EFECTO DE LA FLUCTUACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO EN ETAPAS TEMPRANAS DEL CULTIVO DE COCO (*Cocos nucífera* L.*)* EN MONTERÍA-CÓRDOBA

JOSE JAVIER DORIA ARTEAGA

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA – CÓRDOBA
2021

EFECTO DE LA FLUCTUACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO EN ETAPAS TEMPRANAS DEL CULTIVO DE COCO (*Cocos nucífera* L.*)* EN MONTERIA-CÓRDOBA

JOSE JAVIER DORIA ARTEAGA

Trabajo de grado en la modalidad investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

DIRECTOR
TEOBALDIS MERCADO FERNANDEZ,
I.A., PHD. HIDROCIENCIAS

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
MONTERÍA
2021

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto serán responsabilidad del autor.

Artículo 17, acuerdo No. 039 del 24 de junio de 2005 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba.

Nota de aceptación

Teobaldis Mercado

Director

Luis Felipe de la Ossa Puello

Jurado

Amir David Vergara Carvajal

Jurado

Montería-Cordoba 30 noviembre de 2021

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada primeramente a Dios, ya que gracias al todopoderoso hoy he logrado una meta más “concluir mi carrera”. Después de Dios dedico con todo mi corazón mi tesis a madre Carmen Arteaga González, pues sin su apoyo no lo habría logrado, su bendición a diario a lo largo de la vida me protege y me lleva por el camino del bien, por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo y gracias por tu incondicional apoyo. A mi padre por siempre brindarme su inmenso apoyo, a mi hermano, a mi familia, amigos y todas aquellas personas que de alguna u otra manera colocaron su granito de arena para que este sueño hoy se haga realidad.

“El éxito no es un accidente, es trabajo duro, perseverancia, aprendizaje, estudio sacrificio, y sobre todo amar lo que estás haciendo” “Pele””

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Córdoba por ser mi segundo hogar y plantel de formación profesional como Ingeniero Agrónomo. A todos los docentes que me formaron como profesional, en especial a Teobaldis Mercado Fernández IA, PhD por la dirección de la tesis y por sus consejos en el ámbito personal y profesional.

A La Empresa Amanatura S.A.S por permitirme llevar a cabo mi tesis en este maravilloso proyecto, Ing. Luis Carlos Ordosgoitia, Ing. Luis Alfonso ordosgoitia, Ing. Álvaro Vergara Pineda, Ing. Augusto Gómez, Ing. Juan Agamez.

A todos mis compañeros de semestres, a mi amigo Elías Rojas compañero de trabajo, al señor Albeiro Urueta gran ser humano y a todos los trabajares de la finca Francia que contribuyeron a cumplir este logro.

A cada una de las personas que de cierto modo estuvieron hay dándome su apoyo, desde el inicio de mi carrera hasta el final. Gracias a todos.

CONTENIDO

Pág.

CAPITULO I **17**

INTRODUCCIÓN GENERAL **17**

1 ..... INTRODUCCIÓN **17**

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18

1.2 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE COCO 20

1.2.1 CARACTERISTICAS DE LA ESPECIE *Cocos nucífera* L. 20

1.2.2 Clasificación y descripción botánica 20

1.2.3 Importancia económica. 21

1.2.4 Manto freático. 22

1.2.5 Salinidad. 24

1.3 ESTADO DEL ARTE 25

1.4 OBJETIVOS 27

1.4.1 OBJETIVO GENERAL 27

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 27

1.5 REFERENCIAS 28

CAPÍTULO II **32**

2 ... DINÁMICA DEL NIVEL FREÁTICO EN PERIODOS SECOS Y LLUVIOSOS, Y SU EFECTO EN ETAPAS TEMPRANAS DEL CULTIVO DE COCO (*Coco Nucífera L*) ... **32**

RESUMEN **32**

ABSTRACT **34**

2.1 INTRODUCCIÓN 35

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS 36

2.2.1 Localización 36

2.2.2 Selección del material vegetal. 38

2.2.3 Sistema de riego 38

2.2.4 Tipo de investigación. 39

2.3 Variables 39

2.3.1 Variables independientes 39

2.3.2 Variables dependientes y/o de repuestas 41

2.3.3 Variables morfológicas 41

2.4 Trabajo de campo y laboratorio 42

2.5 Análisis estadístico de la información 42

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42

Planos de isobatas: 42

Plano de isohipsas: 45

2.7 CONCLUSIONES 49

2.8 REFERENCIAS 50

CAPITULO III **52**

3**...** SALINIDAD DE LOS MANTOS FREÁTICOS Y SU EFECTO SOBRE EL SUELO Y EL CULTIVO DE *COCOS NUCÍFERA* L. **52**

RESUMEN **52**

ABSTRACT ..... ¡Error! Marcador no definido.

3.3 INTRODUCCIÓN 55

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS 61

3.4.1 Localización 61

3.4.2 Selección del material vegetal. 61

3.4.3 Sistema de riego 62

3.5 Variables 62

3.5.1 Variables independientes 62

3.5.2 Variables dependientes y/o de repuestas 63

3.5.3 Variables morfológicas 64

3.6 Trabajo de campo y laboratorio 64

3.7 Análisis estadístico de la información 65

3.8 RESULTADOS Y DISCUCIÓN 65

En los planos de isoconcentración de calcio 67

En los planos de isoconcentración de potasio: 68

Tendencia de los índices hidro geoquímicos 69

3.9 CONCLUSIONES 70

3.10 REFERENCIAS 71

DISCUSION GENERAL **74**

CONCLUSIONES GENERALES **75**

REFERENCIAS **77**

ANEXOS **78**

Anexos A. rangos para los planos de isoconcentraciones e isobatas **78**

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. indicadores químicos de salinidad de carácter global 25

Tabla 2. localización de los pozos de observación, Finca Francia, Monteria-Cordoba 40

Tabla 3. Índices hidrogeoquímicos. 59

Tabla 4. Tipos de salinidad en función de las relaciones iónicas. 60

Tabla 5. Freatrimetros o pozos evaluados en pruebas de salinidad y conductividad eléctrica Finca Francia, Monteria-Cordoba. 62

Tabla 6. Parámetros utilizados para análisis de salinidad. 63

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización del área de estudio (Finca Francia), Monteria-Cordoba. 37

Figura 2. Red de drenaje y división de bloques finca Francia, Monteria-Cordoba. 37

