



02

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

Édgar Fernando Almansa Manrique
Julián Andrés Peláez Montoya
Ricardo Botero Quintero
Milady Ruíz Nieves
Gloria Estefanía Pastrana Aguirre

En este capítulo se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas durante cuatro años y siete meses relacionadas con el desarrollo y la adaptabilidad de diferentes especies vegetales establecidas en el Área de Sostenibilidad en Agroenergía (ASA) del municipio de Acacías (Meta) sometidas a un manejo de agricultura bajo riego (superficial) con ATAEP. El agua para el riego provino del STAP del bloque de explotación petrolera Cubarral-Castilla.

Los siguientes resultados del monitoreo por especie en cuanto a parámetros de desarrollo muestran la variabilidad temporal de la altura total, el diámetro a la altura del pecho y una valoración aproximada por hectárea del volumen de madera, la biomasa acumulada y la captura de carbono. Asimismo, y con el objetivo de contextualizar las condiciones en las cuales se adelantó la presente investigación, por cada especie se presentan las características químicas, físicas y microbiológicas de suelo, así como la cantidad de agua aplicada por año y el manejo agronómico realizado. Por último, se presentan las características climáticas de la zona.

poca presencia de bases (pobre fertilidad).

El clima característico de la zona es cálido húmedo, con régimen de lluvia monomodal, donde la mayor precipitación se registra entre los meses de abril y junio, con la particularidad de ser eventos de alta intensidad y corta duración. La temperatura promedio es mayor de 24 °C, y la evapotranspiración se ubica alrededor de los 3,5-4,0 mm/día.



Figura 29. Ubicación geográfica del ASA



Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo



Materiales y métodos

A continuación se enumeran las especies vegetales evaluadas, el diseño experimental implementado en las diferentes áreas de monitoreo y las metodologías usadas en la estimación de algunos parámetros.

Ubicación

El ASA se encuentra localizada en la cuenca del río Orotoy, en la vereda La Unión del municipio de Acacías, en el departamento del Meta. Sus coordenadas geográficas son 04° 35' 56,57" latitud norte y 74° 04' 51,30" latitud oeste (figura 29). Esta área se ubica en un paisaje de piedemonte, sobre terrazas medias con predominio de suelos clase VI según el IGAC, de buen drenaje, poca compactación, alta presencia de elementos como hierro y aluminio y

Especies evaluadas

Las especies vegetales establecidas se seleccionaron con base en dos criterios: por un lado, el potencial en la generación de bioenergía y, por otro lado, la adaptabilidad al ecosistema de la zona. De este modo se eligieron nueve especies vegetales: seis con potencial de producción de biomasa, una industrial (látex) y dos con potencial en la producción de biocombustibles (tabla 30).



Tabla 30. Especies vegetales evaluadas

Nombre común	Nombre científico	Ciclo vegetativo
Acacia (biomasa)	<i>Acacia mangium</i>	Perenne
Melina (biomasa)	<i>Gmelina arborea</i>	Perenne
Caucho (industrial)	<i>Hevea brasiliensis</i>	Perenne
Pino (biomasa)	<i>Pinus caribaea</i>	Perenne
Eucalipto (biomasa)	<i>Eucalyptus pellita</i>	Perenne
Eucalipto (biomasa)	<i>Eucalyptus urograndis</i>	Perenne
Palma africana (biocombustible)	<i>Elaeis guineensis</i>	Perenne
Yopo (biomasa)	<i>Anadenathera peregrina</i>	Perenne
Piñón de purga (biocombustible)	<i>Jatropha curcas</i>	Perenne

Las especies relacionadas en la tabla 30 se establecieron bajo diferentes tipos de diseño experimental con el fin de conocer el comportamiento y desarrollo agronómico de cada una. Sin embargo, en la presente publicación solo se reportará lo relacionado con cinco de las especies con potencial de producción de biomasa (acacia, melina, pino, eucalipto *pellita* y yopo) y la de uso industrial (caucho).

Sistema de riego

Para el riego implementado en el ASA se aplicó el método de gravedad a través de un sistema de superficie por melgas rectangulares, en el cual se aprovechó la pendiente del terreno para distribuir el agua en la mayor área posible dentro de la zona experimental. El caudal de diseño fue de 129 litros por segundo, durante las 24 horas del día, los siete días de la semana (cumpliendo con la normatividad exigida por la autoridad ambiental).

Los componentes del sistema de riego son los siguientes (figura 30):

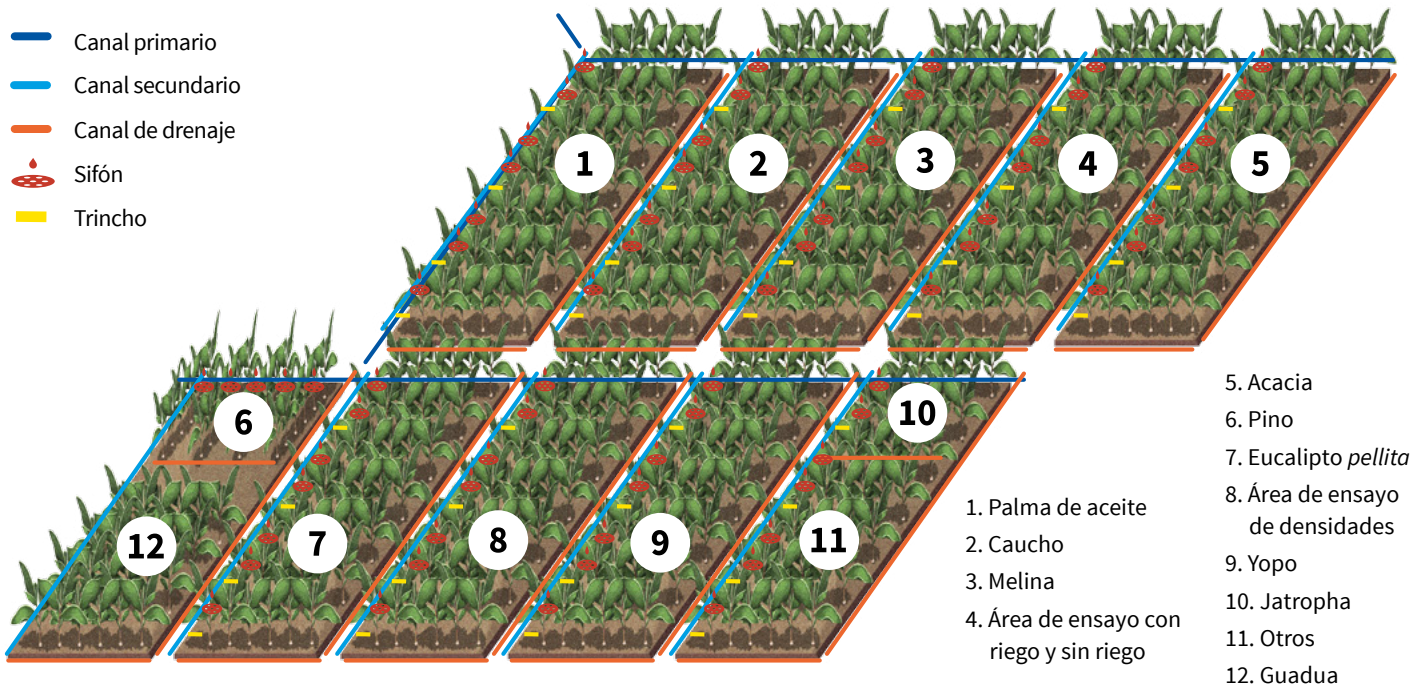
- ✓ Dos módulos o bloques de riego: uno en el que se establecieron las parcelas de palma



Figura 30. Plano del sistema de riego por gravedad implementado en el ASA y disposición de trinchos sobre canal de riego secundario

de aceite, caucho, melina y acacia, y otro con las de pino, eucalipto *pellita*, eucalipto urograndis, yopo y *Jatropha*.

- ✓ Un canal de riego principal para cada módulo de riego, que conducía el agua a través de todo el módulo.
- ✓ Canales de riego secundario, los cuales distribuían el agua a cada parcela para su posterior aplicación.
- ✓ Dos zanjas de drenaje por parcela (encargadas de evacuar los excesos de agua).
- ✓ Trinchos: estructuras conformadas por paredes de cemento y tablas de plástico que se ubicaron sobre cada canal de riego secundario en función de las curvas de nivel. El objetivo de estos trinchos era dar la altura necesaria al agua para que esta ingresara por los sifones, los cuales tenían a su vez la función de direccionar el líquido dentro de las melgas ubicadas a lo largo de la línea de árboles.



Las especies relacionadas en la tabla 30 se establecieron bajo diferentes tipos de diseño experimental con el fin de conocer el comportamiento y desarrollo agronómico de cada una. Sin embargo, en la presente publicación solo se reportará lo relacionado con cinco de las especies con potencial de producción de biomasa (acacia, melina, pino, eucalipto *pellita* y yopo) y la de uso industrial (caucho).

Sistema de riego

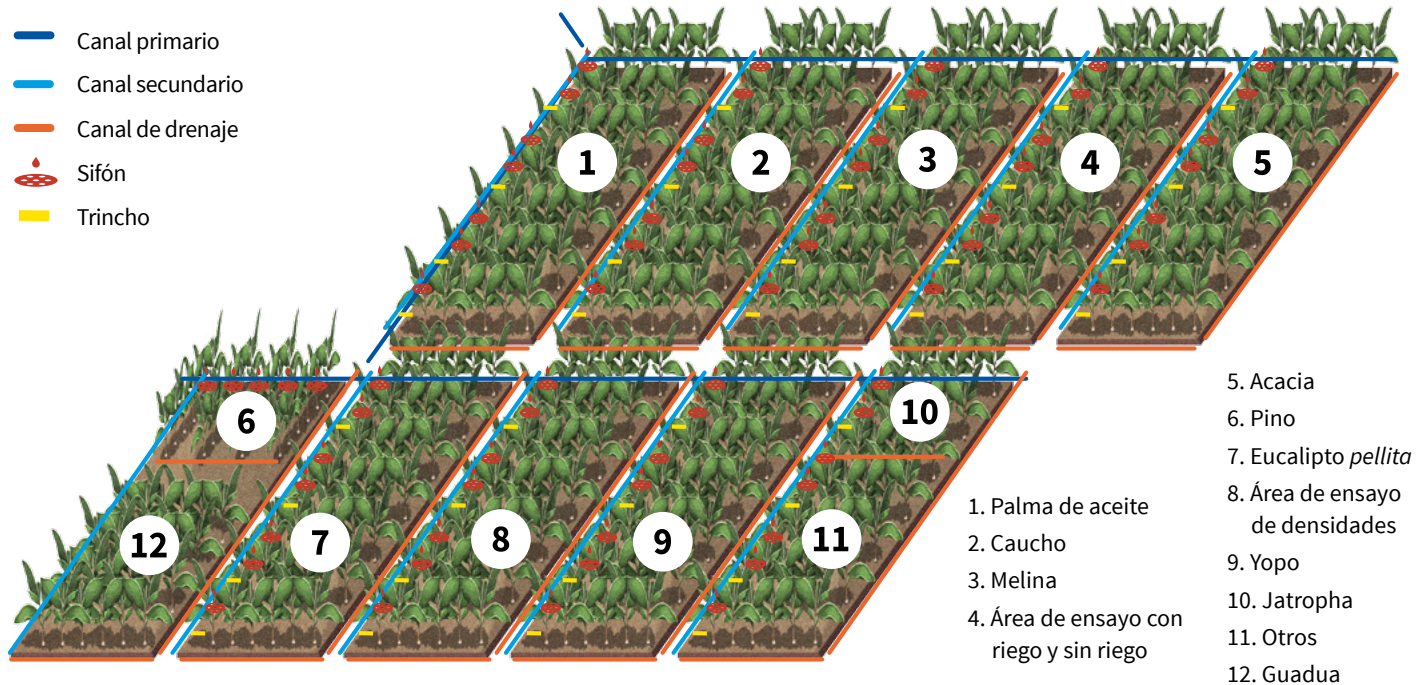
Para el riego implementado en el ASA se aplicó el método de gravedad a través de un sistema de superficie por melgas rectangulares, en el cual se aprovechó la pendiente del terreno para distribuir el agua en la mayor área posible dentro de la zona experimental. El caudal de diseño fue de 129 litros por segundo, durante las 24 horas del día, los siete días de la semana (cumpliendo con la normatividad exigida por la autoridad ambiental).

Los componentes del sistema de riego son los siguientes (figura 30):

- ✓ Dos módulos o bloques de riego: uno en el que se establecieron las parcelas de palma



Figura 30. Plano del sistema de riego por gravedad implementado en el ASA y disposición de trinchos sobre canal de riego secundario



de aceite, caucho, melina y acacia, y otro con las de pino, eucalipto *pellita*, eucalipto *urograndis*, yopo y *Jatropha*.

- ✓ Un canal de riego principal para cada módulo de riego, que conducía el agua a través de todo el módulo.
- ✓ Canales de riego secundario, los cuales distribuían el agua a cada parcela para su posterior aplicación.
- ✓ Dos zanjas de drenaje por parcela (encargadas de evacuar los excesos de agua).
- ✓ Trinchos: estructuras conformadas por paredes de cemento y tablas de plástico que se ubicaron sobre cada canal de riego secundario en función de las curvas de nivel. El objetivo de estos trinchos era dar la altura necesaria al agua para que esta ingresara por los sifones, los cuales tenían a su vez la función de direccionar el líquido dentro de las melgas ubicadas a lo largo de la línea de árboles.

Variables y frecuencia de monitoreo de las especies forestales

Se contemplaron dos componentes de evaluación con interés agronómico para todas las áreas de monitoreo: el componente suelo y el componente forestal. El primero incluyó el muestreo y análisis de características químicas, físicas, microbiológicas y ambientales para cada bloque o repetición según fuera el caso. El segundo contempló el monitoreo directo a través del tiempo de las variables altura total del árbol y diámetro a la altura del pecho. Con base en esta información se estimaron indirectamente las variables volumen de madera, biomasa y carbono por hectárea para cada especie (figura 31).

La frecuencia de monitoreo se estableció de conformidad con la dinámica de la variable que se fuera a medir. Así, las variables pertenecientes al componente suelo se evaluaron una vez cada seis meses, de manera que una fecha correspondiera a la época húmeda o de alta presencia de lluvias, y la otra, a la época seca o de poca presencia de lluvias. Las variables pertenecientes al componente forestal se evaluaron inicialmente de manera mensual durante el primer año de desarrollo y, posterior a esta etapa, se realizó una medición cada seis meses hasta la finalización del tiempo de evaluación.

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

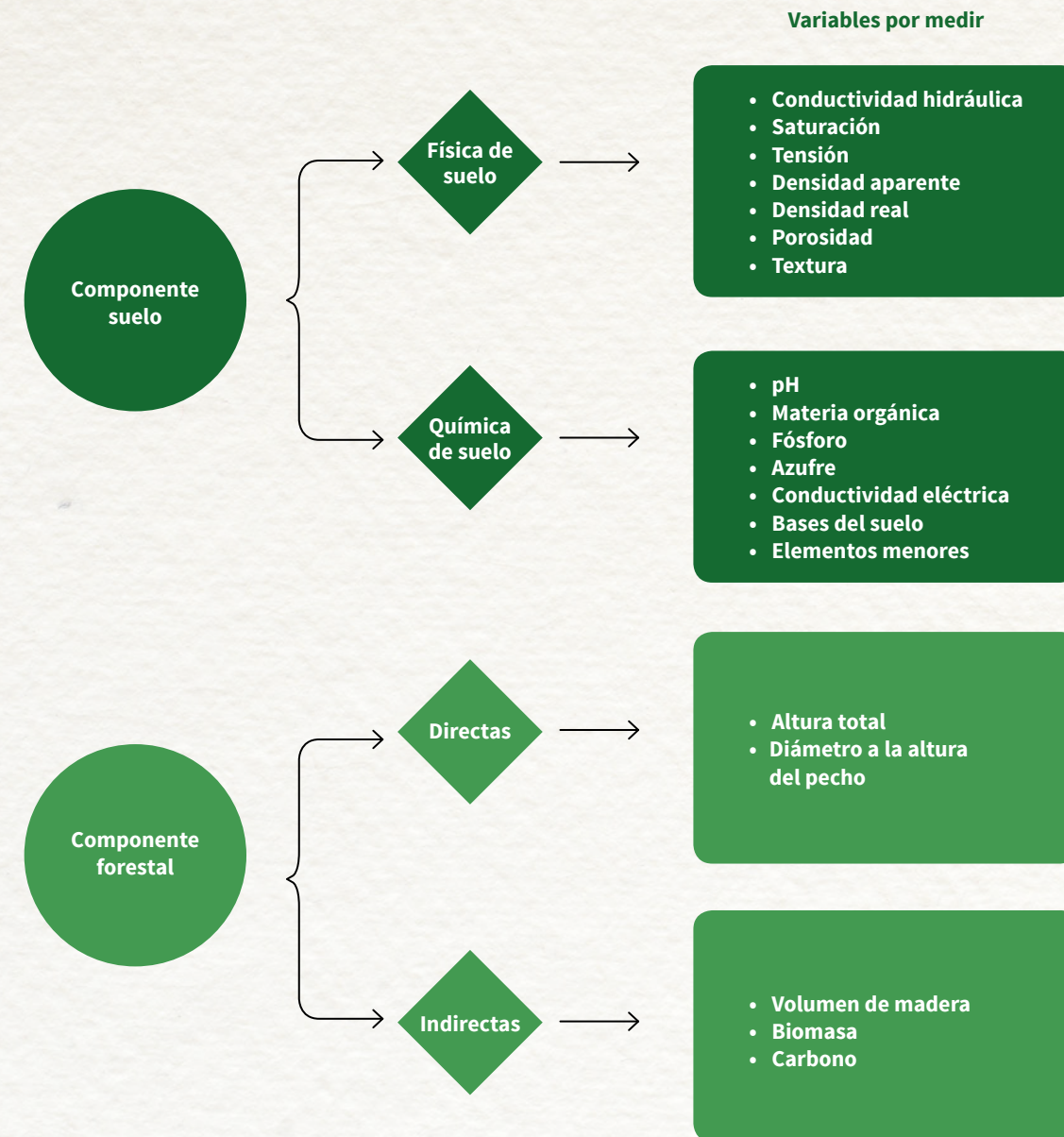


Figura 31. Variables monitoreadas a través del tiempo en la evaluación

Área de seguimiento

Esta área fue conformada por siete unidades experimentales, de las cuales cinco tuvieron un área aproximada de 10.000 m² y dos tuvieron un área aproximada de 2.500 m². La distribución en campo de estas unidades se realizó sobre los dos bloques de riego detallados anteriormente: uno con palma africana, caucho, melina y acacia, cada una en una parcela grande, y otro con eucalipto y yopo, cada una en una parcela grande, y pino y piñón de purga, cada una en una parcela pequeña.

El diseño experimental considerado fue el de parcelas divididas en el tiempo, tomando como factor principal el aporte de riego y como factor secundario el comportamiento de los componentes individualmente durante cada periodo de evaluación.

Internamente, las unidades experimentales se dividieron en tres y dos repeticiones según fuesen parcelas grandes o parcelas pequeñas respectivamente. En cada repetición se ubicaron dos zonas de muestreo, cada una con un área de 300 m², para un área total de muestreo por especie de 1.800 m² en parcelas grandes y de 1.200 m² en parcelas pequeñas.

