación de adsorción de sodio respecto a calcio magnesio.

Información de precipitación

Los datos de precipitación se tomaron diariamente desde la semana 1 hasta la semana 52 del 2013, estos se agregaron a nivel semanal, realizando una suma de los datos que se tenían entre lunes y domingo de acuerdo al calendario bananero establecido en la zona, además para ser comparados con el nivel freático y pesos de racimos ver figura 9 y 12.

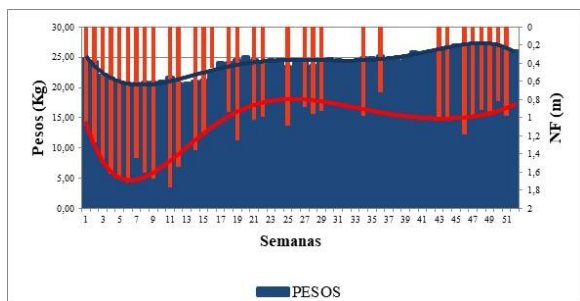


Fuente: Los autores

Figura 9. Comportamiento histórico de la precipitación y la profundidad del nivel freático promedio entre las semanas 1 y 52 del 2013.

Datos de profundidad nivel freático

Los datos de profundidad del nivel freático provinieron de 34 pozos freaticométricos georreferenciados (figura 2); estos fueron colectados con una frecuencia semanal (figura 10) el 2013, mostrando la profundidad a la que se encuentra el nivel de agua en el suelo, que afecta el cultivo de manera directa cuando esta se encuentra muy cerca de la superficie del suelo (Tabla 2 y 3).

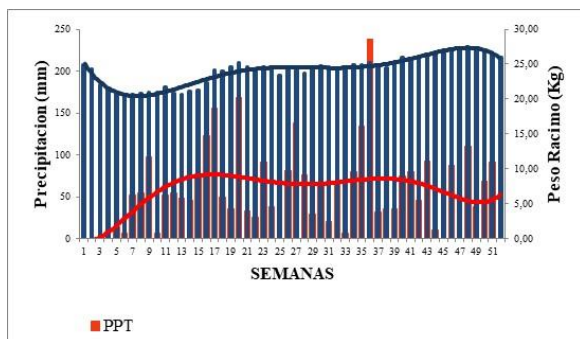


Fuente: Los autores

Figura 10. Comportamiento histórico de la profundidad del nivel freático promedio y peso racimo entre las semanas 1 y 52 del 2013.

Datos de peso racimo

Los datos de pesos de racimos fueron tomados por la báscula electrónica. Estos datos fueron tomados con una frecuencia diaria y clasificados por lote entre las semanas 1 del 2013 a la 52 del 2013. Para mejor manejo y comparación los datos se agruparon de forma semanal (promedio de pesos diarios), para preparar su estudio.



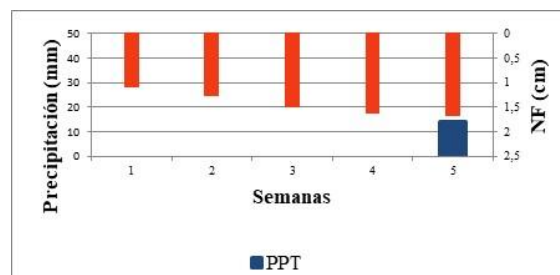
Fuente: Los autores

Figura 11. Comportamiento histórico de la precipitación promedio y peso racimo entre las semanas 1 y 52 del 2013.

La figura 11 muestra el comportamiento de la precipitación y el promedio de nivel freático de los 34 pozos freaticométricos del área de estudio, para las semanas 1 del 2013 a la 52 del 2013. Como se puede observar la precipitación presenta una alta variabilidad a través de las semanas estudiadas, observándose en el primer trimestre del año 2013 de forma aislada lluvias muy altas seguidas de muy bajas; a partir del segundo trimestre se inician eventos de lluvias más seguidas, las cuales se estabilizan de forma constante en el tercer trimestre, para luego nuevamente mostrar precipitaciones bajas en el cuarto trimestre del año 2013, este fenómeno es muy cíclico y marcado en la zona de Urabá, ya que se presentan dos temporadas climáticas, una de verano en el primer trimestre y una de invierno que inicia paulatinamente en el segundo trimestre y termina en el cuarto; cabe destacar que en esta temporada de invierno se presentan de forma aislada bajas precipitaciones, los cuales se pueden observar muy bien en las semanas 25, 33 y 45 del 2013.