Figura 3. Diseño del sistema de riego, Finca Francia, Monteria-Cordoba. 39

Figura 4. Ubicación de pozos de observación, Finca Francia, Monteria-Cordoba..... 40

Figura 5. Mapa isobata Finca Francia 05 de agosto 2020, Monteria-Cordoba..... 43

Figura 6. Mapa isobata Finca Francia, 02 abril 2021, Monteria-Cordoba..... 44

Figura 7. Plano isobata Finca Francia, 11 noviembre 2020, Monteria-Cordoba..... 45

Figura 8. Mapa isohipsa Finca Francia 27 noviembre 2020, Monteria-Cordoba. 45

Figura 9. Mapa de isohipsa de la Finca Francia, 27 de noviembre 2020, Monteria-Cordoba. 46

Figura 10. Grafica área-tiempo-precipitaciones Finca Francia, Monteria-Cordoba..... 47

Figura 11. Edades de las plantas muestreadas, Finca Francia, Monteria-Cordoba..... 48

Figura 12. Comportamiento de raíces verticales/bloque, Finca Francia, Monteria-Cordoba. 48

Figura 13. Comportamiento de raíces horizontales/bloque, Finca Francia, Monteria-Cordoba. 49

Figura 14. Ubicación de los lotes Finca Francia, Monteria-Cordoba. 63

Figura 15. Mapa de conductividad eléctrica (ds/m) de los mantos freáticos Finca Francia, Monteria Cordoba. 66

Figura 16. Grafica de comportamiento de sales hipotéticas, Finca Francia, Monteria Cordoba. 67

Figura 17. Plano de isoconcentraciones de sodio, Finca Francia, Monteria-Cordoba..... 68

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Registro de precipitaciones 2020 81

Anexo 2. Registro de precipitaciones 2021 82

Anexo 3. Áreas optimas 83

Anexo 4. Análisis de agua..... 84

Anexo 5. Índices hidrogeoquimicos..... 84

Anexo 6. Sales hipotéticas 84

Anexo 7. Muestreo morfologico del cultivo de Coco (Cocos nuciofera L)..... 85

RESUMEN GENERAL

El cultivo de coco ha tomado gran importancia ambiental, económica y social en las agroindustrias tanto nacionales e internacionales con un incremento potencial, siendo este un componente principal para la alimentación humana. La presente investigación se llevó a cabo en el Occidente del Departamento de Córdoba en la ciudad de Montería vía las palomas a 7 km de la capital cordobesa, en la empresa Amanatura S.A.S (Finca Francia), que se encuentran ubicada en las coordenadas 8°46'04.8" latitud Norte, y 75°56'43.3" longitud Oeste, la cual cuenta con area de 136 hectáreas y un area efectiva de siembra de 120 hectáreas del cultivo coco (*Cocos nucífera* L.), con temperatura promedio de 28°C, 80% de humedad relativa, 1.200 mm de precipitación y brillo solar de 2.108,2 h año-1(Palencia et al., 2006). La investigación se llevó a cabo en los periodos de los semestres B y A de 2020-2021, en donde se estudió la fluctuación del nivel freático en el cultivo de Coco de los genotipos Alto Caribe x Enano Malayo, con plantas entre 2 y 3.6 años. La densidad de siembra por hectárea fue 115 plantas, para un total de 13.800 plantas, bajo un sistema de siembra tres bolillos y sistema de riego por aspersión. La finca contaba con una división de 3 bloques cada uno con áreas diferentes, Bloque 1 (60 Has), Bloque 2 (40 Has) y bloque 3 (20 Has). Para la realización de este trabajo se localizaron y construyeron 36 pozos de observación, formando una red freatimétrica, con el fin de monitorear el comportamiento de los mantos freáticos en la "Finca Francia", se realizaron mediciones semanales (cada viernes) durante 12 meses, con el fin de incluir periodos secos y lluviosos. Con la a información obtenida y usando interpolación por el método del Krigeado con ayuda del software SURFER se elaboraron planos de isobatas, isohipsa, isovalores de pH, conductividad eléctrica (CE), cationes solubles (calcio, magnesio, sodio y potasio), aniones solubles (cloruros, sulfatos y bicarbonatos), índices hidrogeoquímicos (Mg/Ca, K/Na, Cl/HCO_3, Cl – (Na + Ca))/Cl) y RAS. Con los resultados obtenidos se determinó que la principal fuente de recarga de los mantos freáticos fue las precipitaciones, mostrando una relación directa en el aumento de estos en las zonas críticas de la finca, la dirección del flujo subterráneo en los periodos analizados es de Oeste hacia el Este del área de estudio, es decir, de los bloques 2 y 3 hacia bloques 1, las plantas que se encontraron en las zonas con problemas de niveles freáticos críticos presentaron pudrición de raíces y poca exploración en el perfil del suelo, presentando un crecimiento retardado en el desarrollo de tallo y hojas. Por otro lado, las principales sales que predominan en las aguas freáticas de la "Finca Francia son, cloruro de sodio, cloruro de magnesio y en menor proporción bicarbonato de sodio, sulfato de sodio; con predominio de Salinidad tipo clorhídrica-sulfática, Sulfática-Clorhídrica y clorhídrica, la tendencia general en los Planos de isovalores de Ph, iso conductividad eléctrica, iso magnesio, iso bicarbonatos, iso cloruros, iso sulfatos, relaciones iónicas y RAS; es que el aumento de los valores de las isolineas se presenta en la dirección del flujo subterráneos en área de estudio.

Palabras claves: Red freatimétrica, isobatas, isohipsas, nivel freático, flujo subterráneo, *Cocos nucífera* L.