La característica principal del área de seguimiento fue la implementación de riego frecuente durante el tiempo en que duró la evaluación.

Metodologías de medición

Monitoreo de altura total y diámetro a la altura del pecho del árbol

La altura total de cada árbol ubicado dentro de la zona de muestreo en cada parcela se tomó utilizando una pértiga o hipsómetro vertex laser. Posteriormente, con el total de las mediciones registradas se estimó la altura total promedio de cada especie forestal correspondiente a cada fecha de monitoreo. Asimismo, se midieron los diámetros con cinta diamétrica, ubicándose a los 1,30 m de altura en el caso de árboles que superaran los 2 m, mientras que en árboles más pequeños se estableció la medición a la mitad de la altura total del árbol. Debido a que en las primeras etapas de desarrollo los cambios en los parámetros de altura y diámetro

son significativos, inicialmente las mediciones se realizaron con frecuencia mensual hasta la terminación de la época juvenil (un año). Superada esta etapa, se continuó la medición una vez cada seis meses.

Estimación del volumen de madera de árboles en pie, biomasa y carbono aéreo por hectárea

Para determinar el volumen de madera de los árboles en pie por hectárea para cada especie forestal se utilizaron ecuaciones alométricas, las cuales relacionaron la altura total de árbol, el diámetro a la altura del pecho y el factor de forma de la copa (tabla 31).

Por otra parte, para establecer la biomasa y la captura de carbono aéreo por especie se relacionó el volumen de madera previamente estimado con el factor de expansión de la madera (extraído de fuentes bibliográficas) y la densidad básica de la madera (extraído de tablas elaboradas por el IPCC). La metodología utilizada para la estimación de los tres parámetros fue la indicada por la FAO (1981).



Tabla 31. Valores de factor de forma de copa, factor de expansión de la madera y densidad básica de la madera utilizados para la estimación de volumen, biomasa y carbono por especie

Especie	Factor de forma	Factor de expansión de biomasa	Densidad básica
Acacia	0,5	1,70	0,69
Melina	0,5	1,52	0,62
Caucho	0,5	1,60	0,52
Pino	0,5	1,46	0,51
Eucalipto	0,5	2,33	0,67
Yopo	0,5	1,70	0,72

Área de seguimiento

Esta área fue conformada por siete unidades experimentales, de las cuales cinco tuvieron un área aproximada de 10.000 m² y dos tuvieron un área aproximada de 2.500 m². La distribución en campo de estas unidades se realizó sobre los dos bloques de riego detallados anteriormente: uno con palma africana, caucho, melina y acacia, cada una en una parcela grande, y otro con eucalipto y yopo, cada una en una parcela grande, y pino y piñón de purga, cada una en una parcela pequeña.

El diseño experimental considerado fue el de parcelas divididas en el tiempo, tomando como factor principal el aporte de riego y como factor secundario el comportamiento de los componentes individualmente durante cada periodo de evaluación.

Internamente, las unidades experimentales se dividieron en tres y dos repeticiones según fuesen parcelas grandes o parcelas pequeñas respectivamente. En cada repetición se ubicaron dos zonas de muestreo, cada una con un área de 300 m², para un área total de muestreo por especie de 1.800 m² en parcelas grandes y de 1.200 m² en parcelas pequeñas.

La característica principal del área de seguimiento fue la implementación de riego frecuente durante el tiempo en que duró la evaluación.

Metodologías de medición

Monitoreo de altura total y diámetro a la altura del pecho del árbol

La altura total de cada árbol ubicado dentro de la zona de muestreo en cada parcela se tomó utilizando una pértiga o hipsómetro vertex laser. Posteriormente, con el total de las mediciones registradas se estimó la altura total promedio de cada especie forestal correspondiente a cada fecha de monitoreo. Asimismo, se midieron los diámetros con cinta diamétrica, ubicándose a los 1,30 m de altura en el caso de árboles que superaran los 2 m, mientras que en árboles más pequeños se estableció la medición a la mitad de la altura total del árbol. Debido a que en las primeras etapas de desarrollo los cambios en los parámetros de altura y diámetro

son significativos, inicialmente las mediciones se realizaron con frecuencia mensual hasta la terminación de la época juvenil (un año). Superada esta etapa, se continuó la medición una vez cada seis meses.

Estimación del volumen de madera de árboles en pie, biomasa y carbono aéreo por hectárea

Para determinar el volumen de madera de los árboles en pie por hectárea para cada especie forestal se utilizaron ecuaciones alométricas, las cuales relacionaron la altura total de árbol, el diámetro a la altura del pecho y el factor de forma de la copa (tabla 31).

Por otra parte, para establecer la biomasa y la captura de carbono aéreo por especie se relacionó el volumen de madera previamente estimado con el factor de expansión de la madera (extraído de fuentes bibliográficas) y la densidad básica de la madera (extraído de tablas elaboradas por el IPCC). La metodología utilizada para la estimación de los tres parámetros fue la indicada por la FAO (1981).



Tabla 31. Valores de factor de forma de copa, factor de expansión de la madera y densidad básica de la madera utilizados para la estimación de volumen, biomasa y carbono por especie

Especie	Factor de forma	Factor de expansión de biomasa	Densidad básica
Acacia	0,5	1,70	0,69
Melina	0,5	1,52	0,62
Caucho	0,5	1,60	0,52
Pino	0,5	1,46	0,51
Eucalipto	0,5	2,33	0,67
Yopo	0,5	1,70	0,72



Resultados y discusión

Acacia

Nombre científico: *Acacia mangium* (wild).

Familia: *Mimosaceae*.

Ciclo vegetativo: *perenne*.

Origen: Australia, Papúa Nueva Guinea e Indonesia.

Usos: múltiple. Puede emplearse de cerca viva y como madera para postes, sombra, forraje, carbón y leña. También tiene aplicaciones en ebanistería, para puertas y ventanas.

Fecha de siembra: 24 de septiembre de 2010.

Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.

Ciclo de desarrollo: 1.723 días después de siembra.

Cobertura asociada: *Brachiaria humidicola*.

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada fue de 5.840 mm. El mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 2.800 mm (tabla 32).



Tabla 32. Riego suministrado a plantas de acacia

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,75-0,70	0,70-0,65	0,65-0,60	
m ³	16.784,6	26.386,4	5.387,6	48.558,6
mm	2.343	2.800	696,9	5.839,9



Los valores del coeficiente de cultivo para riego (Kc) de esta especie fueron disminuyendo en el tiempo (de 0,75 a 0,60), lo que indica una menor demanda de agua por la especie. Sin embargo, para el año 2013 la cantidad de agua aportada fue menor que para el año 2014 como resultado de diferentes épocas con poca disponibilidad del recurso.

Química de suelos

En la tabla 33 se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de acacia.



Tabla 33. Química de suelos inicial y final de la parcela de acacia

Fecha	pH	MO%	P mg.kg ⁻¹	S mg.kg ⁻¹	AL+H cmol.kg	Sat. Al%
2010	4,3	5,3	5,8	6,0	2,1	56,4
2015	6,1	3,5	4,5	4,5	0,0	0,0
Fecha	Al	Ca	Mg	K	NA	CICE
	cmol.kg ⁻¹					
2010	1,5	0,3	0,1	0,1	0,1	2,7
2015	0,0	2,7	0,5	0,2	0,2	3,5
Fecha	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	ds.m mg.kg ⁻¹					
2010	0,2	114,0	0,8	5,9	0,5	0,1
2015	0,2	97,1	1,3	11,7	0,6	0,1

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

El pH aumentó de 4,3 a 6,1, disminuyendo la concentración del aluminio (Al) en el suelo de 1,2 a 0,0 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹. De igual forma, la concentración de hierro (Fe) disminuyó de 114,0 a 97,1 mg.kg⁻¹. Estas disminuciones facilitaron una mayor disponibilidad de fósforo (P) y otros elementos para las plantas. La dinámica de la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) en el suelo aumentó de 2,7 a 3,5 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado del incremento en la concentración de elementos como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na). Por otro lado, elementos como cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn) aumentaron su concentración, si bien se encontraron en el nivel crítico mínimo. Por último, actualmente elementos como fósforo (P) y azufre (S) se encuentran en menor concentración en el suelo, al igual que el contenido de materia orgánica (MO).

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

Física de suelos



Tabla 34. Física de suelo inicial y final de la parcela de acacia

Fecha	%	Tensión (bares)					DA	DR	Poros	Textura			Clase
	Saturación	0,1	0,3	1,5	3,0	15,0	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	Total (%)	Arena	Limo	Arcilla	
2010	35,9	30,9	25,1	24,5	23,5	20,7	1,4	2,6	47,2	62,2	22,0	15,8	FA
2015	31,6	24,8	23,8	23,6	23,2	22,8	1,5	2,6	43,4	61,5	17,2	21,3	FARa

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia.

En la tabla 34 se presentan los resultados de los análisis físicos de suelos. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo inicialmente fue de 28,5 mm, y la densidad aparente tuvo un ligero incremento de 1,4 a 1,5 g.cm⁻³, asociado a la disminución de la materia orgánica en el suelo. Por

otra parte, la disminución de la porosidad total del suelo de 47,2% a 43,4% no evidencia fenómeno de compactación en el suelo.

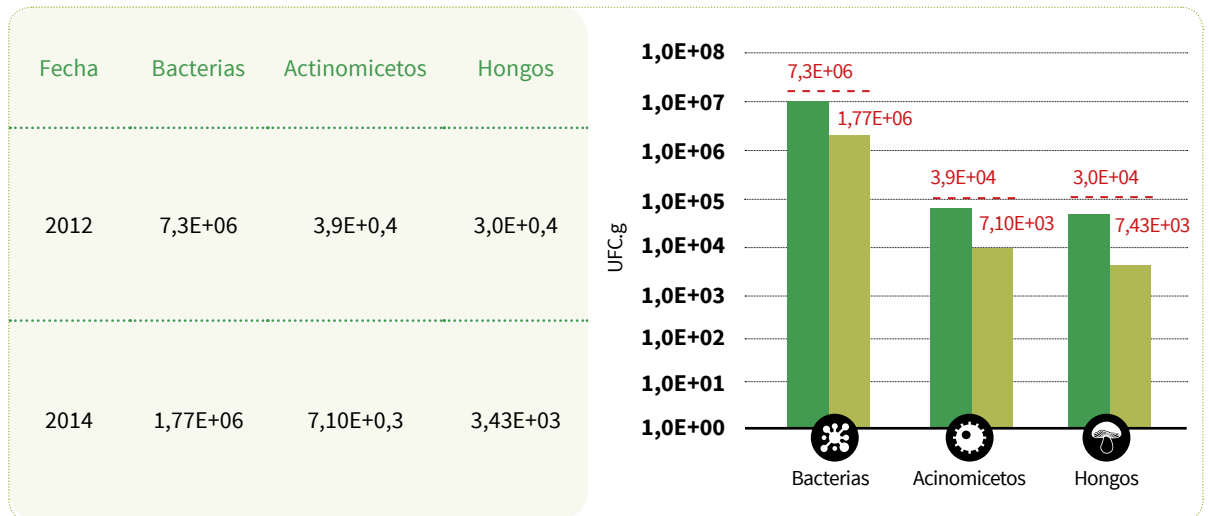
La clase textural del suelo indica una alta permeabilidad y una retención de humedad que puede variar entre mediana y baja.

Microbiología



Tabla 35. Conteo de microorganismos en acacia (ASA)

- 2012
- 2014



Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 35. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, lo que indica una buena dinámica poblacional.

Para el conteo final, los niveles poblacionales de cada grupo de microorganismos disminuyeron, alejándose de su nivel óptimo, como respuesta a cambios en las condiciones físicas y químicas del suelo. La población de bacterias se redujo 5,53E + 06 UFC.g⁻¹ de suelo, la población de actinomicetos, 3,14E + 04 UFC.g⁻¹, y la población de hongos, 2,66E + 04 UFC.g⁻¹.

Física de suelos



Tabla 34. Física de suelo inicial y final de la parcela de acacia

Fecha	%		Tensión (bares)				DA	DR	Poros	Textura			Clase	
	Saturación		0,1	0,3	1,5	3,0	15,0	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	Total (%)	Arena	Limo		Arcilla
2010	35,9		30,9	25,1	24,5	23,5	20,7	1,4	2,6	47,2	62,2	22,0	15,8	FA
2015	31,6		24,8	23,8	23,6	23,2	22,8	1,5	2,6	43,4	61,5	17,2	21,3	FArA

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia.

En la tabla 34 se presentan los resultados de los análisis físicos de suelos. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo inicialmente fue de 28,5 mm, y la densidad aparente tuvo un ligero incremento de 1,4 a 1,5 g.cm⁻³, asociado a la disminución de la materia orgánica en el suelo. Por

otra parte, la disminución de la porosidad total del suelo de 47,2% a 43,4% no evidencia fenómeno de compactación en el suelo.

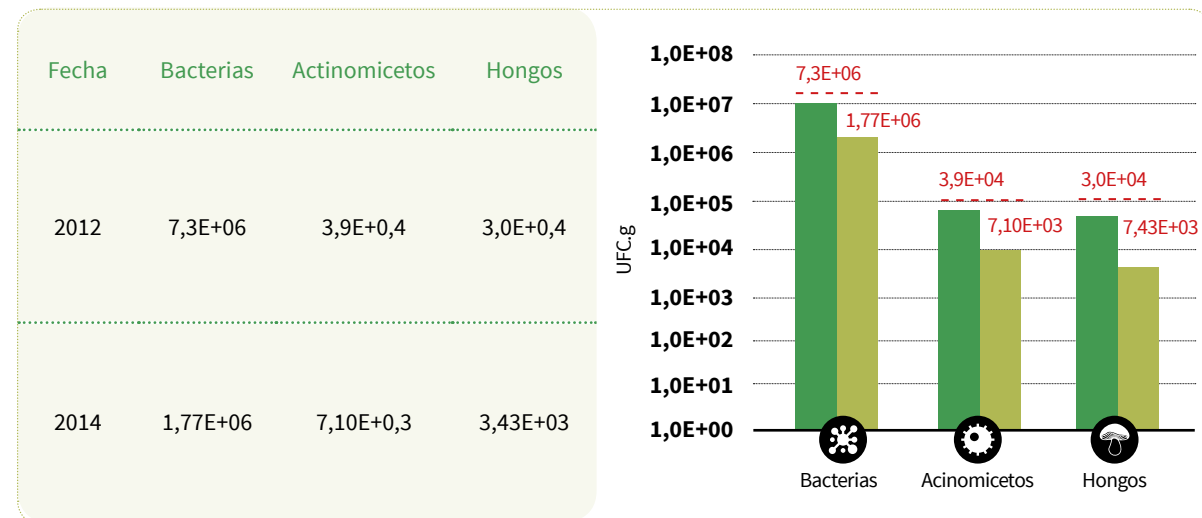
La clase textural del suelo indica una alta permeabilidad y una retención de humedad que puede variar entre mediana y baja.

Microbiología



Tabla 35. Conteo de microorganismos en acacia (ASA)

- 2012
- 2014



Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 35. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, lo que indica una buena dinámica poblacional.

Para el conteo final, los niveles poblacionales de cada grupo de microorganismos disminuyeron, alejándose de su nivel óptimo, como respuesta a cambios en las condiciones físicas y químicas del suelo. La población de bacterias se redujo 5,53E + 06 UFC.g⁻¹ de suelo, la población de actinomicetos, 3,14E + 04 UFC.g⁻¹, y la población de hongos, 2,66E + 04 UFC.g⁻¹.

Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Acacia mangium* (tabla 36) se incrementó en el

tiempo, relacionándose con el incremento en altura y diámetro de los árboles. Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en 198,2 m³.ha⁻¹. El mayor incremento de volumen de madera por hectárea se presentó entre el tercer año de evaluación y el cuarto (73,41 m³.ha⁻¹).

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

Año	Volumen madera (m ³ .ha ⁻¹)	
	Total (m ³ .ha ⁻¹)	Incremento (m ³ .ha ⁻¹)
1	7,31	7,31
2	40,56	33,26
3	99,14	58,58
4	167,75	68,60
4,5	198,24	30,49

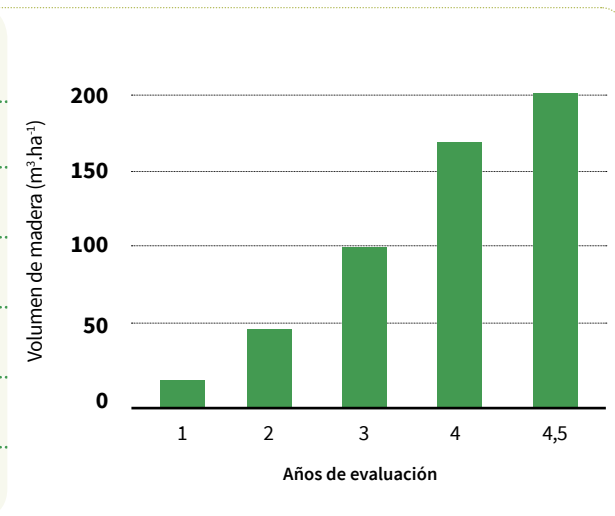


Tabla 36. Volumen de madera de árboles en pie de acacia bajo condiciones del ASA (2015)

Biomasa y carbono

Durante los años evaluados, la especie de *Acacia mangium* alcanzó en promedio 239,2 t.ha de biomasa, lo cual equivale a 119,6 t.ha⁻¹ de

carbono y ubica a esta como la segunda especie con mayor contenido de biomasa por área. El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el tercer año y el cuarto (tabla 37).

Año	Biomasa (t.ha)		Carbono (t.ha)	
	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)
1	8,70	8,70	4,35	4,35
2	49,15	40,45	24,58	20,22
3	121,00	71,85	60,50	35,92
4	203,44	82,44	101,72	41,22
4,5	239,18	35,74	119,59	17,87

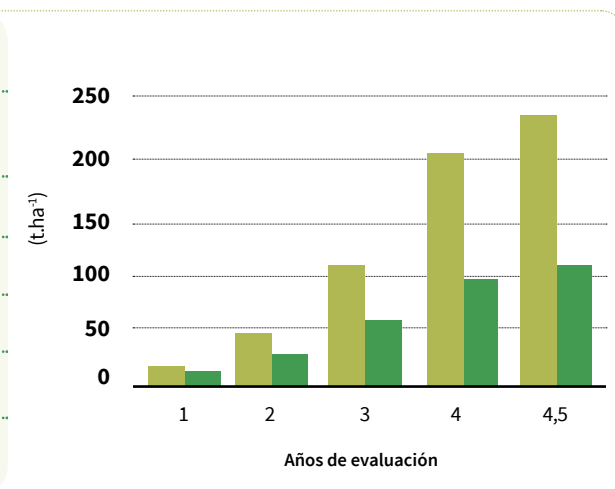


Tabla 37. Biomasa y carbono aéreo en acacia bajo condiciones del ASA (2015)

Melina

Nombre científico: *Gmelina arborea* (Roxb).
 Familia: Verbenaceae.
 Ciclo vegetativo: perenne.
 Origen: India, Tailandia, Camboya, Sumatra e Indonesia.

Uso: múltiple. Puede emplearse de cerca viva y como maderable para construcción, melífera, forraje, leña y pulpa de papel.
 Fecha de siembra: 25 de septiembre de 2010.
 Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.
 Ciclo de desarrollo: 1.722 días después de siembra.
 Cobertura asociada: *Brachiaria humidicola*.