Mapeo de isobatas y peso de racimo por lote

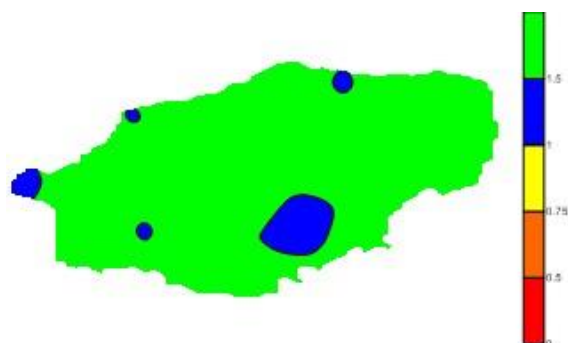
De acuerdo al análisis hecho en la organización de los datos, se seleccionaron cuatro semanas puntuales que representan muy bien los cuatro trimestres del año donde se ve afectada la producción (peso de racimo). En el mapa de isobatas (interpolación de la profundidad del nivel freático) de la semana 5, que representa el primer trimestre del año, el nivel freático se encontraba en un rango de 150 a 200 cm respecto a la superficie del suelo (color azul), esto se debe a que cuando se tiene precipitaciones acumuladas muy bajas durante la semana (14 mm) se impacta altamente la profundidad del nivel freático (ver figura 11); además la precipitación acumulada que se tenía entre la semana 1 del 2013 a la 5 del 2013 fue de 14 mm (ver figura 12).



Fuente: Los autores

Figura 12. Precipitación cuatro semanas atrás de la semana 5 seleccionada para hacer los análisis de isobatas en el primer trimestre del año.

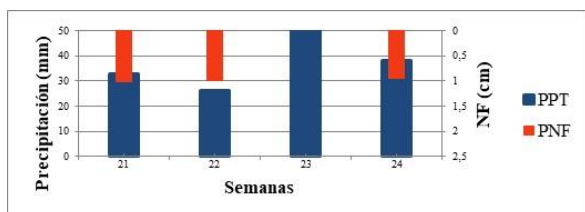
Desde el punto de vista espacial del área de estudio este evento tuvo su mayor impacto (niveles freáticos mayores de 150 cm) en los lotes 10, 11, 12, 13, 15 y 16, ubicados en la zona oeste abarcando 71,68 ha equivalente al 84,8% del área (Figura 13). Este evento trascendió 12 semanas después, en el peso de los racimos que fueron cosechados desde la semana 10 del 2013, afectando la productividad (nivel muy bajo) especialmente en los lotes 10, 11, 12, 13, 15 y 16; que equivale a 32,8 ha y representan el 38,83% del área de estudio. El resto del área de estudio presentó valores de peso racimo dentro del nivel bajo correspondiendo de esta manera al 61,17% del área.



Fuente: Los autores

Figura 13. Plano de isobatas de área de estudio, Apartadó – Antioquia Semana 5, enero/2013

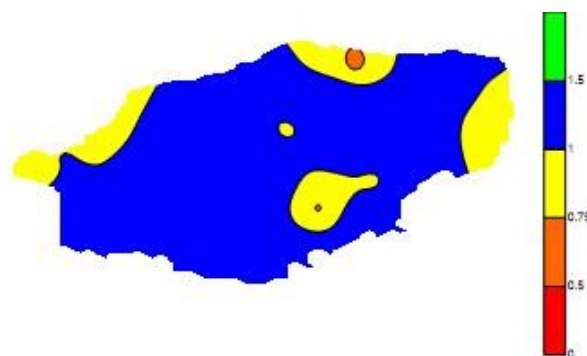
En la interpolación hecha a los datos tomados en la semana 24 que representan el segundo trimestre del año, en este la profundidad del nivel freático se encontraba moderadamente profundo y profundo con 58.8 y 35.3% respectivamente, por la baja precipitación presentada (38 mm), además, la precipitación acumulada de la semana 21 a la 24 del 2013 ostento niveles muy bajos (188 mm) como se observa en la figura 14.



Fuente: Los autores

Figura 14. Precipitación cuatro semanas atrás de la semana 24 seleccionada para hacer los análisis de isobatas en el segundo trimestre del año.

En la isobata generada para esta fecha se evidencia que las zonas críticas con niveles muy profundos desaparecen en su totalidad, dado que el nivel freático se encuentra por debajo de 1,5 metros de profundidad (ver figura 15), así mismo el peso de racimo por lote mejoró sustancialmente, pasando de tener 6 lotes con pesos muy bajo a ninguno, y solo teniendo los lotes 3, 10, 12 y 15 con peso bajo (entre 20 y 24 kg) que equivalen a 21,16 ha (17,87% del área). Los lotes restantes del área presentaron peso medio (entre 24 y 28 kg) que equivalen al 82,12% del área.