GENERAL ABSTRACT

Coconut cultivation has taken great environmental, economic and social importance in national and international agroindustries with a potential increase, being a main component for human food. The present investigation was carried out in the west of the Department of Córdoba in the city of Montería via Las Palomas, 7 km from the capital of Córdoba, in the company Amanatura S.A.S. (Finca Francia), located at coordinates 8°46'04.8" north latitude, and 75°56'43. 3 west longitude, which has an area of 136 hectares and an effective planting area of 120 hectares of coconut crop (Cocos nucífera L.), with an average temperature of 28°C, 80% relative humidity, 1,200 mm of precipitation and sunshine of 2,108.2 h year-1(Palencia et al., 2006). The research was carried out in the periods of semesters B and A of 2020-2021, where the fluctuation of the water table was studied in the cultivation of coconut of the Alto Caribe x Enano Malayo genotypes, with plants between 2 and 3.6 years old. The planting density per hectare was 115 plants, for a total of 13,800 plants, under a three-roller planting system and sprinkler irrigation system. The farm was divided into 3 blocks, each with different areas, Block 1 (60 hectares), Block 2 (40 hectares) and Block 3 (20 hectares). For this work, 36 observation wells were located and constructed, forming a phreatimetric network, in order to monitor the behavior of the phreatic mantles in "Finca Francia", measurements were taken weekly (every Friday) during 12 months, in order to include dry and rainy periods. With the information obtained and using interpolation by the Krigeado method with the help of SURFER software, isobaths, isohypes, isovalues of pH, electrical conductivity (EC), soluble cations (calcium, magnesium, sodium and potassium), soluble anions (chlorides, sulfates and bicarbonates), hydrogeochemical indexes (Mg/Ca, K/Na, Cl/HCO3, Cl - (Na + Ca))/Cl) and RAS were elaborated. With the results obtained it was determined that the main source of groundwater recharge was rainfall, showing a direct relationship in the increase of these in the critical areas of the farm, the direction of groundwater flow in the analyzed periods is from west to east of the study area, that is, from blocks 2 and 3 to blocks 1, the plants that were found in areas with critical groundwater level problems presented root rot and little exploration in the soil profile, presenting a delayed growth in the development of stem and leaves. On the other hand, the main salts that predominate in the phreatic waters of "Finca Francia" are sodium chloride, magnesium chloride and, to a lesser extent, sodium bicarbonate and sodium sulfate; with a predominance of chloride-sulfate, sulfate-chloride-chloride and chloride-type salinity, the general tendency in the Ph isovalue planes, electrical conductivity iso, magnesium iso, carbonate iso, bicarbonate iso, chloride iso, sulfate iso, ionic relations and RAS; is that the increase in the values of the isolines is presented in the direction of the subway flow in the study area.

Keywords: Phreatimetric network, isobaths, isohypses, water table, groundwater flow, Cocos nucífera L.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

1 INTRODUCCIÓN

El coco es un fruto originario de Melanesia. El sudeste del continente asiático es una de las regiones con mayor importancia en relación con el cultivo de este fruto. En relación con las hectáreas cultivas de coco, Tomalá (2015) afirma que en el mundo hay alrededor de cuatro millones de hectáreas cultivadas, donde se destacan los principales países como Indonesia, Filipinas y la India. También se resalta la importancia de África, América, las islas del caribe y los mares del sur.

El origen de coco (*Cocos nucífera* L.), es un tema bastantemente discutido, por lo que existen dos teorías acerca de su origen y distribución en el mundo. La primera teoría "postula al continente americano como posible centro de origen, de donde se extendió a otros continentes como Asia"(…) (Guppy, 1906). "La segunda teoría da como posible origen al indo-pacifico" (…) (Child, 1964), (…) donde se menciona a malasia, generalmente a la zona sur del trópico de capricornio. Según Purseglove (1968), también da como posible origen al indo-pacifico ya que "el mayor número de parientes remotos del coco son las palmas cocoides del Noroeste de Sudamérica las cuales pudieron haber sido diseminado hasta Polinesia por medio de los frutos arrastrados por corrientes oceánicas".

El primer registro de la presencia de la palma de coco en las costas del Pacífico americano se remonta al año de 1514, cuando Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés, la observó en las playas de la bahía de Panamá, en Punta Bórica e Isla de cocos (en los límites actuales de Panamá con Costa Rica). Reportó, además, su presencia hacia el sur, cerca de las costas del Perú (Cook, 1910; Bruman, 1944). En cuanto a las costas del Pacífico mexicano, se reporta que esta palma era desconocida hacia 1539, año en el cual Álvaro de Guijo notifica a Hernán Cortés sobre el envío de dos docenas de semillas de cocotero de Panamá para ser sembrados en las costas mexicanas. Cueto (2016).

Musalen (1991) argumenta que, aunque la utilización del cocotero por parte del hombre tiene detrás de sí una larga historia, el tema sobre su origen sigue siendo un punto debatido. Acostumbrada la Agronomía y la Botánica a dirimir estos temas a través del estudio de las especies silvestres, los estudiosos de dichas disciplinas se enfrentan a un problema: el cocotero es una excepción, pues en la actualidad no se conocen poblaciones espontáneas.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La variación de los niveles freáticos es consecuencia de varios factores que inciden en el aumento de estos, teniendo una relación con las condiciones hidrológicas de las zonas agrícolas. Algunos de los factores que inciden son el manejo inadecuado de las láminas de riego, precipitaciones excesivas y diferentes tipos de suelos que afectan las zonas agrícolas originando la degradación y pérdidas del potencial productivo de los suelos, lo cual afecta directamente el desarrollo y crecimiento de los cultivos, debido a los problemas causados por drenaje y salinización. El aumento del nivel freático se debe al origen del agua de riego, altas precipitaciones en la zona y la proximidad a un río, lo cual incide en la acumulación de sales en la superficie del suelo (Tanji, 1990, Bustamante, 1993). Por esta razón es necesario el estudio de la fluctuación de los niveles freáticos subterráneos, ya que son de gran de importancia teniendo en cuenta que estos movimientos son la principal causa de la salinidad y encharcamiento en los suelos con problemas de drenaje. Con Estos niveles freáticos cercanos a la superficie del suelo en el cultivo de cocotero, el sistema radicular se ve afectado al momento de explorar el perfil del suelo, provocando un desequilibrio fisiológico que afecta los rendimientos, así como también la muerte del cultivo. Es necesario evaluar estos efectos en el cultivo cocotero para identificar los principales factores causantes de los diferentes problemas de drenaje y salinización, mediante mediciones semanales, quincenales o mensuales, a través de pozos de observación espaciados de fácil acceso, evitando que queden cercanos a canales, drenes, ríos, pozos de bombeo y vías de tránsito, de tal manera que las mediciones incluyan períodos secos y lluviosos.