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada es de 4.105,3 mm. El mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 1.899 mm (tabla 38).

Los valores de Kc para esta especie fueron ido disminuyendo en el tiempo (de 0,73 a 0,64), lo que indica una menor demanda de agua por la especie. La cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 y el 2014 fue similar.



Tabla 38. Riego suministrado a plantas de melina

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,73-0,71	0,71-0,66	0,66-0,64	
m ³	13.778,6	16.588	2.656,7	33.023,3
mm	1.896	1.899	310,3	4.105,3



Química de suelos



Tabla 39. Química de suelos inicial y final de la parcela de melina

Fecha	pH	MO%	P	S	AL+H	Sat. Al%
			mg.kg ⁻¹		cmol.kg	
2010	4,4	5,1	5,1	3,0	1,7	56,0
2015	5,7	3,0	2,3	6,3	0,2	6,2
Fecha	Al	Ca	Mg	K	NA	CICE
	cmol.kg ⁻¹					
2010	1,4	0,5	0,1	0,1	0,0	2,5
2015	0,2	1,5	0,3	0,1	0,3	2,4
Fecha	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	ds.m	mg.kg ⁻¹				
2010	0,1	85,0	1,1	10,4	0,5	0,1
2015	0,2	77,0	1,6	10,8	0,3	0,0

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

En la tabla 39 se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de melina. El pH aumentó de 4,4 a 5,7, disminuyendo la concentración del aluminio en el suelo de 1,4 a 0,2 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹. De igual forma, la concentración de hierro disminuyó de 85,0 a 77,0 mg.kg⁻¹. Estas disminuciones facilitaron una mayor disponibilidad de fósforo y otros elementos para las plantas.

La dinámica de la CICE en el suelo disminuyó de 2,5 a 2,4 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado de la alta precipitación del aluminio.

Por otro lado, elementos como cobre y manganeso aumentaron su concentración, si bien se encontraron en el nivel crítico mínimo. Asimismo, elementos como zinc y boro disminuyeron su concentración. Actualmente, elementos como fósforo y azufre se encuentran en menor concentración en el suelo, al igual que el contenido de MO, lo cual puede estar relacionado con una mayor actividad microbiana y el desarrollo del cultivo.

Física de suelos



Tabla 40. Física de suelo inicial y final de la parcela de melina

Fecha	%		Tensión (bares)				
	Saturación		0,1	0,3	1,5	3,0	15,0
2010	34,0		31,5	27,6	26,8	25,9	23,7
2015	35,8		25,7	24,5	24,0	23,1	22,5
Fecha	DA	DR	Poros	Textura			
	g.cm ³	g.cm ³	Total	Arena	Limo	Arcilla	Clase
2010	1,4	2,6	47,0	68,2	16,0	15,8	FAR
2015	1,4	2,6	45,9	59,5	19,2	21,3	FAR

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 40. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue inicialmente de 21,6 mm, y la densidad aparente no muestra incremento. Por otra parte, la disminución de la porosidad total del suelo de 47,0% a 45,9% no indica fenómeno de compactación en el suelo.

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada es de 4.105,3 mm. El mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 1.899 mm (tabla 38).

Los valores de Kc para esta especie fueron ido disminuyendo en el tiempo (de 0,73 a 0,64), lo que indica una menor demanda de agua por la especie. La cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 y el 2014 fue similar.



Tabla 38. Riego suministrado a plantas de melina

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,73-0,71	0,71-0,66	0,66-0,64	
m ³	13.778,6	16.588	2.656,7	33.023,3
mm	1.896	1.899	310,3	4.105,3



Química de suelos



Tabla 39. Química de suelos inicial y final de la parcela de melina

Fecha	pH	MO%	P mg.kg ⁻¹	S mg.kg ⁻¹	AL+H cmol.kg	Sat. Al%
2010	4,4	5,1	5,1	3,0	1,7	56,0
2015	5,7	3,0	2,3	6,3	0,2	6,2
Fecha	Al	Ca	Mg	K	NA	CICE
cmol.kg ⁻¹						
2010	1,4	0,5	0,1	0,1	0,0	2,5
2015	0,2	1,5	0,3	0,1	0,3	2,4
Fecha	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
ds.m		mg.kg ⁻¹				
2010	0,1	85,0	1,1	10,4	0,5	0,1
2015	0,2	77,0	1,6	10,8	0,3	0,0

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

En la tabla 39 se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de melina. El pH aumentó de 4,4 a 5,7, disminuyendo la concentración del aluminio en el suelo de 1,4 a 0,2 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹. De igual forma, la concentración de hierro disminuyó de 85,0 a 77,0 mg.kg⁻¹. Estas disminuciones facilitaron una mayor disponibilidad de fósforo y otros elementos para las plantas.

La dinámica de la CICE en el suelo disminuyó de 2,5 a 2,4 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado de la alta precipitación del aluminio.

Por otro lado, elementos como cobre y manganeso aumentaron su concentración, si bien se encontraron en el nivel crítico mínimo. Asimismo, elementos como zinc y boro disminuyeron su concentración. Actualmente, elementos como fósforo y azufre se encuentran en menor concentración en el suelo, al igual que el contenido de MO, lo cual puede estar relacionado con una mayor actividad microbiana y el desarrollo del cultivo.

Física de suelos



Tabla 40. Física de suelo inicial y final de la parcela de melina

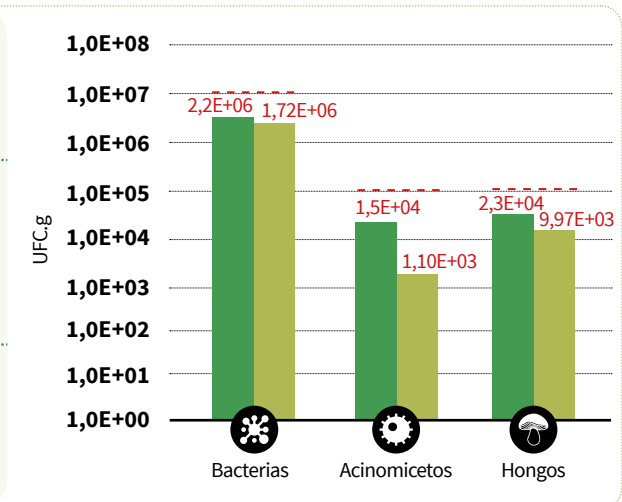
Fecha	%		Tensión (bares)				
	Saturación	0,1	0,3	1,5	3,0	15,0	
2010	34,0	31,5	27,6	26,8	25,9	23,7	
2015	35,8	25,7	24,5	24,0	23,1	22,5	
Fecha	DA	DR	Poros	Textura			
	g.cm ³	g.cm ³	Total	Arena	Limo	Arcilla	Clase
2010	1,4	2,6	47,0	68,2	16,0	15,8	FARa
2015	1,4	2,6	45,9	59,5	19,2	21,3	FARa

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 40. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue inicialmente de 21,6 mm, y la densidad aparente no muestra incremento. Por otra parte, la disminución de la porosidad total del suelo de 47,0% a 45,9% no indica fenómeno de compactación en el suelo.

Microbiología

Fecha	Bacterias	Actinomicetos	Hongos
2012	2,2E+06	1,5E+0,4	2,3E+0,4
2014	1,72E+06	1,10E+0,3	9,97E+03



Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 41. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo.

Para el conteo final, los niveles poblacionales de actinomicetos disminuyeron 1,40E+04 UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, alejándose de su nivel óptimo. Sin embargo, las poblaciones de bacterias y hongos, aunque mostraron disminución, en estos casos no fueron significativas. Cabe recordar al respecto que la dinámica poblacional de los microorganismos está íntimamente relacionada a cambios en las condiciones físicas y químicas del suelo. Así, la población de bacterias se redujo

4,8E+05 UFC.g⁻¹ de suelo, y la población de hongos 1,30E+04 UFC.g⁻¹.

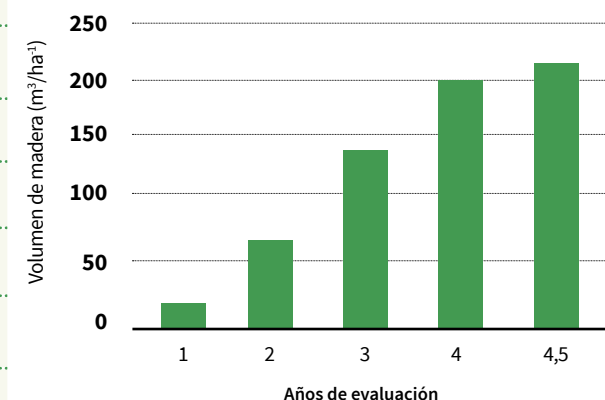
Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Gmelina arborea* incrementó en el tiempo, relacionándose con el aumento en altura y diámetro de los árboles. Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en 212,2 m³.ha⁻¹, siendo la especie que registra el mayor cubicaje de madera por área.

El mayor incremento de volumen de madera por hectárea se presentó entre el segundo año de evaluación y el tercero (70,17 m³.ha⁻¹) (tabla 42).

Volumen madera (m ³ .ha)		
Año	Total (m ³ .ha ⁻¹)	Incremento (m ³ .ha ⁻¹)
1	14,67	14,67
2	72,19	57,51
3	142,35	70,17
4	195,02	52,67
4,5	212,20	17,18



Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

2012 ●
2014 ●



Tabla 41. Conteo de microorganismos en melina (ASA)



Tabla 42. Volumen de madera de árboles en pie de melina bajo condiciones del ASA (2015)

Biomasa y carbono

Durante los años evaluados, la especie de *Gmelina arborea* alcanzó en promedio 199,3 t/ha⁻¹ de biomasa,

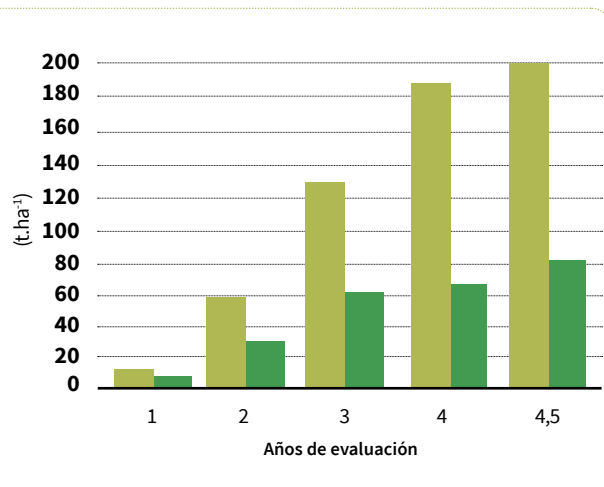
lo cual equivale a 99,6 t. ha⁻¹ de carbono (tabla 43). El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el segundo año y el tercero, guardando relación con el incremento en volumen de madera.

- Biomasa
- Carbono



Tabla 43. Biomasa y carbono aéreo en melina bajo condiciones del ASA (2015)

Año	Biomasa (t. ha ⁻¹)		Carbono (t. ha ⁻¹)	
	Total (t. ha ⁻¹)	Incremento (t. ha ⁻¹)	Total (t. ha ⁻¹)	Incremento (t. ha ⁻¹)
1	8,33	8,33	4,17	4,17
2	60,29	51,95	30,14	25,98
3	133,87	73,58	66,93	36,79
4	184,65	50,79	92,33	25,39
4,5	199,28	14,62	99,64	7,31



Caucho

Nombre científico: *Hevea brasiliensis* (Muell).
 Familia: Euphorbiaceae.
 Ciclo vegetativo: perenne.
 Origen: cuenca hidrográfica del río Amazonas.
 Uso: múltiple. Puede emplearse de cerca viva o en carpintería general, como madera laminada encolada y en producción de látex, tableros de fibras y tableros de partículas.
 Fecha de siembra: 25 de septiembre de 2010.
 Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.
 Ciclo de desarrollo: 1.722 días después de siembra.
 Cobertura asociada: *Arachis pintoi* (maní forrajero).

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada fue de 2.512 mm, y el mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 1.199 mm (tabla 44). La cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 fue menor a la de 2014 debido a una menor disponibilidad del recurso.

Los valores de Kc para esta especie fueron disminuyendo en el tiempo (de 0,68 a 0,51), lo que indica una menor demanda de agua por la especie, que es, de hecho, la de menor consumo de agua entre el eslabón forestal.



Tabla 44. Riego suministrado a plantas de caucho

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,68-0,75	0,75-0,62	0,62-0,51	
m ³	8.262,3	10.483,6	2.269,5	21.015,4
mm	1.019	1.199	294	2.512

Biomasa y carbono

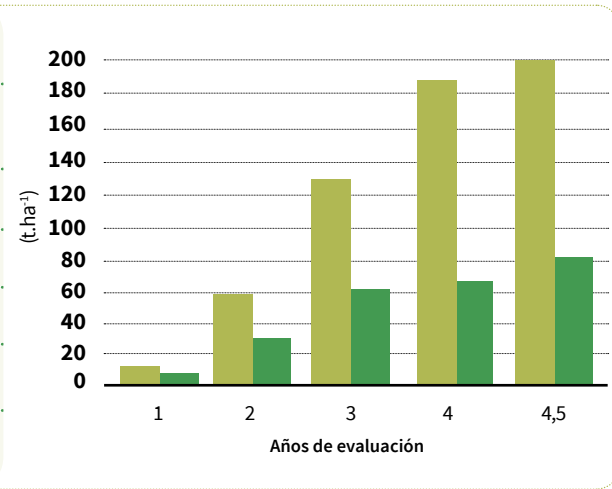
Durante los años evaluados, la especie de *Gmelina arborea* alcanzó en promedio 199,3 t/ha⁻¹ de biomasa,

lo cual equivale a 99,6 t. ha⁻¹ de carbono (tabla 43). El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el segundo año y el tercero, guardando relación con el incremento en volumen de madera.

- Biomasa
- Carbono

→ **Tabla 43.** Biomasa y carbono aéreo en melina bajo condiciones del ASA (2015)

Año	Biomasa (t. ha ⁻¹)		Carbono (t. ha ⁻¹)	
	Total (t. ha ⁻¹)	Incremento (t. ha ⁻¹)	Total (t. ha ⁻¹)	Incremento (t. ha ⁻¹)
1	8,33	8,33	4,17	4,17
2	60,29	51,95	30,14	25,98
3	133,87	73,58	66,93	36,79
4	184,65	50,79	92,33	25,39
4,5	199,28	14,62	99,64	7,31



Caucho

Nombre científico: *Hevea brasiliensis* (Muell).
 Familia: Euphorbiaceae.
 Ciclo vegetativo: perenne.
 Origen: cuenca hidrográfica del río Amazonas.
 Uso: múltiple. Puede emplearse de cerca viva o en carpintería general, como madera laminada encolada y en producción de látex, tableros de fibras y tableros de partículas.
 Fecha de siembra: 25 de septiembre de 2010.
 Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.
 Ciclo de desarrollo: 1.722 días después de siembra.
 Cobertura asociada: *Arachis pintoi* (maní forrajero).



→ **Tabla 44.** Riego suministrado a plantas de caucho

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada fue de 2.512 mm, y el mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 1.199 mm (tabla 44). La cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 fue menor a la de 2014 debido a una menor disponibilidad del recurso.

Los valores de Kc para esta especie fueron disminuyendo en el tiempo (de 0,68 a 0,51), lo que indica una menor demanda de agua por la especie, que es, de hecho, la de menor consumo de agua entre el eslabón forestal.

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,68-0,75	0,75-0,62	0,62-0,51	
m ³	8.262,3	10.483,6	2.269,5	21.015,4
mm	1.019	1.199	294	2.512

Química de suelos



Tabla 45. Química de suelos inicial y final de la parcela de caucho

Fecha	pH	MO%	P	S	Al+H	Sat	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	Al%	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	dS.m ⁻¹	mg.kg ⁻¹								
2010	4,7	3,9	4,2	25,0	0,7	30,9	0,6	1,0	0,1	0,1	0,0	1,9	0,3	196,0	1,0	31,6	0,5	0,1
2015	6,1	2,7	6,3	4,7	0,0	0,0	0,0	1,8	0,4	0,1	0,4	2,6	0,2	92,7	2,1	10,1	0,8	0,1

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

En la tabla 45 se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de caucho. El pH aumentó de 4,4 a 6,1, disminuyendo la concentración del aluminio en el suelo de 0,6 a 0,0 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹. De igual forma, la concentración de hierro disminuyó de 196,0 a 92,7 mg.kg⁻¹. Estas disminuciones facilitaron una mayor disponibilidad de fósforo y otros elementos para las plantas.

La dinámica de la CICE en el suelo aumentó de 1,9 a 2,6 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado del incremento de

elementos como el calcio, el magnesio y el sodio. Por otro lado, elementos como cobre y zinc aumentaron su concentración, si bien se encontraron en el nivel crítico mínimo.

Por último, actualmente elementos como fósforo y azufre se encuentran en menor concentración en el suelo, al igual que el contenido de MO. Esto puede estar relacionado con una mayor actividad microbiana o de consumo por la especie dominante y la cobertura establecida en el área.

Física de suelos



Tabla 46. Física de suelo inicial y final de la parcela de caucho

Fecha	%	Tensión (bares)					DA	DR	Poros	Textura			
		Saturación	0,1	0,3	1,5	3,0	15,0	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	Total (%)	Arena	Limo	Arcilla
2010	31,3	29,1	25,6	25,2	24,4	22,5	1,4	2,6	45,6	52,2	32,0	15,8	FA
2015	33,5	26,0	24,6	24,2	23,4	22,8	1,5	2,7	44,0	64,2	15,9	20,0	FA

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 46. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue de 19,0 mm, y la densidad aparente muestra un leve incremento de 1,4 a

1,5 g.cm⁻³. A su vez, la disminución de la porosidad total del suelo de 45,6% a 44% no indica fenómeno de compactación notorio en el suelo. Finalmente, la clase textural del suelo se asocia a una alta permeabilidad y a una baja retención de humedad.

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

Microbiología

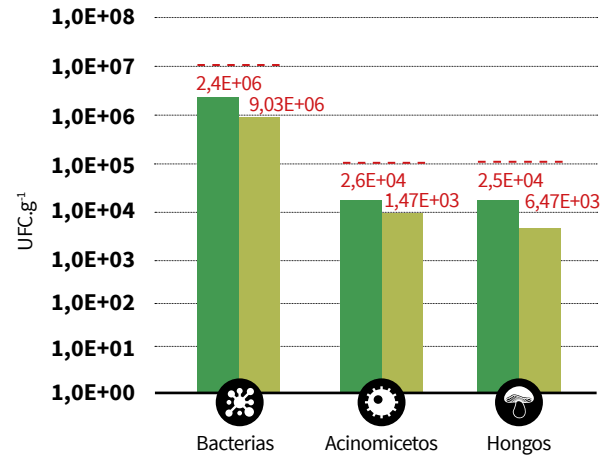
- 2012
- 2014



Tabla 47.

Conteo de microorganismos en caucho (ASA)

Fecha	Bacterias	Actinomicetos	Hongos
2012	2,4E+06	2,6E+0,4	2,5E+0,4
2014	9,03E+05	1,47E+0,4	6,47E+03



Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 47. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, sobresaliendo la población de bacterias y hongos.