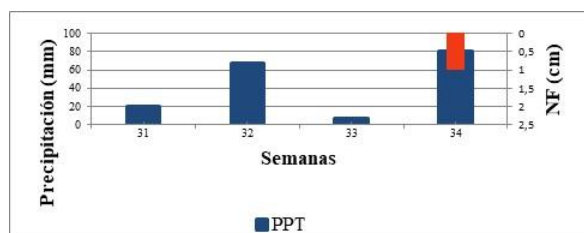


Fuente: Los autores

Figura 15. Plano de isobatas del área de estudio, Apartadó – Antioquia semana 24, junio/2013

Para el análisis hecho al nivel freático evaluado en la semana 34 (representa en tercer trimestre), en este la profundidad del nivel freático se encontraba moderadamente profundo y profundo con 61.8 y 35.3% respectivamente (Figura 17), por la baja precipitación presentada (80 mm), y la acumulada en las últimas cuatro semanas de 174 mm también (ver figura 16).

Este evento afectó de forma espacial el nivel freático, ubicándolo en un rango moderadamente profundo y profundo; a pesar de esto el efecto sobre el peso de racimo de la semana 44 en los lotes no se vio afectado de forma negativa ya que el 91% del área presentó valores de peso racimo dentro del rango medio (entre 24 y 28 kg) y el 9% restante que corresponde a los lotes 3 y 14 presentó valores dentro del rango alto (entre 28 y 34 kg) ver tabla 2 y 3.



Fuente: Los autores

Figura 16. Precipitación cuatro semanas atrás de la 34, seleccionadas para análisis isobatas en el tercer trimestre del año.

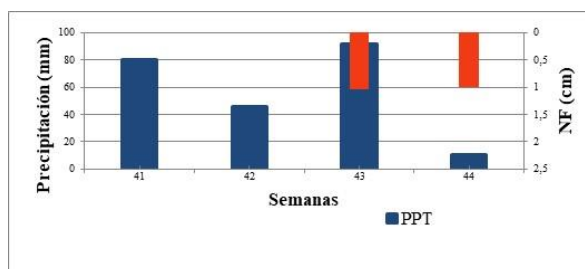


Fuente: Los autores

Figura 17. Plano de isobatas del Área de estudio, Apartadó– Antioquia semana 34, agosto/2013

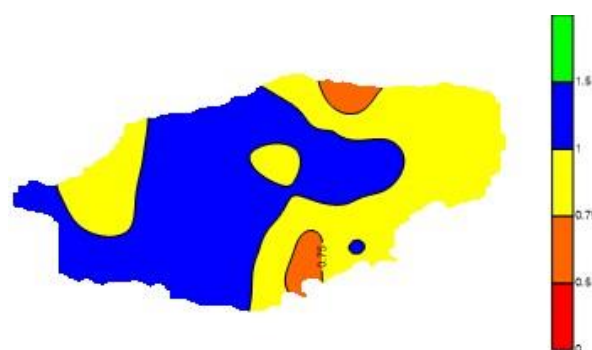
En el análisis de la semana 44 (representa en cuarto trimestre), como en la semana 21, se evidencia un descenso de los niveles freáticos al ubicarse en un nivel moderadamente profundo y profundo, dado que la precipitación presentada en la semana fue de 10 mm, pero en el acumulado de las cuatro últimas semanas fue de 228 mm (figura 18).

En la isobata generada se evidencia que el número de lotes que se encuentran en un nivel freático profundo comparando con la semana 24 es menor (figura 19), así mismo los lotes que presentaron un peso medio, aumento de 12 a 14, y los dos lotes restantes pasaron a la categoría alto (entre 28 y 34 kg) representando un área de 77,3 ha (90% del área de estudio) con pesos medio ver tabla 2 y 3.



Fuente: Los autores

Figura 18. Precipitación cuatro semanas atrás de la 44 semana seleccionada para hacer los análisis isobatas en el cuarto trimestre del año.



Fuente: Los autores

Figura 19. Plano de isobatas del área de estudio, Apartadó – Antioquia. Semana 44, octubre/2013

En la interpolación hecha al promedio de las 52 semanas de la profundidad del nivel freático se evidencio que el área estudiada no tiene condiciones que afectan mucho el desarrollo del cultivo, ya que se mantiene entre los rangos de moderadamente profundo y muy profundo (ver tabla 6), que comparado con el promedio de los pesos por lote de las 52 semanas, no se tiene mucha relación, ya que todos los lotes no presentan las mismas condiciones de productividad; donde los lotes que presentan un mejor nivel freático (muy profundo) están ubicados en la zona centro y este (4, 5, 6, 7, 14 y 16) y los lotes que presentaron un mejor peso (alto) son los ubicados en la zona oeste- centro (lotes 2, 5, 6 y 7).