Los problemas del nivel freático y salinización en suelos establecidos con el cultivo de cocotero generan nuevos retos en los que se requiere el desarrollo de estudios relacionados con la calidad del suelo, la disponibilidad y calidad del agua y la calidad nutricional. Evitando el ensalitramiento de los suelos causado por el inadecuado manejo del agua de riego y suelos por parte de los agricultores. En periodos secos, cuando se presenta un aumento de evaporación menor a los ingresos hídricos, se produce una profundización de los niveles freáticos y viceversa en periodos lluviosos. Por ello, es de gran importancia determinar la fluctuación del nivel freático como evidencia de la recarga directa de lluvia al acuífero a través de la zona no saturada (Carrica & Lexow, 2004). Los aumentos de los niveles freáticos disminuyen la disponibilidad de capacidad de almacenamiento subterráneo, originando un aumento del caudal en los canales de drenaje. En el caso de que el nivel freático alcanza la superficie del suelo se genera acumulación de agua en el terreno y acumulación de las sales presentes en el suelo. Por lo tanto, el seguimiento de las fluctuaciones de niveles freáticos es una información fundamental para el análisis de la relación entre las aguas subterráneas y superficiales.

El cultivo de cocotero ha venido creciendo potencialmente, tomando gran importancia ambiental, económica y social en países con climas tropicales, donde las agroindustrias se han dedicado a la exportación de coco como nacional e internacional, así mismo el coco se ha convertido en un componente principal para la alimentación humana, como también para la elaboración de productos como: jabones, aceites, productos medicinales, bebidas refrescantes, construcción, etc. Por esta razón se hace necesario determinar las concentraciones de sales del suelo, que permitan saber la distribución geográfica de las áreas ensalitradas en el cultivo de cocotero y conocer la magnitud de las afectaciones. Los resultados que se obtienen de las evaluaciones sirven para tomar decisiones sobre el mejor uso de las áreas afectadas y para aplicar medidas para su recuperación. El conocimiento de las condiciones iniciales del cultivo se logra mediante la realización de estudios de fluctuación de los niveles freáticos, salinidad, calidad química del agua de riego, y de la constitución mineralógica del subsuelo; con estos resultados se elaboran mapas de salinidad, freatimetría e isohypsas, y se elaboran gráficas de la calidad del agua y gráficas área-tiempo.

Se ha discutido ampliamente de estos efectos provocados por la salinidad en el potencial hídrico de las plantas, llegando a la conclusión de que los componentes del riego afectan en condiciones de alta salinidad. Por otra parte, algunos estudios han planteado que el efecto provocado por la salinidad limita la absorción de agua por el sistema radicular lo que afecta el estado hídrico de toda la planta de coco, influyendo directamente en el metabolismo de las plantas y por consiguiente en su crecimiento y desarrollo que tiene un costo desde el punto de vista del rendimiento agrícola. De este modo, desde el punto de vista agronómico esta investigación contribuye al conocimiento acerca del cultivo del cocotero, mejorando las condiciones freáticas de los suelos que tienen los productores, para que de esta manera se pueda contrarrestar, prevenir, controlar y corregir los posibles impactos que generan los niveles freáticos cercanos a la superficie, así como también las concentraciones de sales acumuladas en el suelo, aumentando el buen desarrollo del cultivo que posteriormente se verá reflejado en los rendimientos, disminuyendo de esta manera estos efectos que influyen negativamente en el buen desarrollo fisiológico del cultivo de cocotero; en donde se puedan tomar medidas de elaborar o diseñar un sistema de drenajes en los que se puedan batir los niveles freáticos cercanos a la superficie, como también determinar la profundidad de estos y posteriormente el tiempo de permanencia en periodos secos y lluviosos. Por esta razón, esta investigación presenta un gran aporte y es de gran importancia teniendo en cuenta que hay pocos estudios sobre la fluctuación nivel freático en el cultivo de cocotero que permitan el mejoramiento de las áreas establecidas y de esta manera contribuir positivamente con conocimientos que generen un beneficio en pro de las zonas productoras de coco nacionales e internacionales.

1.2 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE COCOTERO.

1.2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL COCO (*Cocos nucífera* L).

El coco (*Cocos nucífera* L) es una planta monocotiledónea y se reproduce únicamente a través de semillas. Desarrolla en cada estípula una inflorescencia que posee flores femeninas y masculinas. Estas flores salen de un único racimo en diferentes periodos, de tal manera que el coco generalmente es polinizado por una diversidad de abejas y por el efecto del viento. La edad promedio de esta planta es de sesenta años. Naturland (2020) en sus estudios evidenciaron que el aceite de coco es extraído a través de dos métodos los cuales consisten en la copra deshidratada (exprimida) y rallado de copra fresca. La cascara dura del coco puede ser empleada como biocombustible para el secado de la copra y para producir carbón activo y finalmente establecieron que las cascaras bien pulidas son utilizadas para rellenar las materias plásticas de las que son fabricados botones, recipientes y una variedad de objetos. Castillo (2019) hace referencia a la variedad de la planta y la clasifica en tres variedades según su tamaño en la que indica que, los gigantes o altos son empleados para la producción de aceite y los frutos para consumo fresco y preparación de productos alimenticios. El porcentaje de agua en esta variedad es relativamente alto con un saber dulce y una de sus ventajas es el gran tamaño en del fruto. En cuanto a la variedad de enanos, indica que los más cultivados son el verde de Brasil, el amarillo de Malasia y el enano manila, el cual se diferencia con los demás por la autofecundación la cual es superior al 94% lo que le permite una reproducción de semilla altamente considerable. Esta variedad es producida con fines de elaboración de bebidas envasadas gracias al sabor peculiar del agua ya que para consumirlo como fruta es poco atractivo teniendo en cuenta su tamaño, una de las ventajas más importantes es la cantidad de frutos. Finalmente, menciona la variedad hibrida la cual proviene del cruce de las variedades de enano y gigante, sus frutos son de un tamaño medianamente grande con un excelente sabor y un gran rendimiento en la producción de copra.

1.2.2 Clasificación y descripción botánica

- **Clase:** Monocotiledónea**.**
- **Orden:** Palmales
- **Familia:** Palmae
- **Subfamilia:** Cocowsideae
- **Género:** Cocos
- **Especie:** nucífera.

Raíz: El sistema radicular del cocotero es fasciculado. Las raíces primarias son las encargadas de la fijación de la planta y de la absorción de agua. Las terciarias (que se derivan de las secundarias) son las verdaderas extractoras de nutrientes. Las raíces activas se localizan en un radio de 2 metros del tronco, a una profundidad entre los 0.2 a 0.8

metros, dependiendo de la profundidad efectiva del suelo y de la profundidad del nivel freático.