Para el conteo final, los niveles poblacionales de hongos disminuyeron $1,80E+04$ UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, alejándose de su nivel óptimo. Esta dinámica fue similar en las poblaciones de bacterias (disminuyendo $1,54E+06$ UFC.g⁻¹). Además, la población de actinomicetos, aunque mostró disminución ($1,08E+04$), no fue significativa respecto a los otros grupos evaluados.

Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Hevea brasiliensis* incrementó en el tiempo, relacionándose con el aumento en altura y diámetro de los árboles. Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en $35,32$ m³.ha⁻¹.

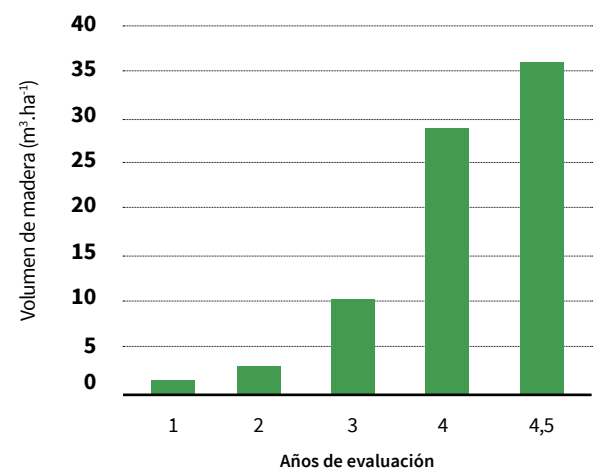
Es de resaltar que a partir del tercer año el incremento en volumen de madera fue mayor. Sin embargo, el aumento de volumen de madera por hectárea más significativo se presentó entre el tercer año de evaluación y el cuarto ($16,93$ m³.ha⁻¹).



Tabla 48.

Volumen de madera árboles en pie de caucho bajo condiciones del ASA (2015)

Año	Volumen madera (m ³ .ha ⁻¹)	
	Total (m ³ .ha ⁻¹)	Incremento (m ³ .ha ⁻¹)
1	0,21	0,21
2	1,92	1,71
3	11,00	9,08
4	27,92	16,93
4,5	35,32	7,39

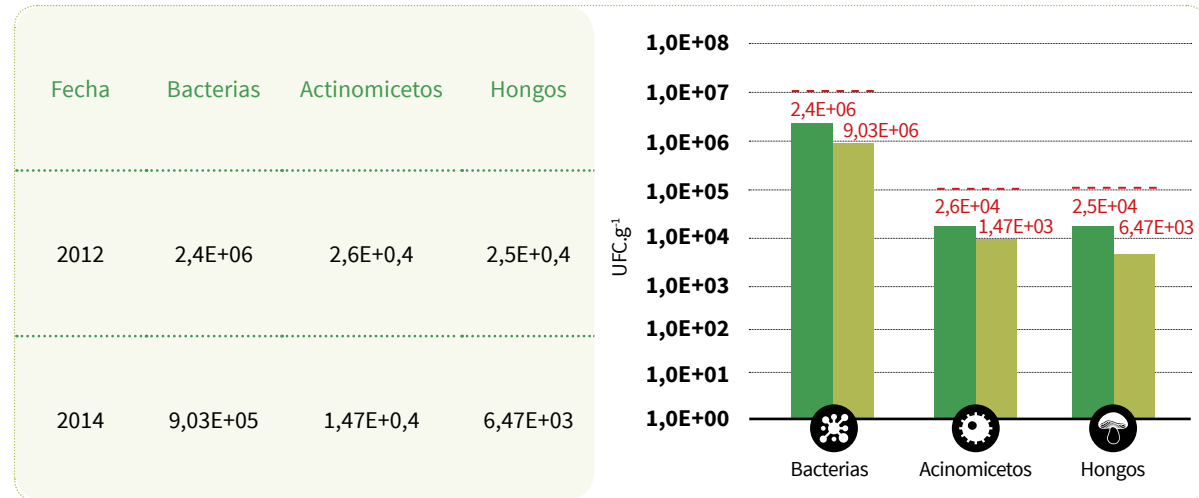


- 2012
- 2014



Tabla 47. Conteo de microorganismos en caucho (ASA)

Microbiología



Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 47. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, sobresaliendo la población de bacterias y hongos.

Para el conteo final, los niveles poblacionales de hongos disminuyeron 1,80E+04 UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, alejándose de su nivel óptimo. Esta dinámica fue similar en las poblaciones de bacterias (disminuyendo 1,54E+06 UFC.g⁻¹). Además, la población de actinomicetos, aunque mostró disminución (1,08E+04), no fue significativa respecto a los otros grupos evaluados.

Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Hevea brasiliensis* incrementó en el tiempo, relacionándose con el aumento en altura y diámetro de los árboles. Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en 35,32 m³.ha⁻¹.

Es de resaltar que a partir del tercer año el incremento en volumen de madera fue mayor. Sin embargo, el aumento de volumen de madera por hectárea más significativo se presentó entre el tercer año de evaluación y el cuarto (16,93 m³.ha⁻¹).

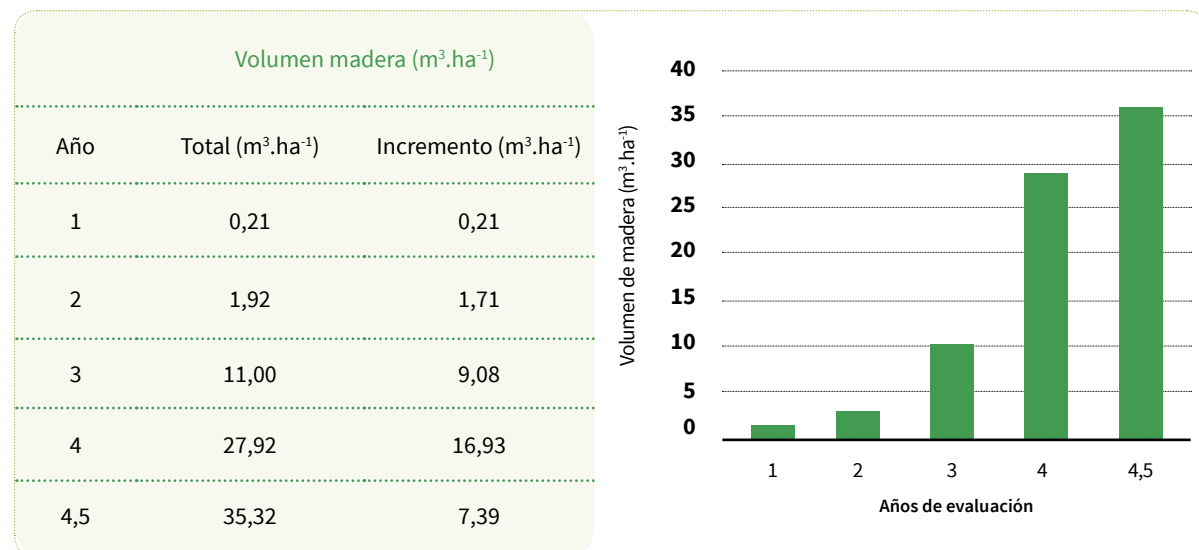


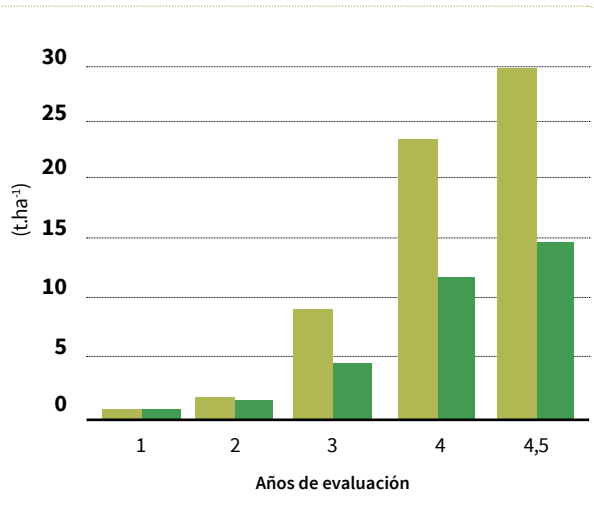
Tabla 48. Volumen de madera árboles en pie de caucho bajo condiciones del ASA (2015)

Biomasa y carbono

Durante los años evaluados, la especie de *Hevea brasiliensis* alcanzó en promedio 29,3 t.ha⁻¹ de biomasa, lo

Año	Biomasa (t.ha)		Carbono (t.ha)	
	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)
1	0,40	0,40	0,20	0,20
2	2,06	1,66	1,03	0,83
3	8,94	6,88	4,47	3,44
4	23,42	14,48	11,71	7,24
4,5	29,33	5,90	14,66	2,95

cual equivale a 14,6 t.ha⁻¹ de carbono. El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el tercer año y el cuarto, relacionándose con el mayor incremento en volumen de madera por área (tabla 49).



Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

- Biomasa
- Carbono



Tabla 49. Biomasa y carbono aéreo en caucho bajo condiciones del ASA (2015)

Eucalipto pellita

Nombre científico: *Eucalyptus pellita*.
 Familia: Myrtaceae.
 Ciclo vegetativo: perenne.
 Origen: Australia.
 Uso: múltiple. Puede emplearse como rompevientos, en postes para cerca y como madera para construcción, leña y pulpa de papel.
 Fecha de siembra: 22 de septiembre de 2010.
 Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.
 Ciclo de desarrollo: 1.725 días después de siembra.
 Cobertura asociada: *Brachiaria humidicola*.

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada fue de 6.372,3 mm. El mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 3.278 mm, y la cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 fue menor debido épocas de poca disponibilidad del recurso (tabla 50).

Los valores de Kc para esta especie fueron disminuyendo en el tiempo (de 0,75 a 0,65), lo que indica una menor demanda de agua por la especie, que es la segunda de mayor consumo de agua entre el eslabón forestal.

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,75-0,72	0,72-0,67	0,67-0,65	
m ³	18.058,8	31.792,5	4.875,7	54.727
mm	2.555	3.278	539,3	6.372,3



Tabla 50. Riego suministrado a plantas de eucalipto *pellita*

Química de suelos



Tabla 51. Química de suelos inicial y final de la parcela de eucalipto *pellita*

Fecha	pH	MO%	P	S	Al+H	Sat	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	Al%	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	dS.m ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
2010	4,5	3,6	3,8	5,0	1,2	45,9	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	2,0	0,1	90,0	0,7	8,4	0,4	0,1
2015	5,8	2,5	3,8	5,1	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3	0,1	0,3	2,3	0,2	67,0	1,6	9,7	1,3	0,0

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

En la tabla 51, se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de eucalipto *pellita*. El pH aumentó de 4,5 a 5,8, disminuyendo la concentración del aluminio en el suelo de 0,9 a 0,0 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹. De igual forma, la concentración de hierro disminuyó de 90,0 a 67,0 mg.kg⁻¹. Estas disminuciones facilitaron una mayor disponibilidad de fósforo y otros elementos para las plantas.

La dinámica de la CICE en el suelo aumentó de 2,0 a 2,3 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado del incre-

mento de elementos como el calcio, magnesio y sodio. Por otro lado, elementos como cobre, manganeso y zinc aumentaron su concentración, si bien se encontraron en el nivel crítico mínimo. La concentración de boro, por otra parte, disminuyó, lo que generó una deficiencia marcada del elemento en el suelo.

La concentración actual de elementos como fósforo y azufre no registra variación, aunque el contenido de MO ha disminuido.

Física de suelos



Tabla 52. Física de suelo inicial y final de la parcela de eucalipto *pellita*

Fecha	%		Tensión (bares)					DA	DR	Poros	Textura			
	Saturación	0,1	0,3	1,5	3,0	15,0	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	Total (%)	Arena	Limo	Arcilla	Clase	
2010	23,0	20,4	18,6	17,3	16,6	15,1	1,6	2,7	38,8	69,0	19,2	11,8	FA	
2015	33,6	25,2	24,4	23,8	22,3	21,3	1,5	2,7	44,9	58,8	19,9	21,3	F Ar A	

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 52. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue inicialmente de 17,4 mm, y la densidad aparente disminuyó de 1,6 a 1,5 g.cm⁻³. La porosidad total del suelo, por otro lado, incrementó de 38,8% a

44,9%, lo que indica que no existió compactación en el suelo que limitara el desarrollo radicular de la especie.

La clase textural del suelo se asocia a una permeabilidad de moderada a alta y a una retención de humedad de media a baja.

Química de suelos



Tabla 51. Química de suelos inicial y final de la parcela de eucalipto *pellita*

Fecha	pH	MO%	P mg.kg ⁻¹	S mg.kg ⁻¹	Al+H cmol.kg ⁻¹	Sat Al%	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
2010	4,5	3,6	3,8	5,0	1,2	45,9	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	2,0	0,1	90,0	0,7	8,4	0,4	0,1
2015	5,8	2,5	3,8	5,1	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3	0,1	0,3	2,3	0,2	67,0	1,6	9,7	1,3	0,0

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

En la tabla 51, se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de eucalipto *pellita*. El pH aumentó de 4,5 a 5,8, disminuyendo la concentración del aluminio en el suelo de 0,9 a 0,0 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹. De igual forma, la concentración de hierro disminuyó de 90,0 a 67,0 mg.kg⁻¹. Estas disminuciones facilitaron una mayor disponibilidad de fósforo y otros elementos para las plantas.

La dinámica de la CICE en el suelo aumentó de 2,0 a 2,3 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado del incre-

mento de elementos como el calcio, magnesio y sodio. Por otro lado, elementos como cobre, manganeso y zinc aumentaron su concentración, si bien se encontraron en el nivel crítico mínimo. La concentración de boro, por otra parte, disminuyó, lo que generó una deficiencia marcada del elemento en el suelo.

La concentración actual de elementos como fósforo y azufre no registra variación, aunque el contenido de MO ha disminuido.

Física de suelos



Tabla 52. Física de suelo inicial y final de la parcela de eucalipto *pellita*

Fecha	%		Tensión (bares)					DA	DR	Poros	Textura			
	Saturación		0,1	0,3	1,5	3,0	15,0	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	Total (%)	Arena	Limo	Arcilla	Clase
2010	23,0	20,4	18,6	17,3	16,6	15,1	1,6	2,7	38,8	69,0	19,2	11,8	FA	
2015	33,6	25,2	24,4	23,8	22,3	21,3	1,5	2,7	44,9	58,8	19,9	21,3	F Ar A	

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 52. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue inicialmente de 17,4 mm, y la densidad aparente disminuyó de 1,6 a 1,5 g.cm⁻³. La porosidad total del suelo, por otro lado, incrementó de 38,8% a

44,9%, lo que indica que no existió compactación en el suelo que limitara el desarrollo radicular de la especie.

La clase textural del suelo se asocia a una permeabilidad de moderada a alta y a una retención de humedad de media a baja.

Microbiología

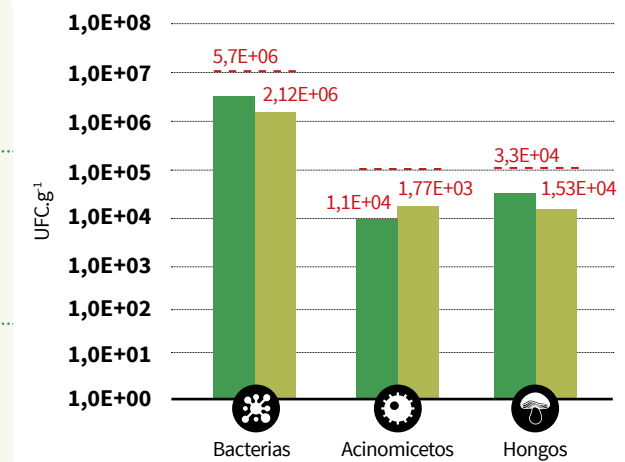
Fecha	Bacterias	Actinomicetos	Hongos
2012	5,7E+06	1,1E+0,4	3,3E+0,4
2014	2,12E+06	1,77E+0,4	1,53E+04

Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 53. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, sobresaliendo la población de bacterias y hongos.

Para el conteo final, el nivel poblacional de actinomicetos aumentó 7,12E+03 UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, acercándose a su nivel óptimo. Sin embargo, la dinámica en las poblaciones de bacterias y hongos fue distinta ya que disminuyeron 3,53E+06 UFC.g⁻¹ y 1,77E+04 respectivamente.

Año	Volumen madera (m ³ .ha ⁻¹)	
	Total (m ³ .ha ⁻¹)	Incremento (m ³ .ha ⁻¹)
1	4,27	4,27
2	31,05	26,79
3	86,28	55,23
4	153,44	67,15
4,5	182,85	29,42



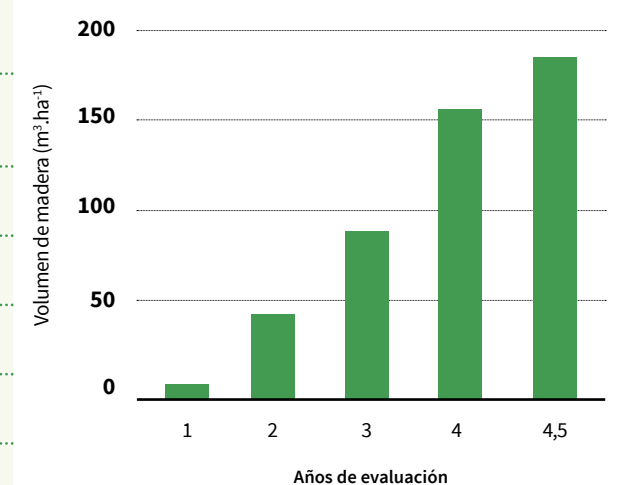
Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Eucalyptus pellita* incrementó en el tiempo, relacionándose con el aumento en altura y diámetro de los árboles (tabla 54). Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en 182,8 m³.ha⁻¹.

El mayor incremento de volumen de madera por hectárea se presentó entre el tercer año de evaluación y el cuarto (67,15 m³.ha⁻¹).



Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

2012 ●
2014 ●



Tabla 53. Conteo de microorganismos en eucalipto *pellita* (ASA)



Tabla 54. Volumen de madera árboles en pie de eucalipto *pellita* bajo condiciones del ASA (2015)

Biomasa y carbono

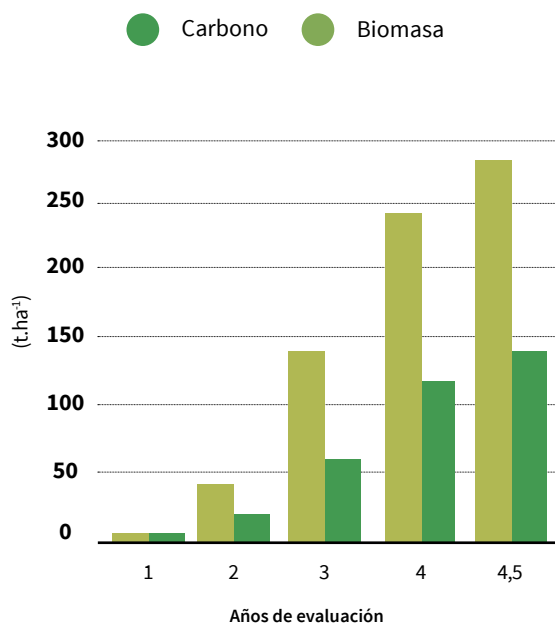
Durante los años evaluados, la especie de *Eucalyptus pellita* alcanzó en promedio 284,5 t.ha⁻¹ de biomasa, lo cual equivale a 142,3 t.ha⁻¹ de carbono. Esta es la especie que presenta mayor cantidad de biomasa por área.