De acuerdo con lo reportado por Sancho (1993) quien firma que conforme aumenta la profundidad del nivel freático la distribución radicular mejora. Esto beneficia a las condiciones de aireación estimulándose el crecimiento y desarrollo de raíces. Las raíces en condiciones de buena aireación son más largas y de mayor diámetro que las raíces producidas bajo malas condiciones de aireación.

Claro está que los lotes que han presentado los mayores inconvenientes de peso (muy bajos a bajo) en las semanas evaluadas de cada trimestre son siempre los mismos 10, 11, 12 y 13 presentando una relación muy acertada entre el peso de racimo y el nivel freático (Tabla 2 y 3).

Todo lo anterior tiene alta relación con la infraestructura de drenaje; ya que los lotes menos afectados tienen un sistema de drenajes terciario más denso y organizado.

Actualmente la subregión de Urabá y los sistemas productivos bananeros y otros cultivos cuentan con una herramienta tecnológica denominada Siomapp que permite estudios análisis hídrico, análisis meteorológico y análisis foliar, análisis temporales del funcionamiento de la red de drenajes, flujo de agua en el cultivo, lo que permite detección temprana del déficit o exceso de agua, monitoreo de precipitaciones, optimización de fertilizantes, mapas de rendimiento de racimos, entre otros. Estos estudios son realizados con equipos de campo y analizados por expertos en el tema (Sioma, 2017). Por lo tanto, estas y otras herramientas tecnológicas, más los procesos de investigación aplicada al sector productivo aportan al desarrollo del cultivo, la gestión y transferencia de conocimiento en la subregión y otras zonas del país.

Conclusiones y recomendaciones

- El área presenta una pendiente natural (superficie) que va desde la zona este hacia zona oeste, coincidiendo con la macro geografía de la región.
- Este sistema de drenajes no se encuentra haciendo la función estipulada, ya que los canales que están cortando las aguas son los secundarios y no los terciarios como lo describen algunos autores citados, por tal razón se recomienda realizar un manejo diferente a las zonas con mayores problemas de nivel freáticos de acuerdo a los mapas de isobatas las zonas del área de estudio están ubicadas en el sector oeste.
- Para los meses de enero a marzo se presentan valores de nivel freático entre 1.5- 2 m, datos que contrastan con la época de sequía de esos meses, los pesos de los racimos se ven

afectados de forma negativa, presentado así los valores más bajos de todo el año.

- Los meses de octubre a diciembre los niveles freáticos se encuentran en un rango de 1-1.5m de profundidad la variable peso de racimo con valores promedios de 26 kilogramos por racimo.
- Los meses de mayo a septiembre son meses equilibrados con valores promedios de 24 kilogramos por racimo y la profundidad del nivel freático se mantiene estable con valores cercanos a 1m.
- Las principales sales que predominan en las aguas freáticas del área de estudio, son sulfato de magnesio y cloruro de magnesio, otorgando una tendencia salina de tipo sulfática como sulfato de magnesio y cloruro de magnesio en el 82,4% en el muestreo realizado y el tipo clorhídrico – sulfática con 17,6% de acuerdo a las relaciones iónicas. Donde la migración de sales se da en dirección del flujo freático, lo cual es responsable de los valores mayores de pH, en la zona de descarga.
- El exceso de agua con saturación del suelo, por periodos prolongados provoca en la planta pérdidas irreparables en el sistema radical, que repercutirán en el fructificación de la planta, el desarrollo y llenado del fruto.
- Se requieren estudios adicionales que determinen las relaciones entre la densidad de raíz (funcionales y no funcionales), la producción de la planta, y su relación con la salinidad y nivel freático.
- Se recomienda realizar nuevos estudios debido a que las condiciones climáticas (precipitación) aun aumentado en los últimos años, produciendo un aumento en la concentración de sales, y es posible que con las fertilizaciones la tendencia de la salinidad haya cambiado.