Tallo: El tronco del cocotero es un espite no ramificado. En su extremo superior o ápice presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema terminal que posee la planta. La inflorescencia es la única ramificación del tallo. En ocasiones se presentan anomalías como las ramificaciones múltiples. Debido a que el tronco no posee tejido meristemático no engruesa, sin embargo, las variaciones en la disponibilidad de agua inducen cambios en el diámetro del tronco. El crecimiento en altura depende de las condiciones ecológicas y de la edad de la planta. También varía entre los diferentes tipos de cocoteros.

Hojas: La hoja del cocotero es de tipo pinnada y está formada por un pecíolo que casi circunda el tronco, continua un raquis del cual se desprenden de 200 a 300 folíolos. El largo de la hoja puede alcanzar los 6 metros y es menor al aumentar la edad de la planta. En condiciones ambientales favorables una planta adulta de cocotero gigante emite de 12 a 14 hojas por año, en cambio el enano puede emitir hasta 18 hojas en el mismo período. La copa presenta de 25 a 30 hojas (Santos Ferreira. 1998).

Inflorescencia: Posee inflorescencias paniculadas, axilares, protegidas por una bráctea llamada espata. La espata se desarrolla en 3 o 4 meses, después se abre y libera las espigas. Cada espiga posee flores masculinas en los dos tercios terminales y femeninas en el tercio basal. En los cocoteros gigantes las flores masculinas se abren antes que las femeninas estén receptivas, induciendo así la polinización cruzada. En el caso de los enanos la apertura es simultánea, por tanto, hay un porcentaje alto de autofecundación.

Fruto: El fruto es una drupa, formado por una epidermis lisa, un mesocarpio espeso (también conocido como estopa) del cual se extrae fibra. Más al interior se encuentra el endocarpio que es una capa fina y dura de color marrón llamada hueso o concha, envuelto por él se encuentra el albumen sólido o copra que forma una cavidad grande donde se aloja el albumen líquido, también conocido como agua de coco. El embrión se encuentra próximo a dos orificios del endocarpo, envuelto por el albumen sólido.

1.2.3 Importancia económica.

Respecto a la competitividad en la producción de coco en el mundo Flórez, Suarez y Vargas (2020) afirman que la crisis de producción de coco en el continente asiático puede ser vista como una oportunidad para la apertura en el mercado para los productores nacionales quienes han podido ver la fruta como un mercado con grandes promesas. Debido a esto han tomado la decisión de apostarle a la producción de coco y la formulación de proyectos novedosos que sirvan de impulso para el sector y la economía colombiana. En la actualidad Colombia posee las cualidades climáticas efectivas para la producción de coco.

Aunque la producción en Colombia no es tan importante como en los países vecinos, nuestro país ha demostrado un alto crecimiento en el que podemos destacar los aportes de la zona del pacifico y del caribe.

Aunque la demanda del coco está en constante crecimiento, hay algunas limitaciones en cuanto a su producción sustentable puesto que algunas enfermedades, plagas y situaciones adversas como la erosión costera, huracanes y sequias afectan la producción de este fruto. Las diferentes enfermedades son un reto para los productores, entre ellas se destacan el amarillamiento letal y la cadang-cadang. Skeete (2018).

Shahbandeh, M. (2019) establece que, aunque el coco es considerado un alimento básico en los hogares de las regiones del trópico, la mayor parte de los países del occidente consideran a este como un fruto exótico y los agricultores la definen como una drupa la cual es una fruta, una nuez y una semilla simultáneamente. En diversas culturas de Asia, el coco es considerado como una cura para diversas enfermedades como fiebre, erupciones cutáneas, mareo, entre otras. Los nutricionistas argumentan que el coco es fuente natural de electrolitos con altas cantidades de fibra, manganeso, potasio, ácido Láurico y fosforo.

Castillo (2007) diseñaron un estudio para la Reducción de la pobreza en las comunidades productoras de coco. Con este estudio lograron demostrar la importancia que tiene la producción de coco para el aumento de los ingresos de los productores y la utilización de las utilidades para la conservación de las variedades de la planta deseable por los agricultores e introducir nuevas con mejores características.

1.2.4 Manto freático.

Los términos nivel freático, aguas subterráneas y acuífero se utilizan para describir el agua contenida en el suelo y las rocas por debajo del nivel del terreno. Según IDC (2017) el nivel freático es el punto máximo de profundidad partiendo de la capa superficial del suelo en el que se encuentra las aguas subterráneas. Su característica principal se da por el valor de la presión del agua, siendo esta igual a la presión atmosférica; además, el nivel freático depende de la distribución de las capas de suelo y su composición.

La presencia de un nivel freático cercano a la superficie puede presentar un serio problema para la producción agrícola, pero en ciertos casos la puede favorecer. Es decir, puede ser positiva, por ejemplo, cuando el aporte de agua freática a los cultivos ayuda a suplir déficits en las precipitaciones (Florio et al., 2014), o negativa, cuando la escasa profundidad genera anegamiento y anoxia radical (Nosetto et al., 2009), o cuando favorece procesos de salinización (Lavado & Taboada, 1988). No obstante, las principales causas del aumento de los mantos freáticos son las altas precipitaciones, riego y escurrimiento subterráneo. De acuerdo con el balance hidrológico del subsuelo que supone el diseño de una red de drenaje, el estimador relevante de la recarga del manto es la acumulación de agua de lluvia

o riego en el perfil del suelo, obtenido como la diferencia entre la entrada y salida del agua. De este modo, interesan dichos flujos de agua en el perfil del suelo hasta la profundidad considerada de importancia para la futura explotación agrícola (Pizarro, 1985). El régimen de precipitación es el primer factor de recarga de la capa freática y la evaporación activa. Por esta razón, es necesario instalar una red de pozos de observación para obtener una representación de fluctuación media del nivel freático en su área de influencia, De Ridder (1978) plantea que la presentación de las lecturas del nivel freático con respecto al tiempo se denominan hidrogramas de pozos de observación, los cuales son importantes para evaluar las condiciones del agua subsuperficial y proporciona información referida a: a) la velocidad de ascenso y descenso del nivel del agua; b) la profundidad de la capa de agua por debajo de la superficie del terreno, lo cual revela períodos del año crítico; c) en combinación con los componentes del balance del agua (precipitación, riego, bombeo de pozos, evaporación, etc.), ayuda a comprender la causa de las variaciones de la capa de agua; d) hidrogramas que cubren varios años, indican la tendencia del comportamiento del agua subsuperficial. La distribución de una red de observación debe estar planificada en base, en una adecuada información topográfica, geológica, hidrológica y de suelos. No obstante, según De Ridder (1978), las medidas de nivel freático se deben realizar durante algunos años, incluyendo periodos secos y húmedos. La comparación de los hidrogramas de los pozos de observación permite distinguir diferentes grupos que muestran una respuesta similar al modelo de recarga y descarga de la zona.