El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el tercer año y el cuarto, relacionándose con la época de mayor aumento en volumen (tabla 55).



Tabla 55. Biomasa y carbono aéreo en eucalipto *pellita* bajo condiciones del ASA (2015)

Año	Biomasa (t.ha ⁻¹)		Carbono (t.ha ⁻¹)	
	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)
1	4,98	4,98	2,49	2,49
2	44,41	39,43	22,20	19,71
3	134,06	89,65	67,03	44,83
4	240,77	106,71	120,38	53,35
4,5	284,51	43,74	142,26	21,87



Yopo

Nombre científico: *Anadenathera peregrina*.

Familia: Mimosaceae.

Ciclo vegetativo: perenne.

Origen: Caribe y América del Sur.

Uso: múltiple. Puede emplearse como rompe-vientos, en postes para cerca y como madera para construcción, leña, vigas, plataformas y pisos.

Fecha de siembra: 23 de septiembre de 2010.

Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.

Ciclo de desarrollo: 1.724 días después de siembra.

Cobertura asociada: *Brachiaria humidicola*.

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada fue de 9.425,3 mm, y el mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 5.407 mm. La cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 fue menor debido épocas de poca disponibilidad del recurso (tabla 56).

Los valores de Kc para esta especie fueron aumentando en el tiempo (de 0,75 a 0,83), lo que indica una mayor demanda de agua por la especie, que es la que registra el mayor consumo de agua del componente forestal.



Tabla 56. Riego suministrado a plantas de yopo

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,75-0,79	0,79-0,82	0,82-0,83	
m ³	17.875,8	35.147,8	5.682,5	58.706,1
mm	3.091	5.407	927,3	9.425,3



Biomasa y carbono

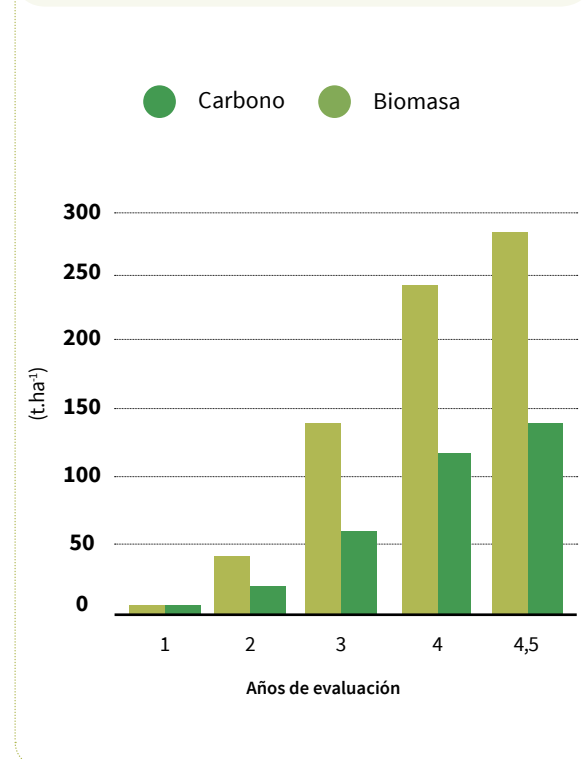
Durante los años evaluados, la especie de *Eucalyptus pellita* alcanzó en promedio 284,5 t.ha⁻¹ de biomasa, lo cual equivale a 142,3 t.ha⁻¹ de carbono. Esta es la especie que presenta mayor cantidad de biomasa por área.

El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el tercer año y el cuarto, relacionándose con la época de mayor aumento en volumen (tabla 55).



Tabla 55. Biomasa y carbono aéreo en eucalipto *pellita* bajo condiciones del ASA (2015)

Año	Biomasa (t.ha ⁻¹)		Carbono (t.ha ⁻¹)	
	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)
1	4,98	4,98	2,49	2,49
2	44,41	39,43	22,20	19,71
3	134,06	89,65	67,03	44,83
4	240,77	106,71	120,38	53,35
4,5	284,51	43,74	142,26	21,87



Yopo

Nombre científico: *Anadenathera peregrina*.
 Familia: Mimosaceae.
 Ciclo vegetativo: perenne.
 Origen: Caribe y América del Sur.
 Uso: múltiple. Puede emplearse como rompevientos, en postes para cerca y como madera para construcción, leña, vigas, plataformas y pisos.
 Fecha de siembra: 23 de septiembre de 2010.
 Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.
 Ciclo de desarrollo: 1.724 días después de siembra.
 Cobertura asociada: *Brachiaria humidicola*.

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada fue de 9.425,3 mm, y el mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 5.407 mm. La cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 fue menor debido épocas de poca disponibilidad del recurso (tabla 56).

Los valores de Kc para esta especie fueron aumentando en el tiempo (de 0,75 a 0,83), lo que indica una mayor demanda de agua por la especie, que es la que registra el mayor consumo de agua del componente forestal.



Tabla 56. Riego suministrado a plantas de yopo

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,75-0,79	0,79-0,82	0,82-0,83	
m ³	17.875,8	35.147,8	5.682,5	58.706,1
mm	3.091	5.407	927,3	9.425,3



Química de suelos



Tabla 57. Química de suelos inicial y final de la parcela de yopo

Fecha	pH	MO%	P	S	Al+H	Sat	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	CE	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	Al%	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	cmol.kg ⁻¹	dS.m ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
2010	4,4	5,6	4,6	3,0	1,7	58,8	1,4	0,4	0,1	0,1	0,0	2,4	0,1	94,0	1,2	13,2	0,9	0,1
2015	5,4	2,7	2,6	7,8	0,4	10,9	0,3	1,5	0,3	0,1	0,3	2,5	0,2	151,7	1,6	13,3	0,4	0,1

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

En la tabla 57 se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de yopo. El pH aumentó de 4,4 a 5,4, disminuyendo la concentración del aluminio en el suelo de 1,4 a 0,3 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹, mientras que la dinámica de la CICE en el suelo aumentó de 2,4 a 2,5 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado del incremento de elementos como el calcio, el magnesio y el sodio. Asimismo, se registró un incremento en la concentración de hierro de 94,0 a 151,7 mg.kg⁻¹, el cual puede insolubilizar elementos como el fósforo y el azufre. Por otro lado, elementos como cobre y manganeso aumentaron su concentración, si bien se encontraron en el nivel crítico mínimo. La concentración de zinc, en cambio, disminuyó, generándose una deficiencia del elemento en el suelo.

Finalmente, la concentración actual de fósforo disminuyó, al igual que la de la MO, y el azufre incrementó su concentración de 3,0 a 7,8 mg.kg⁻¹.

Física de suelos



Tabla 58. Física de suelo inicial y final de la parcela de yopo

Fecha	%						Tensión (bares)					
	Saturación		0,1	0,3	1,5	3,0	15,0					
2010	26,0	23,3	20,4	19,3	18,6	16,7						
2015	34,2	27,7	27,0	26,4	25,3	24,5						
Fecha	DA	DR	Poros			Textura						
	g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	Total	Arena	Limo	Arcilla	Clase					
2010	1,6	2,7	40,9	65,0	17,2	17,8	FA					
2015	1,4	2,7	47,6	56,1	19,2	24,7	FAR					

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 58. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue inicialmente de 20,6 mm, y la densidad aparente disminuyó de 1,6 a 1,4 g.cm⁻³, mientras que la porosidad total del suelo incrementó de 40,9% a 47,6%, lo que sugiere que no existía compactación en el suelo que limitara el desarrollo radicular.

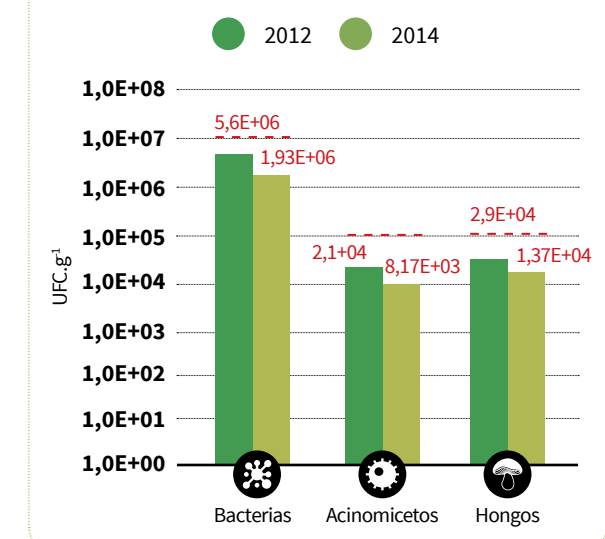
La clase textural del suelo se asocia a una permeabilidad de moderada a alta y a una retención de humedad de media a baja.

Microbiología



Tabla 59. Conteo de microorganismos en yopo (ASA)

Fecha	Bacterias	Actinomicetos	Hongos
2012	5,6E+06	2,1E+04	2,9E+04
2014	1,93E+06	8,17E+03	1,37E+04



Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 59. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, sobresaliendo la población de bacterias y hongos.

Para el conteo final, los niveles poblacionales de bacterias disminuyeron 3,67E+06 UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, alejándose de su nivel óptimo. Esta dinámica fue similar en la población de hongos (disminuyendo 1,53E+04 UFC.g⁻¹). Asimismo, si bien la población de actinomicetos mostró disminución (1,28E+04), esta no fue significativa respecto a los otros grupos evaluados.

Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Anadenanthera peregrina* incrementó en el tiempo, relacionándose con el aumento en altura y diámetro de los árboles. Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en 69,56 m³.ha.

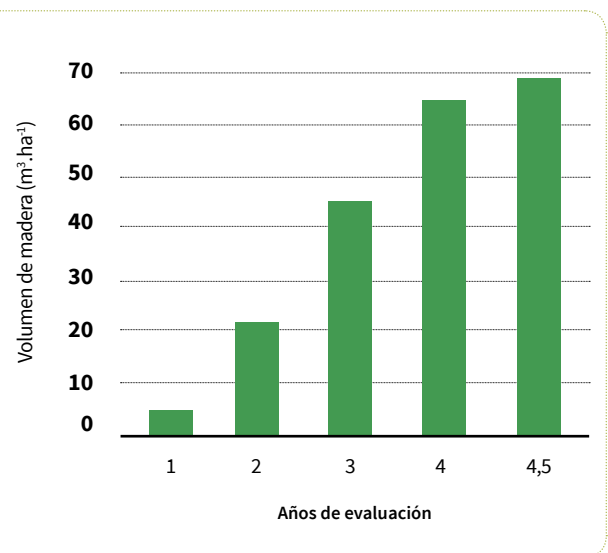
El mayor incremento de volumen de madera por hectárea se presentó entre el segundo año de evaluación y el tercero (22,3 m³.ha⁻¹).



Tabla 60.

Volumen de madera árboles en pie de yopo bajo condiciones del ASA (2015)

Volumen madera (m ³ .ha ⁻¹)		
Año	Total (m ³ .ha ⁻¹)	Incremento (m ³ .ha ⁻¹)
1	5,63	5,63
2	23,40	17,77
3	45,67	22,27
4	64,37	18,70
4,5	69,56	5,19



Biomasa y carbono

Durante los años evaluados la especie de *Anadenanthera peregrina* alcanzó en promedio 85,32

t.ha⁻¹ de biomasa, lo cual equivale a 42,7 t.ha⁻¹ de carbono. El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el segundo año y el tercero (tabla 61).

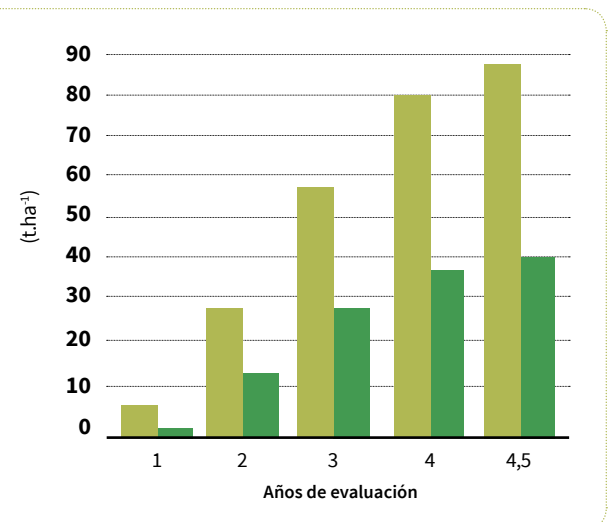
- Carbono
- Biomasa



Tabla 61.

Biomasa y carbono aéreo en yopo bajo condiciones del ASA (2015)

Año	Biomasa (t.ha ⁻¹)		Carbono (t.ha ⁻¹)	
	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)
1	7,71	7,71	3,85	3,85
2	29,24	21,53	14,62	10,77
3	55,88	26,64	27,94	13,32
4	78,62	22,74	39,31	11,37
4,5	85,32	6,70	42,66	3,35



Los resultados de los análisis microbiológicos de suelos se presentan en la tabla 59. El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, sobresaliendo la población de bacterias y hongos.

Para el conteo final, los niveles poblacionales de bacterias disminuyeron $3,67E+06$ UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, alejándose de su nivel óptimo. Esta dinámica fue similar en la población de hongos (disminuyendo $1,53E+04$ UFC.g⁻¹). Asimismo, si bien la población de actinomicetos mostró disminución ($1,28E+04$), esta no fue significativa respecto a los otros grupos evaluados.

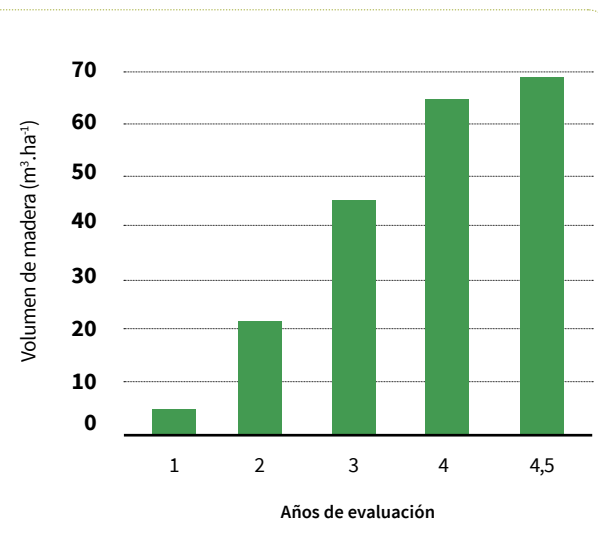
Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Anadenanthera peregrina* incrementó en el tiempo, relacionándose con el aumento en altura y diámetro de los árboles. Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en $69,56$ m³.ha.

El mayor incremento de volumen de madera por hectárea se presentó entre el segundo año de evaluación y el tercero ($22,3$ m³.ha⁻¹).

Volumen madera (m ³ .ha ⁻¹)		
Año	Total (m ³ .ha ⁻¹)	Incremento (m ³ .ha ⁻¹)
1	5,63	5,63
2	23,40	17,77
3	45,67	22,27
4	64,37	18,70
4,5	69,56	5,19



→ **Tabla 60.** Volumen de madera árboles en pie de yopo bajo condiciones del ASA (2015)

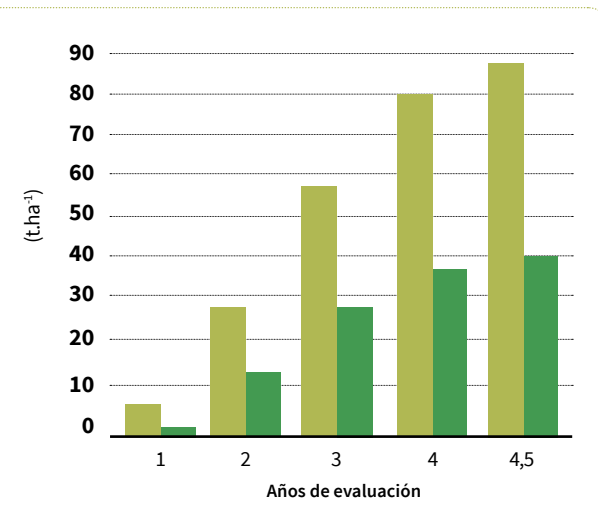
← **Tabla 62.** Riego suministrado a plantas de pino

Biomasa y carbono

Durante los años evaluados la especie de *Anadenanthera peregrina* alcanzó en promedio $85,32$

t.ha⁻¹ de biomasa, lo cual equivale a $42,7$ t.ha⁻¹ de carbono. El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el segundo año y el tercero (tabla 61).

Año	Biomasa (t.ha ⁻¹)		Carbono (t.ha ⁻¹)	
	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)
1	7,71	7,71	3,85	3,85
2	29,24	21,53	14,62	10,77
3	55,88	26,64	27,94	13,32
4	78,62	22,74	39,31	11,37
4,5	85,32	6,70	42,66	3,35



● Carbono
● Biomasa

→ **Tabla 61.** Biomasa y carbono aéreo en yopo bajo condiciones del ASA (2015)

← **Tabla 63.** Química de suelos inicial y final de la parcela de pino

Pino

Nombre científico: *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Familia: Pinaceae.

Ciclo vegetativo: perenne.

Origen: Centro América, Cuba.

Uso: múltiple. Puede emplearse como rompevientos, en postes para cerca y como madera para construcción, leña, tableros de fibras y tableros de partículas, así como para curtir cuero y estabilización de suelos degradados.

Fecha de siembra: 19 de noviembre de 2010.

Fecha de última evaluación: 9 de marzo de 2015.

Ciclo de desarrollo: 1.667 días después de siembra.

Cobertura asociada: *Brachiaria humidicola*.

Agua suministrada

La cantidad total de agua aportada fue de $5.995,2$ mm, y el mayor aporte de agua de riego se realizó para el año 2014, con un total de 2.669 mm. La cantidad de agua aportada para la especie durante el 2013 fue similar a la aportada para 2014 (tabla 62).

El valor de Kc para esta especie fue en promedio, en el tiempo de evaluación, $0,6$, lo que indica una menor demanda de agua por la especie en comparación con las otras especies forestales evaluadas.

Cantidad de agua aportada	2013	2014	2015	Total
Kc	0,61-0,68	0,68-0,59	0,59-0,51	
m ³	6.611,2	6.804,8	1.747,3	15.163,3
mm	2.641	2.669	685,2	5.995,2

Química de suelos

Fecha	pH	MO%	P mg.kg ⁻¹	S mg.kg ⁻¹	Al+H cmol.kg ⁻¹	Sat Al%	Al cmol.kg ⁻¹	Ca cmol.kg ⁻¹	Mg cmol.kg ⁻¹	K cmol.kg ⁻¹	Na cmol.kg ⁻¹	CICE	CE dS.m ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	B mg.kg ⁻¹
2010	4,4	3,6	3,6	5,0	1,3	45,5	0,9	0,4	0,2	0,1	0,0	2,0	0,2	91,0	0,1	8,2	0,2	0,1
2015	6,0	2,9	9,8	4,7	0,0	0,0	0,0	1,7	0,4	0,1	0,3	2,5	0,2	102,1	1,3	12,1	0,4	0,0

Fuente: Laboratorio Nacional de Suelos Agrosavia

En la tabla 63 se presenta el comportamiento de la química de suelos en el área en donde se estableció la parcela de pino.