Referentes bibliográficos

- Asociación de Bananeros de Colombia-Augura. (2017). *Estadísticas del sector*. Coyuntura bananera 2016. Augura. Medellín. 31p. Recuperado de <http://www.augura.com.co/wp-content/uploads/2015/08/CONYUNTURA-BANANERA-2016.pdf> [Agosto 13, 2017]
- Asociación de Bananeros de Colombia-Augura. (2017). *Zonas productoras*. Recuperado de <http://www.augura.com.co/augura/quienes-somos/> [Septiembre 13, 2017]
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987. *La calidad del agua en la agricultura*. Estudio FAO, Riego y Drenaje. No. 29. FAO, Roma, Italia. 174p.
- C.I Uniban S.A. (2003). *Manual de buenas prácticas agrícolas para banano*. Medellín. Colombia.
- Carrera, D., Guevara, P., y Gualichicomin, G. (2014). *Caracterización físico-química desde el punto de vista agrícola de los suelos en la zona de riego del proyecto multipropósito Chone*. In *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*. Vol. 9, No. 1, pp. 71-80). Recuperado de <http://journal.espe.edu.ec/index.php/cienciaytecnologia/article/view/87> [Agosto 16, 2016]
- Chinnusamy, V.; A. Jagendore, A. & Zhu, J.K. (2005). *Understanding and Improving Salt Tolerance in Plants*. Crop Sci. 45: pp.437-448. Recuperado de <https://www2.ag.purdue.edu/hla/zhulab/Documents/Publications/2005/VCcropsci.pdf> [Noviembre 16, 2016]
- Fernández, M., & Fernández, T. M. (1999). *Establecimiento de vectores de salinidad a través del análisis físico-químico de los mantos freáticos someros en el Distrito de riego 041, Río Yaqui, Sonora*. Tesis de grado. Instituto Tecnológico de Sonora (No. 04; TESIS.). México. 60p. Recuperado de http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/664_valenzuela_alvaro.pdf [Noviembre 30, 2016]
- Ferreira, E., Willadino, I., Semen, I. S., Rangel. T. y Oliveira, S. (2002). *Genotipos de bananos (Musa spp.) bajo estrés salino: tolerancia y sensibilidad*. INFO MUSA, volumen 11, N°2. pp.13-18. Recuperado de <http://docplayer.es/21775180-Infomusa-la-revista-internacional-sobre-banano-et-platano-vol-11-no-2-diciembre-2002-en-este-numero.html> [Abril 13, 216]
- Guarín, G. (2011). *Impacto de la variabilidad climática en la producción de banano en el Urabá Antioqueño*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 38p. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/4643/1/200720438.2011.Capitulos_1-5.pdf [Marzo 13, 2017]
- Mercado, T. (1999). *Establecimiento de vectores de salinidad a través del análisis físico-químico de los mantos freáticos someros en el distrito de riego 041 río Yaqui, Sonora, México*. Tesis maestría, Montecillos, México. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 135 p.
- Mercado, T. Ortega, M, Arenas, A. & Combatt, E. (2011). *Dinámica de sales en el distrito de riego La Doctrina, Colombia*. IDESIA; (Chile) Volumen 29, N° 1. Enero - Abril 2011, pp. 83-90. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000100011 [Agosto 10, 2016]
- Munns, R.; A. Termaat (1986). *Whole- Plant Responses to Salinity*. Aus. J. Plant. Physiol. 13 (1). pp.143-160. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1071/PP9860143> [Agosto 7, 2016]
- Ortegón, A. (2004). *Metodología para la realización de estudios de drenaje a nivel predial*. En: Revista Palmas. Vol. 25. N° espacial. Tomo II.



pp.126-136. Recuperado de
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/1075/1075>
[Septiembre 28, 2017]

Pereira, C. (2010). *Comportamiento del nivel freático en el área bajo riego del tercio inferior del río Atuel, cuenca del río Atuel*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Cuyo Mendoza – Argentina. 82p. Recuperado de
http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/4515/pereira-comportamientonfenrioatuel-mza.pdf [Abril 18, 2016]

Richards, L. A. (1990). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Manual núm.60. Sexta reimpresión. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Laboratorio de Salinidad. México, DF: Limusa. 172p

Sánchez, R. M., Dunel, G., L., y Scherger, M. (2015). *Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. Programa nacional de agua*; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la nación. Argentina. INTA Ediciones. FAO. 76p. Recuperado de
https://inta.gob.ar/sites/default/files/tapa_salinidad.jpg [Noviembre 30, 2016]

Sancho, H. (1996). *Efectos del mal drenaje y su control sobre la productividad del cultivo del banano*. CORBANA S.A. Departamento de Investigaciones. San José de Costa Rica. X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos. pp.207-216. Recuperado de
http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_x/a50-2388-III_207.pdf [Noviembre 16, 2016]

Sioma. (2017). *Siomapp, cultivando el agro del futuro*. Recuperado de
<https://www.siomapp.com/usuario/> [Octubre 17, 2017]