El Nivel freático lo constituye la capa superior de las aguas subterráneas libres, que se encuentran a presión atmosférica (Pizarro, 1978). El nivel freático se alimenta de las precipitaciones, el riego y las fuentes de agua, las que ocasionan algunas veces la elevación de éste, llegando a la superficie; esto se conoce como nivel freático superficial. Un estudio freatimetrico tiene como fin determinar la extensión, magnitud y naturaleza de los problemas de drenaje interno, analizar el comportamiento de los flujos subterráneos (magnitud, dirección y sentido) y manejar los niveles freáticos (abatimiento o subirrigación).

Las mediciones se hacen a través de una red de pozos de observación de nivel freático (red freatimétrica), en los cuales se determina profundidad del nivel freático de cada pozo, cota del nivel freático e isoconcentraciones de sales, elementos o propiedades del suelo. Con estas mediciones se pueden construir gráficas o planos llamados hidrógrafas, que son representaciones del nivel freático en el espacio y en el tiempo. Se pueden hacer hidrógrafas de cualquier característica del nivel freático que sea susceptible de medir. Las hidrógrafas más importantes y que proporcionan información valiosa para manejar el nivel freático son:

Isóbatas: Son hidrógrafas que representan zonas o áreas de igual profundidad de nivel freático. Permiten establecer los períodos críticos de profundidad del nivel freático (PNF < 0.5 m) en el área de influencia de cada pozo (períodos críticos del cultivo). Con ellas se puede tener información sobre magnitud del problema de drenaje interno (fluctuaciones PNF: espacio - tiempo), riesgo de salinización de algunas aéreas de terreno y establecimiento de zonas de cultivo (Pizarro,1978).

Isohipsas: Representan líneas de nivel freático de igual cota. Mediante estas hidrógrafas; se puede establecer la dirección del flujo subterráneo, el cual es perpendicular a las isohipsas y va desde la de mayor potencial hasta la de menor potencial; la zona de carga *y* descarga del flujo subterráneo, la localización en el campo de los canales de drenaje interceptores del flujo y la estimación indirecta de la conductividad hidráulica del suelo (Pizarro, 1978).

Isoconcentraciones: son hidrógrafas que representan zonas o áreas de igual concentración de una propiedad o elemento del nivel freático del suelo. Sí la determinación es de sales, se construirá una hidrógrafa de isosalinidad, indicando la distribución de la sal en el espacio y el tiempo del área en estudio. De igual forma, se pueden hacer hidrógrafas de cualquier elemento del agua freática o propiedad, por ejemplo: Nitrógeno, hierro, magnesio, etc., o propiedad como. pH, M.O, Conductividad eléctrica, etc. (Pizarra, 1978).

1.2.5 Salinidad.

Es el resultado de procesos naturales y/o antrópicos presentes en todos los suelos que conducen en menor o mayor grado a una acumulación de sales, que pueden afectar la fertilidad del suelo (Flores et al, 1996). Manzano y otros autores (2014) define la salinidad como una condición de algunos suelos que limitan la producción agrícola ya que provocan que se vuelvan infértiles e improductivos, causando un problema de amplia afectación para la agricultura mundial, principalmente en las regiones áridas y semiáridas. Además, el autor afirma que existen métodos físicos, químicos y biológicos para la recuperación de los suelos afectados por sales, entre los que destacan la adición de abonos orgánicos que mejoran la estructura y permeabilidad del suelo, el uso de enmiendas químicas basadas en el empleo de sales cálcicas de alta solubilidad que intercambian el sodio por calcio y la aplicación de ácidos o sustancias formadoras de éstos.

Indicadores de salinidad: A partir del concepto anterior, se sugiere que los criterios de diagnóstico que se utilicen para la clasificación de los suelos afectados por salinidad se basen en un conjunto de parámetros, fundamentalmente en el análisis de la relación existente entre ellos; así como la valoración no solo del contenido total de iones; sino

también de todos los aspectos que en el agroecosistema provoquen afectaciones o deterioro significativo de la fertilidad de estos suelos. Al respecto, Bunning and Lane (2003), separan a los indicadores de degradación de las tierras a nivel local, del ecosistema y nacional. Por lo que también pueden interpretarse como locales, regionales y globales en dependencia de la escala en que sea utilizado cada indicador. Los indicadores químicos de salinidad de carácter global utilizados para la caracterización y el diagnóstico de la afectación por la salinidad son la CE, PSI (% Na+ intercambiable) y pH (Kochba et al., 2004**;** Mueller et al., 2004; Shukla et al., 2004), cuyos parámetros permiten separar a los suelos afectados por salinidad en 3 grupos:

Tabla 1. indicadores químicos de salinidad de carácter global

Clasificación	pH	CE	PSI	Proceso
Salinos	< 8.5	> 4	< 15	Salinización
Sódicos	> 8.5	< 4	> 15	Sodificación
Salino-sódicos	< 8.5	> 4	> 15	Salinización - Sodificación

Existen otros índices o indicadores auxiliares provenientes de los análisis físicos y químicos de las muestras de suelos, frecuentemente utilizados en dependencia de la finalidad de los estudios como Relación de Adsorción de Sodio (RAS), $aNa/(aCa)^{0.5}$, Ca/Na, Relación de Sodio Intercambiable (RSI), % de magnesio, % (Na+ + Mg+), potencial zeta, coeficiente de dispersión, estabilidad estructural, dilatación, densidad, curvas de retención de humedad, conductividad hidráulica, etc. (Ippolito et al., 2005; Levy et al., 2003; Medina et al., 2004; Phillip et al., 2004; Shukla et al., 2004; Tarchitzk and Chen, 2002).