El pH aumentó de $4,4$ a $6,0$, disminuyendo la concentración del aluminio en el suelo de $0,9$ a $0,0$ cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹, mientras que la dinámica de la CICE en el suelo aumentó de $2,0$ a $2,5$ cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹ como resultado del incremento de elementos como el calcio, el magnesio y el sodio.

Asimismo, se registró un incremento en la concentración de hierro de $91,0$ a $102,1$ mg.kg⁻¹, el cual puede insolubilizar elementos como el fósforo y el azufre. De igual forma, elementos como cobre, manganeso y zinc aumentaron su concentración, mientras que la de boro se redujo, generándose una deficiencia del elemento en el suelo.

La concentración actual de azufre también disminuyó, al igual que la de la MO, y la concentración de fósforo se incrementó de $3,6$ a $9,8$ mg.kg⁻¹.

Física de suelos



Tabla 64. Física de suelo inicial y final de la parcela de pino

Fecha	%	Tensión (bares)					DA g.cm ⁻³	DR g.cm ⁻³	Poros Total (%)	Textura			Clase
		Saturación	0,1	0,3	1,5	3,0				15,0	Arena	Limo	
2010	31,1	29,1	26,0	25,0	24,6	22,6	1,5	2,6	43,0	64,5	18,0	17,5	FA
2015	36,9	27,0	25,2	24,9	23,9	23,3	1,4	2,7	47,8	66,2	17,9	16,0	FA

Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 64. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue inicialmente de 19,5 mm, y la densidad aparente disminuyó de 1,5 a 1,4 g.cm⁻³, mientras que la porosidad total del suelo incrementó de 43,0% a 47,8%, lo que indica que no existió compactación en el suelo. La clase textural del suelo se asocia a una permeabilidad alta y a una retención de humedad baja.

Microbiología

El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, sobresaliendo la población de bacterias (tabla 65).

- 2012
- 2014

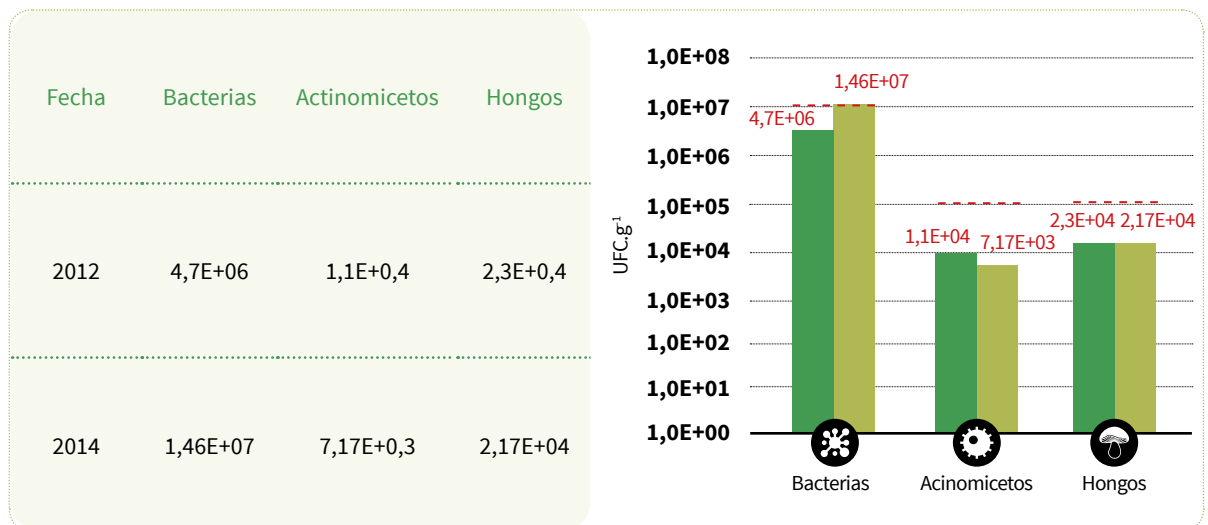


Tabla 65. Conteo de microorganismos en pino (ASA)

Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Para el conteo final, el nivel poblacional de bacterias aumentó 9,93E+06 UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, superando su nivel óptimo. La población de hongos

también aumentó 1,33E+03 UFC.g⁻¹. Sin embargo, la dinámica la población de actinomicetos fue distinta, disminuyendo levemente 3,38E+03 UFC.g⁻¹.

Física de suelos



Tabla 64. Física de suelo inicial y final de la parcela de pino

Fecha	%	Tensión (bares)					DA	DR	Poros	Textura			
		Saturación	0,1	0,3	1,5	3,0				15,0	Total (%)	Arena	Limo
2010	31,1	29,1	26,0	25,0	24,6	22,6	1,5	2,6	43,0	64,5	18,0	17,5	FA
2015	36,9	27,0	25,2	24,9	23,9	23,3	1,4	2,7	47,8	66,2	17,9	16,0	FA

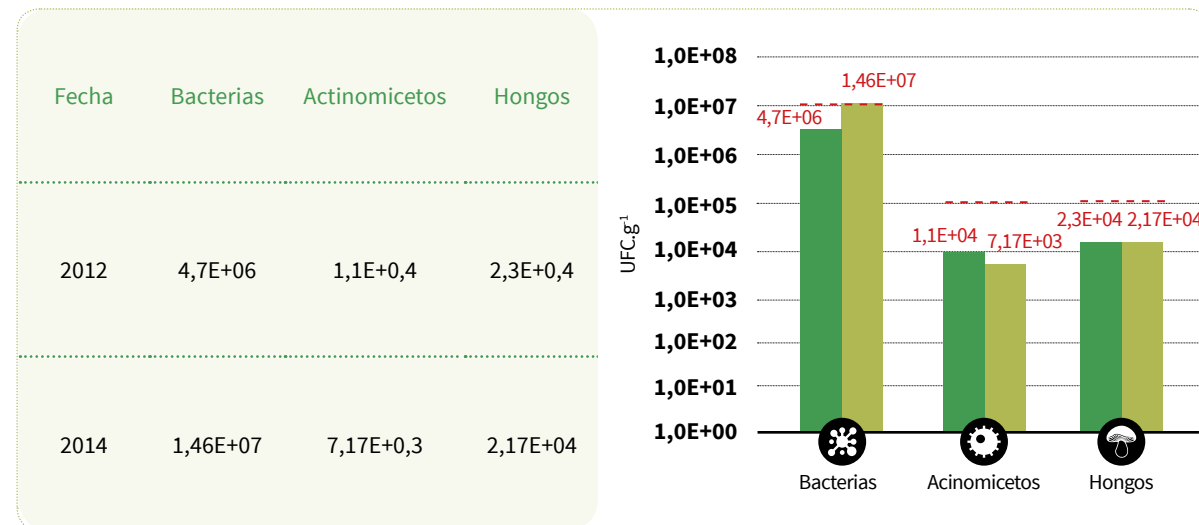
Fuente: Laboratorio Física de Suelos CI La Libertad Agrosavia

Los resultados de los análisis físicos de suelos se presentan en la tabla 64. La lámina de agua aprovechable por las plantas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo fue inicialmente de 19,5 mm, y la densidad aparente disminuyó de 1,5 a 1,4 g.cm⁻³, mientras que la porosidad total del suelo incrementó de 43,0% a 47,8%, lo que indica que no existió compactación en el suelo. La clase textural del suelo se asocia a una permeabilidad alta y a una retención de humedad baja.

Microbiología

El conteo realizado inicialmente en la parcela de investigación mostró que todas las poblaciones de microorganismos evaluados se encontraban cerca a sus niveles óptimos de unidades formadoras de colonia en el suelo, sobresaliendo la población de bacterias (tabla 65).

- 2012
- 2014



Fuente: Laboratorio Control de Calidad de Inoculantes Agrosavia

Para el conteo final, el nivel poblacional de bacterias aumentó 9,93E+06 UFC.g⁻¹ respecto a su valor inicial, superando su nivel óptimo. La población de hongos

también aumentó 1,33E+03 UFC.g⁻¹. Sin embargo, la dinámica la población de actinomicetos fue distinta, disminuyendo levemente 3,38E+03 UFC.g⁻¹.

Fitometría

Volumen de madera

El volumen de madera por hectárea para la especie de *Pinus caribaea* incrementó en el tiempo, relacionándose con el aumento en altura y diámetro

de los árboles (tabla 66). Actualmente, el volumen total de madera por hectárea para esta especie se estima en 33,51 m³.ha⁻¹.

El mayor incremento de volumen de madera por hectárea se presentó entre el tercer año de evaluación y el cuarto (17,3 m³.ha⁻¹).

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

Año	Volumen madera (m ³ .ha ⁻¹)	
	Total (m ³ .ha ⁻¹)	Incremento (m ³ .ha ⁻¹)
1	0,00	0,00
2	1,20	1,20
3	9,53	8,33
4	26,85	17,33
4,5	33,51	6,66

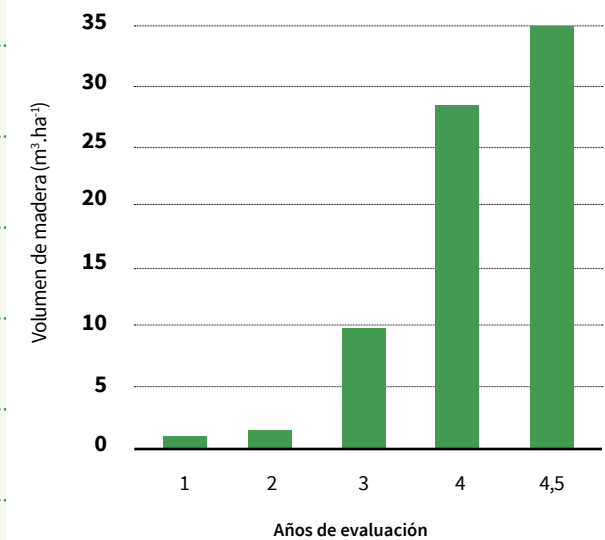


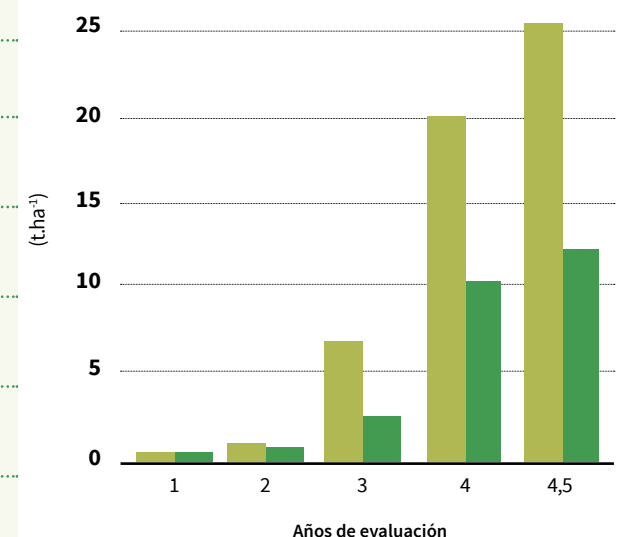
Tabla 66. Volumen de madera árboles en pie de pino bajo condiciones del ASA (2015)

Biomasa y carbono

Durante los años evaluados, la especie de *Pinus caribaea* alcanzó en promedio 24,9 t.ha⁻¹ de biomasa,

lo cual equivale a 12,5 t.ha⁻¹ de carbono. El mayor incremento de biomasa y carbono por hectárea se registró entre el tercer año y el cuarto (tabla 67).

Año	Biomasa (t.ha ⁻¹)		Carbono (t.ha ⁻¹)	
	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)	Total (t.ha ⁻¹)	Incremento (t.ha ⁻¹)
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,92	0,92	0,46	0,46
3	7,18	6,25	3,59	3,13
4	20,01	12,83	10,00	6,42
4,5	24,91	4,90	12,46	2,45



- Carbono
- Biomasa

Tabla 67. Biomasa y carbono aéreo en pino bajo condiciones del ASA (2015)



Efectos de las condiciones climáticas

En el ASA se instaló una estación climática a partir del año 2012, en la cual se llevó un registro diario de las variables de interés agronómico tales como: precipitación, evapotranspiración potencial, temperatura, humedad relativa y viento.

A continuación se detallan los registros desde mayo de 2012 hasta 10 de junio de 2015 de las variables relacionadas.

Precipitación

El régimen de precipitación de la zona es monomodal, caracterizándose por presentar eventos de precipitación de alta intensidad en una época del año alternados con una época seca de lluvias mínimas (tabla 68).

La distribución de la precipitación durante los años evaluados fue variable: para el año 2012 y 2013 se registró la mayor cantidad de lluvia en el periodo comprendido desde abril hasta septiembre, mientras que en el año 2014 se registró la menor precipitación anual (1.905,5 mm) respecto a los demás años evaluados. La mayor cantidad de lluvia se concentró durante los meses de abril a junio, y la disponibilidad hídrica durante el segundo semestre (985 mm) fue levemente superior a la del primer semestre (921 mm). El primer semestre de 2015 registró una disponibilidad hídrica (1.215mm) equivalente a la registrada en el segundo semestre durante los años 2012 (1.297 mm) y 2013 (1.245 mm), cuando se presentó la mayor cantidad de lluvia.

	2012	2013	2014	2015
Enero	-	1,2	14,8	131,0
Febrero	-	80,6	38,8	39,8
Marzo	-	100,0	44,6	180,4
Abril	3,8	340,0	387,4	307,8
Mayo	212,0	366,4	119,6	262,0
Junio	115,2	218,0	315,7	294,4
Julio	347,4	243,6	160,0	-
Agosto	264,4	208,6	150,0	-
Septiembre	148,8	220,6	112,6	-
Octubre	195,6	155,0	257,6	-
Noviembre	136,4	370,2	253,2	-
Diciembre	204,6	47,4	51,2	-
Total	1.628,2	1.905,5	1.905,5	1.215,4



Efectos de las condiciones climáticas

En el ASA se instaló una estación climática a partir del año 2012, en la cual se llevó un registro diario de las variables de interés agronómico tales como: precipitación, evapotranspiración potencial, temperatura, humedad relativa y viento.

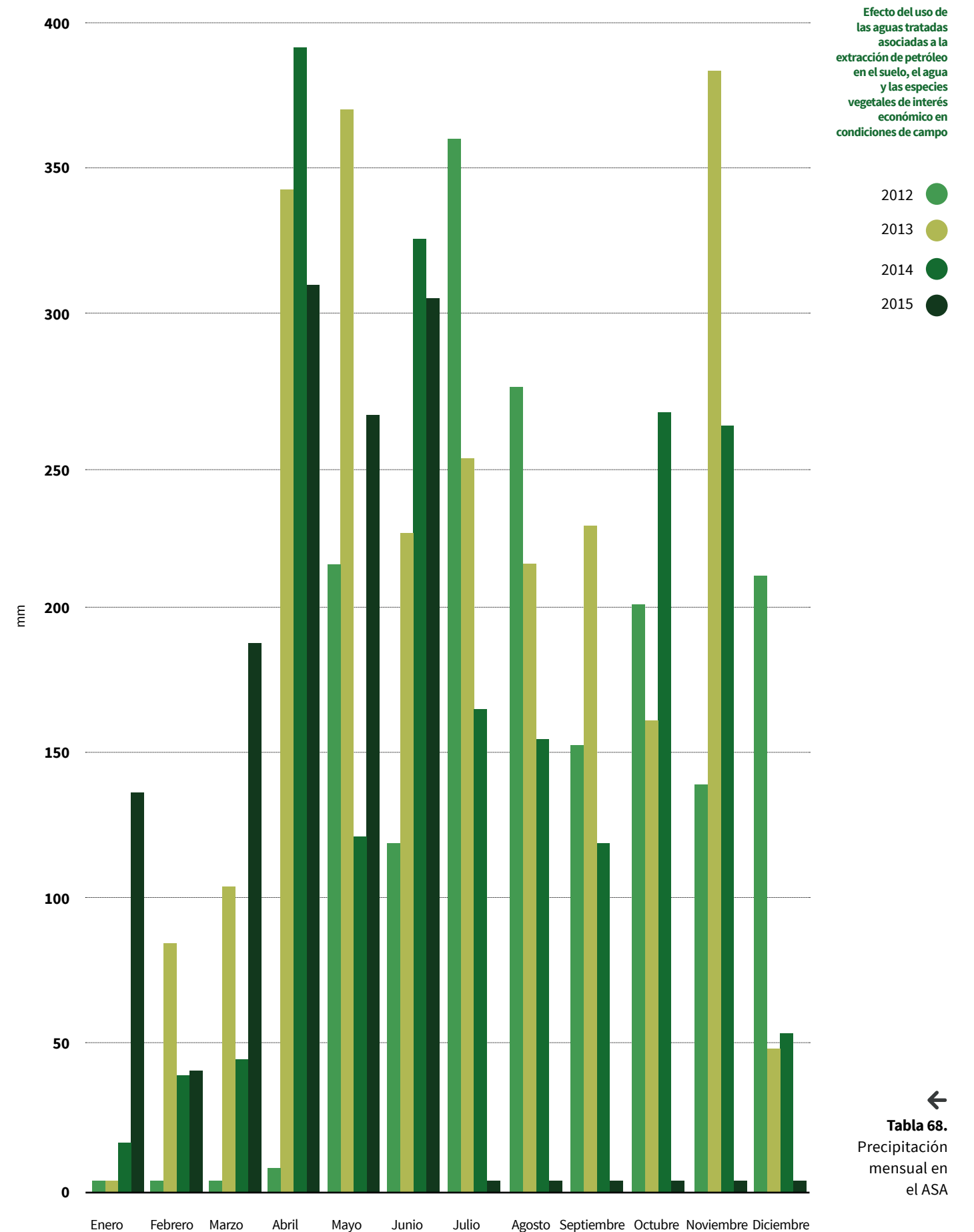
A continuación se detallan los registros desde mayo de 2012 hasta 10 de junio de 2015 de las variables relacionadas.

Precipitación

El régimen de precipitación de la zona es monomodal, caracterizándose por presentar eventos de precipitación de alta intensidad en una época del año alternados con una época seca de lluvias mínimas (tabla 68).

La distribución de la precipitación durante los años evaluados fue variable: para el año 2012 y 2013 se registró la mayor cantidad de lluvia en el periodo comprendido desde abril hasta septiembre, mientras que en el año 2014 se registró la menor precipitación anual (1.905,5 mm) respecto a los demás años evaluados. La mayor cantidad de lluvia se concentró durante los meses de abril a junio, y la disponibilidad hídrica durante el segundo semestre (985 mm) fue levemente superior a la del primer semestre (921 mm). El primer semestre de 2015 registró una disponibilidad hídrica (1.215mm) equivalente a la registrada en el segundo semestre durante los años 2012 (1.297 mm) y 2013 (1.245 mm), cuando se presentó la mayor cantidad de lluvia.

	2012	2013	2014	2015
Enero	-	1,2	14,8	131,0
Febrero	-	80,6	38,8	39,8
Marzo	-	100,0	44,6	180,4
Abril	3,8	340,0	387,4	307,8
Mayo	212,0	366,4	119,6	262,0
Junio	115,2	218,0	315,7	294,4
Julio	347,4	243,6	160,0	-
Agosto	264,4	208,6	150,0	-
Septiembre	148,8	220,6	112,6	-
Octubre	195,6	155,0	257,6	-
Noviembre	136,4	370,2	253,2	-
Diciembre	204,6	47,4	51,2	-
Total	1.628,2	1.905,5	1.905,5	1.215,4



Evapotranspiración potencial

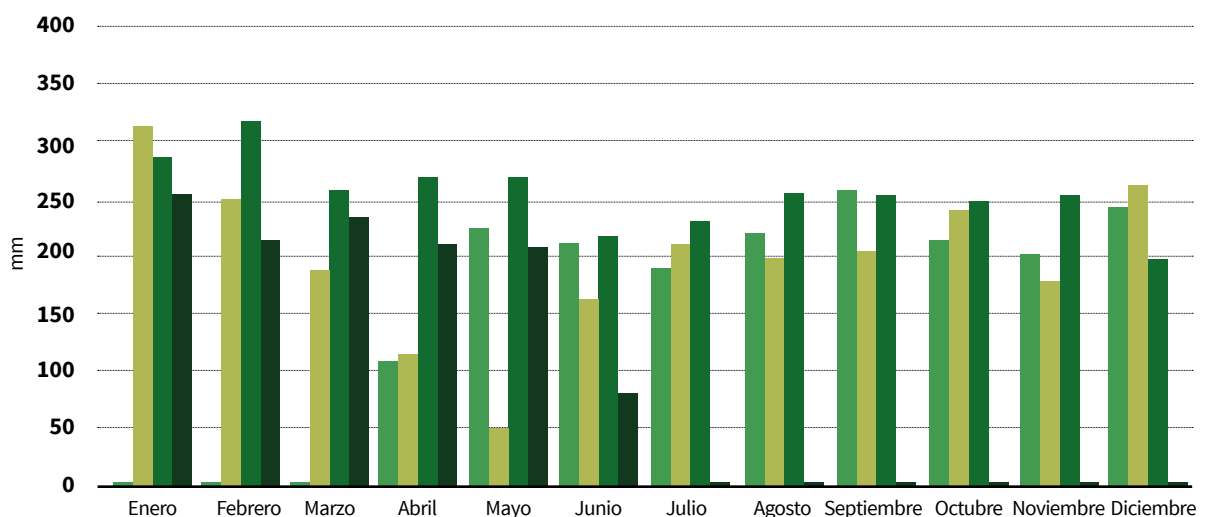
Tal como se refleja en la tabla 69, la evapotranspiración durante los años evaluados fue variable: para

los años 2012 y 2013 el mayor nivel de esta variable se registró sobre el segundo semestre; sin embargo, los meses entre julio y septiembre de 2012 y entre enero y marzo de 2013 manifestaron la mayor cantidad de agua evapotranspirada mensual.

	2012	2013	2014	2015
Enero	-	143,1	131,7	115,7
Febrero	-	113,8	145,3	97,5
Marzo	-	85,7	116,7	106,5
Abril	49,0	52,4	123,0	97,0
Mayo	102,5	22,1	122,2	95,1
Junio	96,2	74,4	99,5	36,9
Julio	86,3	96,5	105,3	-
Agosto	99,8	90,3	117,5	-
Septiembre	117,1	92,9	115,3	-
Octubre	97,5	109,2	112,4	-
Noviembre	91,6	81,6	115,0	-
Diciembre	110,7	119,9	90,6	-
Total	850,7	1.081,9	1.394,5	548,7



Tabla 69.
Evapotranspiración mensual en el ASA



En el año 2014 se registró la mayor evapotranspiración anual (1.394,5 mm) respecto a los demás años evaluados. La mayor cantidad de agua evapotranspirada se concentró durante los meses de enero a marzo, y la cantidad de agua evapotranspirada durante el primer

semestre (738 mm) fue superior a la del segundo semestre (656 mm). El primer semestre de 2015 registró una evapotranspiración (549 mm) superior a la registrada en el 2013 (492 mm) y menor a la registrada para el 2014 (738 mm) en el mismo periodo.

Evapotranspiración potencial

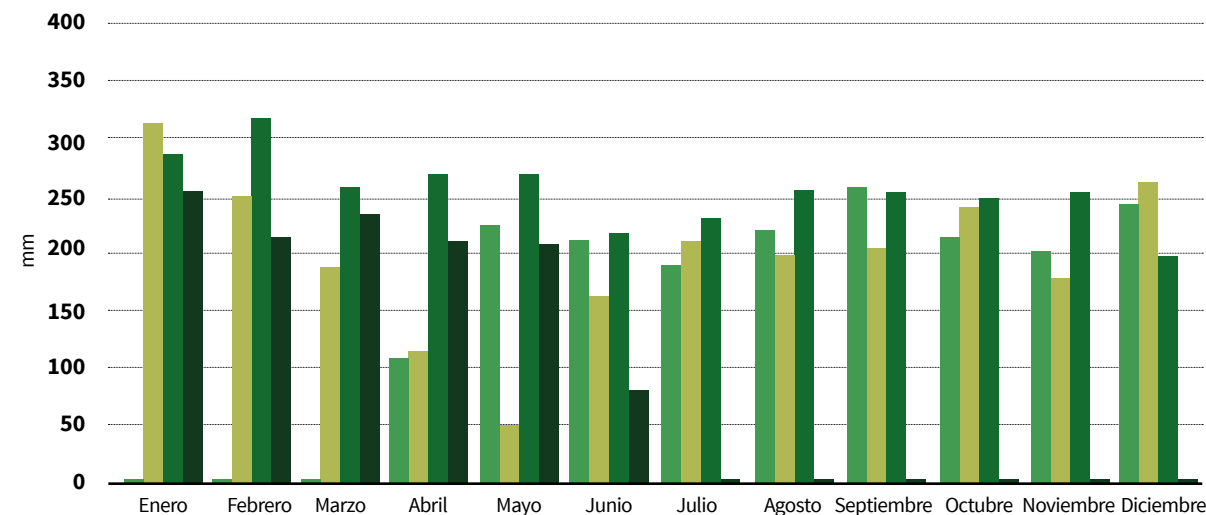
Tal como se refleja en la tabla 69, la evapotranspiración durante los años evaluados fue variable: para

los años 2012 y 2013 el mayor nivel de esta variable se registró sobre el segundo semestre; sin embargo, los meses entre julio y septiembre de 2012 y entre enero y marzo de 2013 manifestaron la mayor cantidad de agua evapotranspirada mensual.

	2012	2013	2014	2015
Enero	-	143,1	131,7	115,7
Febrero	-	113,8	145,3	97,5
Marzo	-	85,7	116,7	106,5
Abril	49,0	52,4	123,0	97,0
Mayo	102,5	22,1	122,2	95,1
Junio	96,2	74,4	99,5	36,9
Julio	86,3	96,5	105,3	-
Agosto	99,8	90,3	117,5	-
Septiembre	117,1	92,9	115,3	-
Octubre	97,5	109,2	112,4	-
Noviembre	91,6	81,6	115,0	-
Diciembre	110,7	119,9	90,6	-
Total	850,7	1.081,9	1.3945,5	548,7

- 2012
- 2013
- 2014
- 2015

→ **Tabla 69.** Evapotranspiración mensual en el ASA



En el año 2014 se registró la mayor evapotranspiración anual (1.394,5 mm) respecto a los demás años evaluados. La mayor cantidad de agua evapotranspirada se concentró durante los meses de enero a marzo, y la cantidad de agua evapotranspirada durante el primer

semestre (738 mm) fue superior a la del segundo semestre (656 mm). El primer semestre de 2015 registró una evapotranspiración (549 mm) superior a la registrada en el 2013 (492 mm) y menor a la registrada para el 2014 (738 mm) en el mismo periodo.

Temperatura

La temperatura máxima en la región osciló entre los 30,0-33,6 °C, con el valor más alto registrado en febrero del año 2014 (tabla 70).

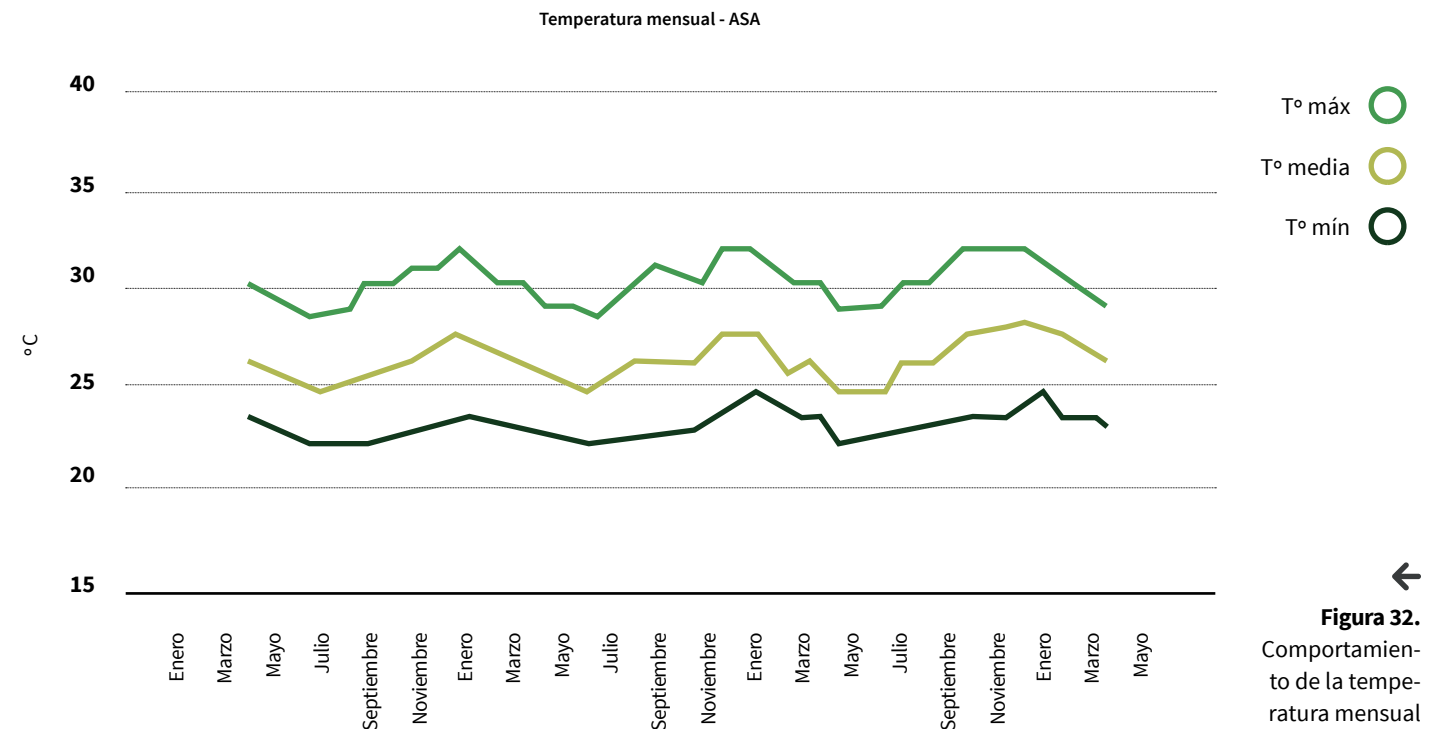
Por otro lado, la temperatura mínima varió entre los 21,0-23,3 °C, con el valor más bajo registrado en julio del año 2012 (figura 32). Finalmente, la temperatura promedio osciló entre los 23,8-28,4°C.

Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

	2012			2013			2014			2015		
	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media
Enero	-	-	-	32,7	22,9	27,2	33,2	23,1	27,5	32,7	22,3	27,5
Febrero	-	-	-	32,0	22,9	26,6	33,7	23,6	27,8	33,6	23,2	28,4
Marzo	-	-	-	31,3	22,4	26,1	32,5	23,4	27,1	33,0	23,3	28,2
Abril	31,0	21,6	25,3	31,4	22,0	25,9	30,8	22,1	25,4	32,1	22,3	27,2
Mayo	29,9	21,3	24,5	29,8	21,7	25,0	31,2	22,2	25,8	31,6	22,4	27,0
Junio	29,2	20,9	24,2	30,1	21,3	24,8	29,4	21,4	24,2	29,9	21,7	25,8
Julio	28,7	20,8	23,9	29,1	20,7	24,0	29,7	21,3	24,2	-	-	-
Agosto	28,9	21,0	24,3	29,6	21,1	24,4	29,3	21,2	24,4	-	-	-
Septiembre	30,9	21,0	24,9	30,8	21,2	24,9	31,6	21,6	25,4	-	-	-
Octubre	31,0	21,5	25,6	31,8	21,6	25,7	30,5	21,8	24,9	-	-	-
Noviembre	32,0	22,2	26,2	31,4	21,7	25,4	31,9	22,2	25,8	-	-	-
Diciembre	31,9	22,5	26,4	31,8	21,9	26,0	32,7	22,5	27,3	-	-	-

← **Tabla 70.** Temperatura mensual en el ASA

El mes de febrero del año 2014 registró los datos más altos de temperatura (máxima, mínima y promedio); el mes de agosto de 2012 registro los datos más bajos de temperatura.



← **Figura 32.** Comportamiento de la temperatura mensual en el ASA

Humedad relativa

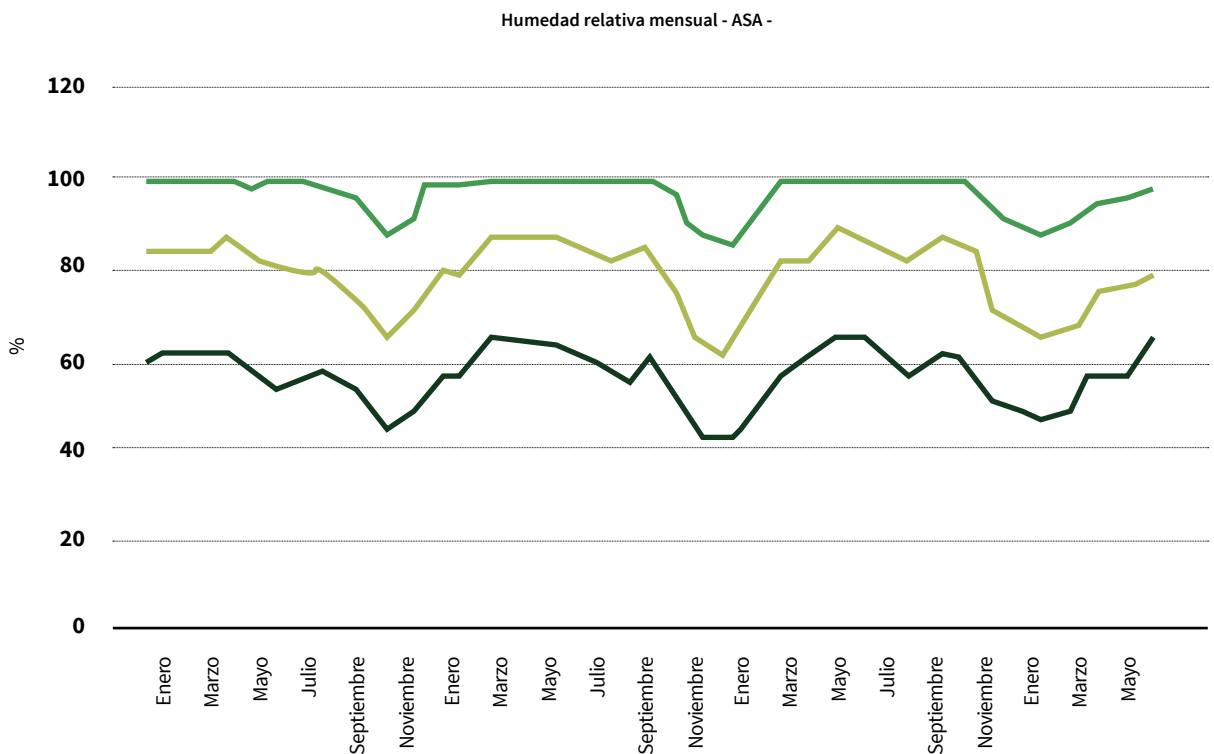
La humedad relativa máxima osciló entre el 83,0-100%, y el registro más bajo de esta variable se dio en febrero del año 2014 (tabla 71).

	2012			2013			2014			2015		
	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media
Enero	-	-	-	85,8	44,8	66,0	85,9	42,4	64,9	88,5	48,5	68,5
Febrero	-	-	-	89,1	47,3	69,5	83,0	42,5	61,2	86,2	46,6	66,4
Marzo	-	-	-	97,7	58,3	81,1	89,7	47,3	70,2	87,4	49,3	68,3
Abril	99,8	59,7	85,2	98,5	57,2	79,1	99,0	58,3	83,6	94,6	56,6	75,6
Mayo	99,9	62,4	86,9	99,6	65,3	88,5	98,7	59,7	83,8	94,1	59,5	76,8
Junio	99,6	62,6	86,2	100,0	63,7	87,5	100,0	68,2	90,5	96,0	65,7	80,8
Julio	99,9	62,6	87,8	99,6	63,9	87,6	100,0	66,0	89,9	-	-	-
Agosto	97,0	58,5	84,2	100,0	63,2	88,0	99,7	62,0	86,9	-	-	-
Septiembre	99,4	54,6	82,6	99,4	60,3	85,2	99,8	56,9	85,0	-	-	-
Octubre	98,6	56,5	82,8	99,5	56,3	82,7	99,9	61,4	87,3	-	-	-
Noviembre	96,9	58,1	80,3	99,7	60,8	85,8	100,0	61,7	86,5	-	-	-
Diciembre	94,7	54,2	75,3	96,7	54,4	78,9	92,1	50,6	73,2	-	-	-

→ **Tabla 71.** Humedad relativa mensual en el ASA

La humedad relativa mínima, por otro lado, osciló entre el 42,4-68,2%, y la humedad relativa promedio varió entre el 61,2-90,4%. Durante el año 2014 se registraron los datos más bajos y más altos de humedad relativa (máxima, mínima y

promedio) de los años evaluados, en los meses de febrero y junio respectivamente. Asimismo, en cada año evaluado se registró una caída de la humedad relativa entre los meses de noviembre a mayo (figura 33).