1.3 ESTADO DEL ARTE

Durango, Mercado y Feria (2020) en un experimento de campo evaluaron los efecto del manto freático somero en el cultivo de Banano (*Musa AAA*) en la zona de Urabá en donde se concluyó que el mayor efecto adverso en la producción de Banano (*Musa AAA*) se presenta cuando el manto freático se encuentra a menos de 1,0 m en las etapas críticas comprendidas entre las semanas 16 a 26 desde el inicio de la floración, lo cual indica que es necesario abatir el nivel freático por debajo de esta profundidad para lograr buena producción.

Mercado. T., et al (2011) en un estudio realizado en la Doctrina y zonas aledañas del Departamento de Córdoba donde evaluaron Dinámica de sales en el distrito de riego

encontraron zonas con profundidad del nivel freático menor a 0,5 m y con salinidad mayor de 2 dS/m, con variación temporal y espacial de las sales detectadas a partir de los planos de salinidad analizados, lo cual representa un alto riego de salinidad para estos suelos. Se observó que las zonas salinas coinciden con las zonas de descarga del flujo freático. Las principales sales solubles presentes fueron el cloruro de sodio (*NaCl*) y el cloruro de magnesio (*MgCl*2), las cuales son de alta solubilidad y toxicidad para las plantas.

Carvalho de Sousa, C., et al (2011). En una investigación en Brasil, donde se evaluó el efecto de un sistema de drenaje subterráneo en la recuperación de un suelo salino-sódico en un área cultivada con coco (*Cocas nucífera* L). 35 días después de la instalación, la circunferencia del tallo, la altura de la planta; número de hojas vivas; número de hojas emitidas, longitud de la hoja 3, longitud del pecíolo en la hoja 3. Una segunda evaluación realizada ocho meses después de la primera. Plantas que, a la primera observación, alcanzaron una altura promedio de 149 cm, midieron hasta 272 cm, un aumento de alrededor del 80%, mientras que las plantas que quedaron fuera del área aumentaron alrededor del 50%. Al final, se concluye que la instalación del sistema de drenaje proporcionó un mejor flujo del exceso de agua de la zona y, en consecuencia, proporcionó el mejor desarrollo de las plantas de coco.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar los efectos de la fluctuación del nivel freático en etapas tempranas del cultivo de cocotero (*Cocos nucífera* L).

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la dinámica del nivel freático en periodos secos y lluviosos, y su efecto en etapas tempranas del cultivo de cocotero.

- Determinar la salinidad de los mantos freáticos y su efecto sobre el cultivo de *Cocos nucífera* L.

1.5 REFERENCIAS

Bunning, S. and Lane, A. (2003): Proposed framework for indicators of biodiversity, land and socio-economic condition. En: Extract of a paper on Selection and Use of Indicators and Methods for Assessing Biodiversity and Land Condition conducted as part of a Stocktaking of Biodiversity Issues in the Context of the Land Degradation Assessment of Drylands (LADA), 11 pp.

Bustamante, H. (1993). *Drenaje de tierras agrícolas y sus aplicaciones*. Medellín, Colombia: Ediciones Universidad Nacional de Colombia.

Carlos Henrique Carvalho de Sousa; Francisco Leandro Barbosa da Silva; Claudivan Feitosa de Lacerda; Raimundo Nonato Távora Costa; Hans Raj Gheyi. (2011) Instalação de um sistema de drenagem subterrânea em um solo salino-sódico cultivado com coco em pentecoste - ceará - DOI: 10.7127/RBAI.V5N100041. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada – RBAI ISSN: 1982-7679

Carrica. J, y Lexow. C. 2004. Evaluación de la recarga natural al acuífero freático de la cuenca superior del A° Napostá Grande, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina Buenos Aires.

Castillo Andrés (2019). Disminuir el impacto del deterioro al medio natural mediante la implementación de medidas y acciones en los cultivos de coco nucífera que conduzcan a las prácticas agronómica a favor y protección del medio ambiente en la vereda imbìlpi del Carmen, municipio de Tumaco – Nariño. UNAD. Tumaco – Colombia.

Castillo G. R. A. (2007). Overcoming Poverty Reduction in Coconut Growing Communities: Coconut Genetic Resources for Livelihoods in Mexico. Report January-May 2007 presented in Poverty Reduction in Coconut-Growing Communities 3rd Annual Project Meeting, Hainan, China.

Child, r. 1974. Coconuts Tropical Agriculture. Series. 2a Ed. Pp 335

Cueto Jorge (2016). Historia del cocotero (Cocos nucífera L.) en Cuba: su origen en la región de Baracoa. Instituto de investigación en fruticultura Tropical.

De Ridder, N. A. 1978. Estudios del agua subsuperficial. *In*: principios y aplicaciones del drenaje. internationalinstitute for land reclamation and improvement. Wageningen, The Netherlands. 3:170-181.

Durango, J., Mercado, T., Feria, J. 2020. Efecto del manto freático somero en el cultivo de banano (*Musa AAA*) en la zona de Urabá, Colombia. *Espacio*. *41* (32). Pp 93-97.

Flores, A., Galvez, V., Hernandez, O., López, G., Obregon, A., Orellana, R., Otero, L. Y Valdez, M. (1996): Salinidad un nuevo concepto. Edit Colima, México; 137 pp.

Flórez, L., Suarez, D. y Vargas, L. (2020). Estrategias de fortalecimiento en la cadena de valor de los productores agrícolas de coco en Tumaco. Universidad de La Salle. Bogotá Colombia.

Florio, EL; JL Mercau; EG Jobbágy & MD Nosetto. 2014. Interactive effects of water-table depth, rainfall variation, and sowing date on production in the Western Pampas. Agric. Water Manage.146: Pp 75-83.

Guppy, H. 1906. Observations of Naturalist in the Pacific Between 1896 – 1899. London, Macmillan.

IDC. Nivel Freático Del Suelo. En: Ingeniería de caminos. [en línea]. 2017. [Consultado: 01 de octubre de 2021]. Disponible en: https://ingeniero-de-caminos.com/nivel-freatico/

Ippolito, J. A., Redent, E. F. and Barbarick, K. A. (2005): Amendment effects on pH and salt content of bauxite residue. Soil Science. 170 (10): 832 - 841.

Kochba, M., Ritvo, G. And Avnimelech Y. (2004): The effect of municipal solid waste compost (msw) on the replacement of sodium in sodic soil models. Soil Science. 169(8):567-572.

Lavado, RS & MA Taboada. 1988. Water, salt and sodium dynamics in a natraquoll in argentina. CATENA 15: pp 577-594.