→ **Figura 33.** Comportamiento de la humedad relativa en el ASA

Humedad relativa

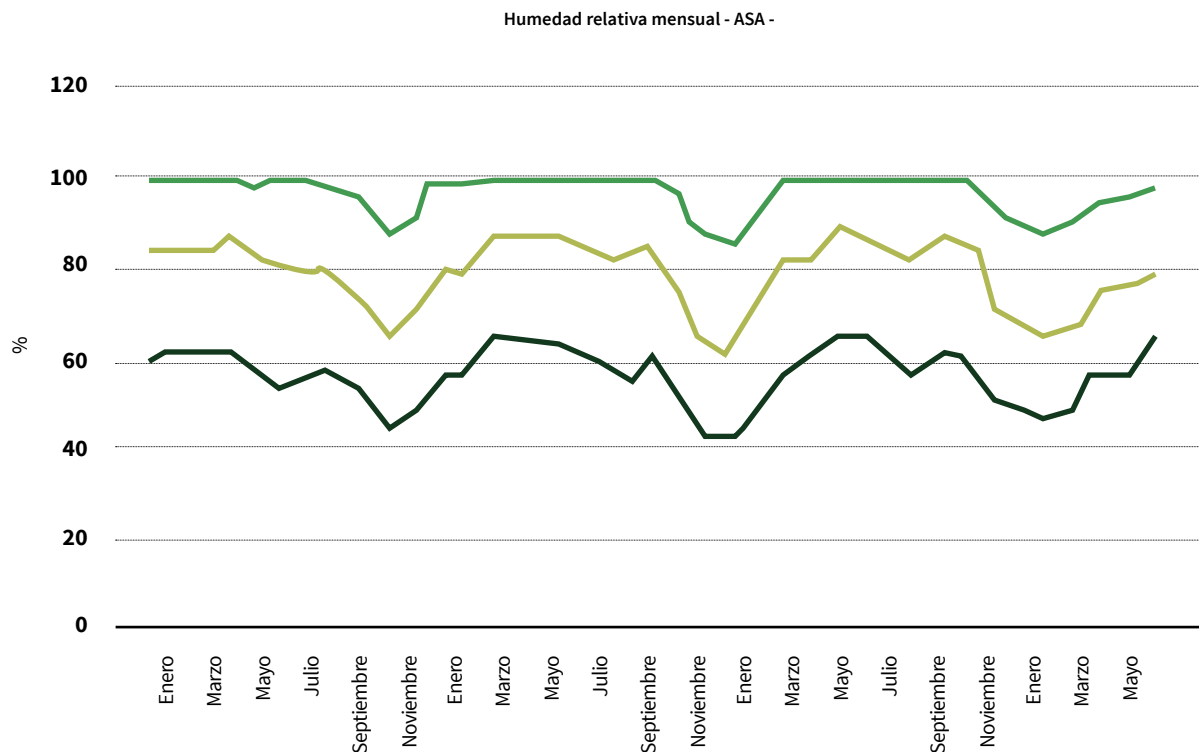
La humedad relativa máxima osciló entre el 83,0-100%, y el registro más bajo de esta variable se dio en febrero del año 2014 (tabla 71).

	2012			2013			2014			2015		
	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	Media
Enero	-	-	-	85,8	44,8	66,0	85,9	42,4	64,9	88,5	48,5	68,5
Febrero	-	-	-	89,1	47,3	69,5	83,0	42,5	61,2	86,2	46,6	66,4
Marzo	-	-	-	97,7	58,3	81,1	89,7	47,3	70,2	87,4	49,3	68,3
Abril	99,8	59,7	85,2	98,5	57,2	79,1	99,0	58,3	83,6	94,6	56,6	75,6
Mayo	99,9	62,4	86,9	99,6	65,3	88,5	98,7	59,7	83,8	94,1	59,5	76,8
Junio	99,6	62,6	86,2	100,0	63,7	87,5	100,0	68,2	90,5	96,0	65,7	80,8
Julio	99,9	62,6	87,8	99,6	63,9	87,6	100,0	66,0	89,9	-	-	-
Agosto	97,0	58,5	84,2	100,0	63,2	88,0	99,7	62,0	86,9	-	-	-
Septiembre	99,4	54,6	82,6	99,4	60,3	85,2	99,8	56,9	85,0	-	-	-
Octubre	98,6	56,5	82,8	99,5	56,3	82,7	99,9	61,4	87,3	-	-	-
Noviembre	96,9	58,1	80,3	99,7	60,8	85,8	100,0	61,7	86,5	-	-	-
Diciembre	94,7	54,2	75,3	96,7	54,4	78,9	92,1	50,6	73,2	-	-	-

→ **Tabla 71.** Humedad relativa mensual en el ASA

La humedad relativa mínima, por otro lado, osciló entre el 42,4-68,2%, y la humedad relativa promedio varió entre el 61,2-90,4%. Durante el año 2014 se registraron los datos más bajos y más altos de humedad relativa (máxima, mínima y

promedio) de los años evaluados, en los meses de febrero y junio respectivamente. Asimismo, en cada año evaluado se registró una caída de la humedad relativa entre los meses de noviembre a mayo (figura 33).



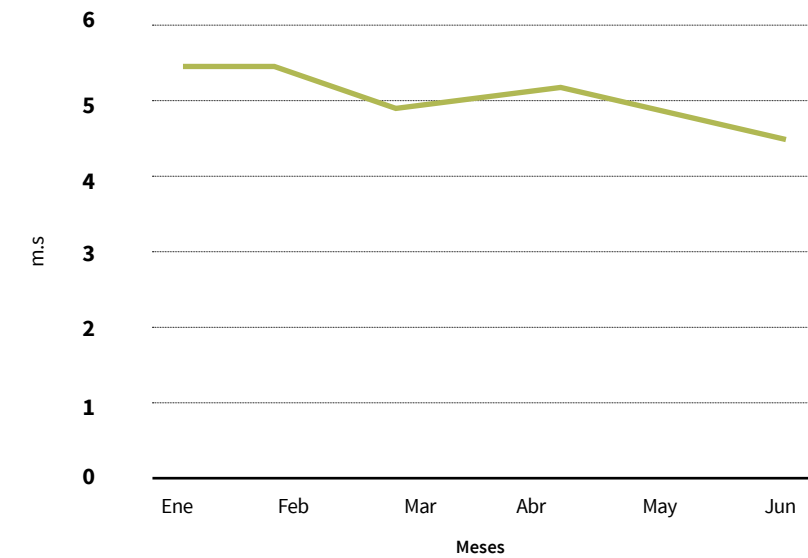
○ H.R. Máx
○ H.R. Media
○ H.R. Mín

→ **Figura 33.** Comportamiento de la humedad relativa en el ASA

Vientos

La velocidad de viento en la zona osciló entre 4,3-5,4 m.s⁻¹, y se observa una disminución progresiva de este parámetro entre enero y junio de 2015 (tabla 72).

Viento	
Mes	(m.s ⁻¹)
Enero	5,43
Febrero	5,28
Marzo	4,87
Abril	5,12
Mayo	4,71
Junio	4,34



Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

← **Tabla 72.** Viento mensual durante el año 2015 en el ASA¹

Monitoreo de aguas

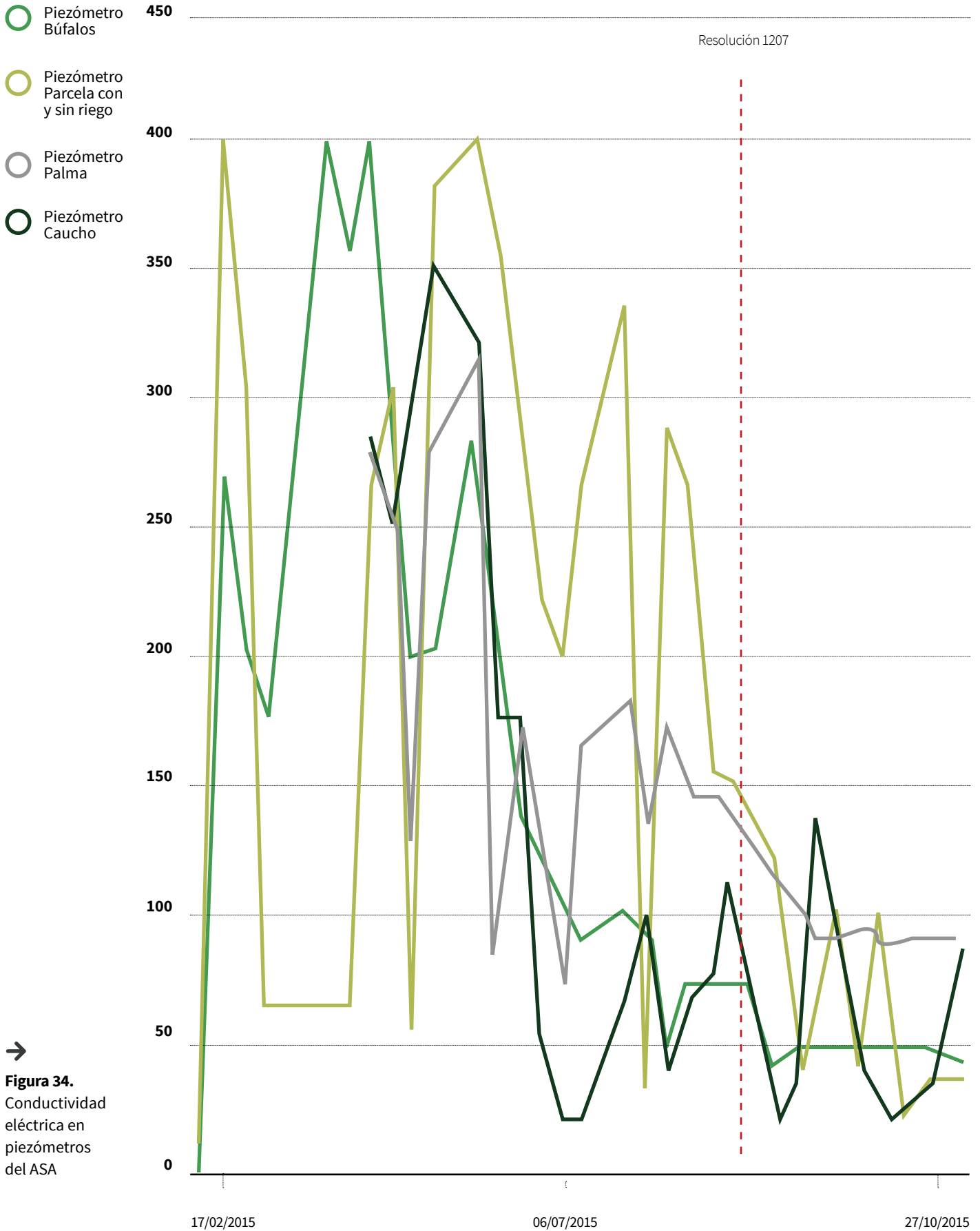
Las ATAEP utilizadas en el ASA se han ajustado a las normas legales vigentes, y se ha encontrado que los valores de los parámetros evaluados están muy por debajo de los niveles críticos establecidos, lo cual permite catalogar estas aguas como aguas para uso doméstico y clasificarlas para su uso en riego como C2S1. Por lo tanto, esta agua es apta para irrigación de cultivos, sin restricciones en su utilización (cumple con el artículo 40 del Decreto 1594 para uso agrícola y con la Resolución 1207 de Reúso de Aguas).

Semanalmente, se realizó un monitoreo de la calidad de aguas en 22 sitios del ASA, donde se evaluaron parámetros de rápida determinación como la conductividad eléctrica, la temperatura, los sólidos totales, la resistividad eléctrica y el pH, tomando muestras puntuales. El objetivo fue identificar

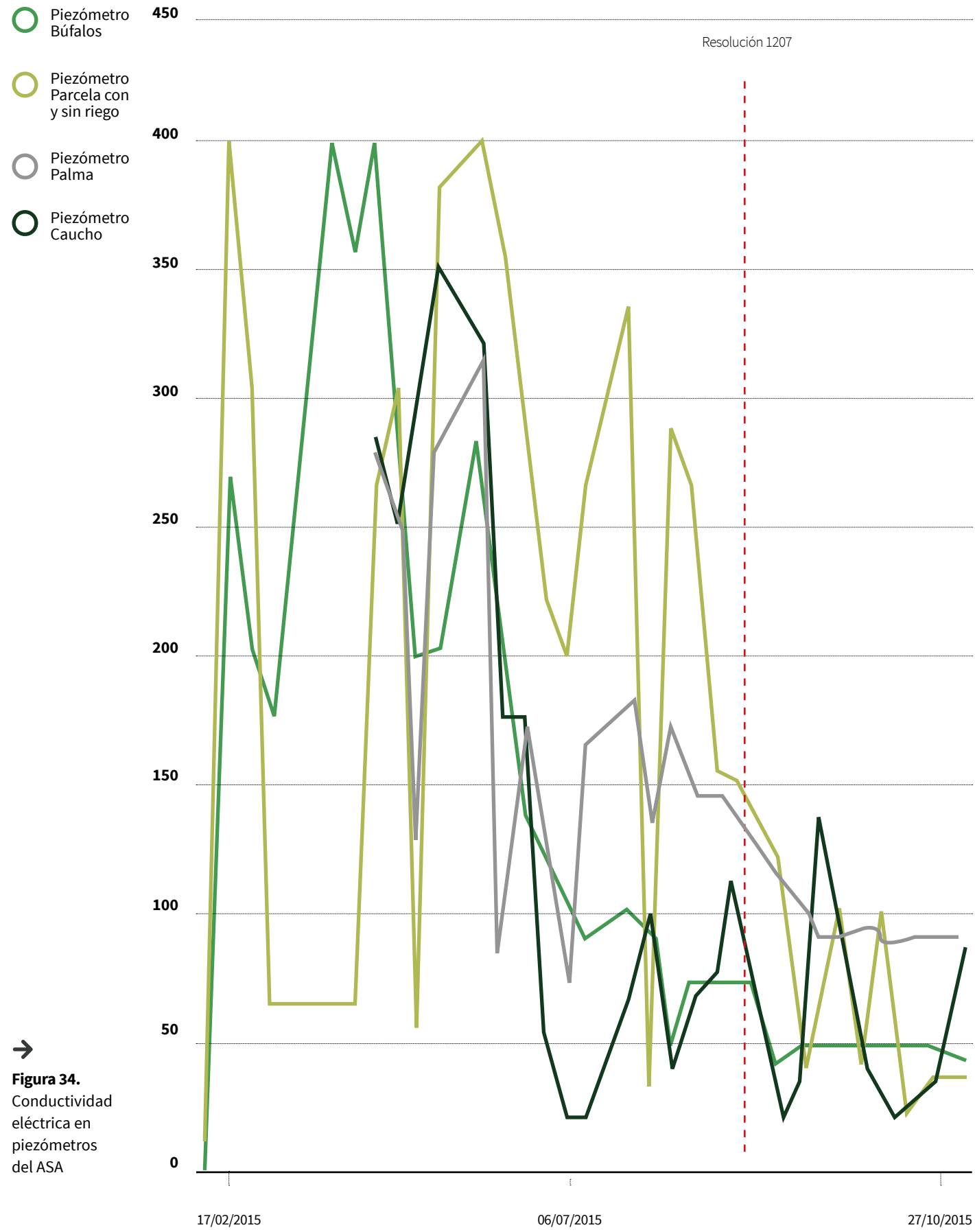
los efectos del riego de cultivos con ATAEP en las fuentes hídricas superficiales y subterráneas y el cumplimiento de la normatividad ambiental. Para ello el ASA dispuso de una red de siete piezómetros y 15 freáticos para el seguimiento de la calidad del agua subterránea y de sitios de monitoreo para el control de la calidad del agua en los caños Danta y Bijao. Adicionalmente, se midieron los caudales del caño Danta.

A partir de la aplicación de la Resolución 1207 las conductividades eléctricas en los piezómetros y en el caño Danta disminuyeron debido posiblemente a la menor dotación de agua que llegó al ASA, la cual no sobrepasó los 10.000 barriles de agua por día (bapd), muy por debajo de la que se manejada anteriormente (50.000 bapd). Esto ocasionó que las fugas por percolación y escorrentía se mermaran considerablemente (figuras 34 y 35), disminuyendo la mínima alteración a las aguas freáticas y las superficiales como el caño Danta, que es la fuente de agua donde se depositan los excedentes de drenaje del ASA.

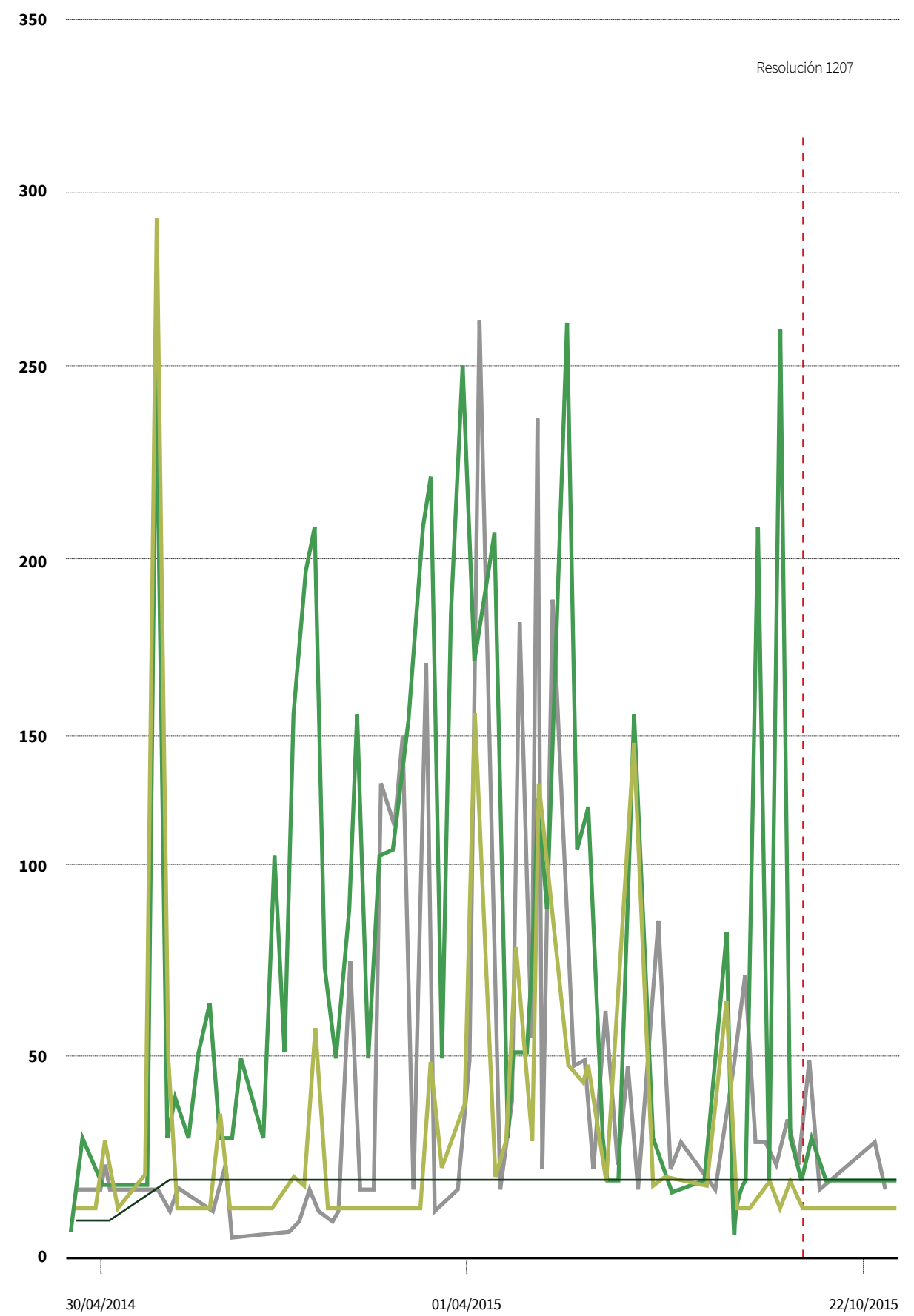
1. No se reportan datos de viento en periodos anteriores debido a la falta de registro.



→
Figura 34.
 Conductividad eléctrica en piezómetros del ASA



→ **Figura 34.** Conductividad eléctrica en piezómetros del ASA



Efecto del uso de las aguas tratadas asociadas a la extracción de petróleo en el suelo, el agua y las especies vegetales de interés económico en condiciones de campo

- Al frente drenaje ASA
- Entrada ASA
- Arriba del puente
- CE pozo profundo

← **Figura 35.** Conductividad eléctrica en el caño Danta