Levy, G. J., Mamedov, A. I. and Goldstein, D. (2003): Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils 1. Soil Science. 168(8):552-562.

Manzano Juana, Rivera Patricio, Briones Florencio y Zamora Carlos (2014). Rehabilitación de los suelos Salino-Sodicos: Estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, Mexico. Centro Universitario Adolfo López Mateos.

Medina, A., Vassilev, N., Alguacil, M. M., Roldán, A. and Azcón, R. (2004): Increased plant growth, nutrient uptake, and soil enzymatic activities in a desertified mediterranean soil amended with treated residues and inoculated with native mycorrhizal fungi and a plant growth-promoting yeast. Soil Science.169 (4): 260– 270.

Mueller, T. G., Mijatovic, B., Sears, B. G., Pusuluri, N. and Stombaugh, T. S. (2004): *S*oil electrical conductivity map quality. Soil Science. 169(12):841-851.

Musalem Omar (1991). La copra, su importancia y Comercialización en México. Editorial Abriendo Surcos.

Naturland (2020). Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico, guía para el cultivo de coco.

Nosetto, MD; EG Jobbágy; RB Jackson & G Sznaider. 2009. Reciprocal influence between crops and shallow ground water in Sandy landscapes of the Inland Pampas. Field Crop Res 113: 138-148.

Phillip, A., Ward, I. and Carter, B. J. (2004): Dispersion of saline and non-saline natric mollisols and alfisols. Soil Science. 169(8):554-566.

Pizarro, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola de España S.A. Madrid-España. ISBN 84-85441-00-1

Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola Española. 2a. edición. Madrid, España. 542 p.

Purseglove, J. 1968.The Origin and Distribution of the Coconut. Trop. Sci. vol. 10. Pág. 109 – 160.

Shahbandeh, M. (2019). • Coconut production worldwide 2017 | Statista. Recuperado November 21, 2019, de 2019 Pagina web: https://www.statista.com/statistics/577497/world-coconut-production/

Shukla, M. K., Lal, R. and Ebinger, M. (2004): *S*oil quality indicators for the north appalachian experimental watersheds in coshocton ohio. Soil Science. 169(3):195-205.

Skeete Onalesa (2018). Establecimiento de protocolos para el intercambio de germoplasma de cocotero resistente al amarillamiento letal en América Latina Y Del Caribe. Centro de Investigación científica de Yucatan. Merida – Mexico.

Tanji, KK (1990). Evaluación y manejo de la salinidad agrícola . Editores científicos.

Tarchitzky, J. and Chen, Y. (2002): Polysaccharides and pH effects on sodium-montmorillonite: flocculation, dispersion, and rheological properties. Soil Science. 167(12):791-801.

Teobaldis Mercado Fernández; Manuel Ortega Escobar; Abrahan Arenas Tawil; Enrique Combatt Caballero (2011), Salt dinamics in the irrigation district of La Doctrina, Colombia. IDESIA (Chile) Enero-abril, 201. Volumen 29, Nº 1. Páginas 83-90

Tomalá Wilson (2015). Estudio de factibilidad para diez hectáreas de cultivo de coco (cocos nucífera) en la comuna Valdivia, península de Santa Elena. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

CAPÍTULO II

2 DINÁMICA DEL NIVEL FREÁTICO EN PERIODOS SECOS Y LLUVIOSOS, Y SU EFECTO EN ETAPAS TEMPRANAS DEL CULTIVO DE COCO (*Coco Nucífera L*).

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar los efectos de la fluctuación de los niveles freáticos en el cultivo de coco (*Cocos Nucífera* L). Esta investigación se llevó a cabo en el Occidente del Departamento de Cordoba en la ciudad de Monteria vía las palomas a 7 km de la capital cordobesa, en la empresa Amanatura S.A.S (Finca Francia), que se encuentran ubicadas en las coordenadas 8°46'04.8" latitud norte, y 75°56'43.3 longitud oeste, la cual cuenta con area de 136 hectáreas y un area efectiva de siembra de 120 hectáreas del cultivo coco (*Cocos nucífera* L.), con temperatura promedio de 28°C, 80% de humedad relativa, 1.200 mm de precipitación y brillo solar de 2.108,2 h año-1(Palencia et al., 2006). La investigación se llevó a cabo en los periodos de los semestres B y A de 2020-2021, en donde se estudió la fluctuación del nivel freático en el cultivo de Coco de los genotipos Alto Caribe x Enano Malayo, con plantas entre 2 y 3.6 años. La densidad de siembra por hectárea fue 115 plantas, para un total de 13.800 plantas, bajo un sistema de siembra tres bolillos y sistema de riego por aspersión. La finca contaba con una división de 3 bloques cada uno con áreas diferentes, Bloque 1 (60 Has), Bloque 2 (40 Has) y bloque 3 (20 Has). Para la realización de este trabajo se localizaron y construyeron 36 pozos de observación, formando una red freatimétrica, con el fin de monitorear el comportamiento de los mantos freáticos en la "Finca Francia", se realizaron mediciones semanales (cada viernes) durante 12 meses, con el fin de incluir periodos secos y lluviosos. Con la a información obtenida y usando interpolación por el método del Krigeado con ayuda del software SURFER se elaboraron planos de isobatas, isohipsa, isovalores de pH, conductividad eléctrica (CE), cationes solubles (calcio, magnesio, sodio y potasio), aniones solubles (cloruros, sulfatos y bicarbonatos), índices hidrogeoquímicos (Mg/Ca, K/Na, Cl/HCO_3, Cl – (Na + Ca))/Cl) y RAS. Con los resultados obtenidos se determinó que la principal fuente de recarga de los mantos freáticos fue las precipitaciones, mostrando una relación directa en el aumento de estos en las zonas críticas de la finca, la dirección del flujo subterráneo en los periodos analizados es de Oeste hacia el Este del área de estudio, es decir, de los bloques 2 y 3 hacia bloques 1, las plantas que se encontraron en las zonas con problemas de niveles freáticos críticos presentaron pudrición de raíces y poca exploración en el perfil del suelo, presentando un crecimiento retardado en el desarrollo de

tallo y hojas. Por otro lado, las principales sales que predominan en las aguas freáticas de la "Finca Francia son, cloruro de sodio, cloruro de magnesio y en menor proporción bicarbonato de sodio, sulfato de sodio; con predominio de Salinidad tipo clorhídrica-sulfática, Sulfática-Clorhídrica y clorhídrica, la tendencia general en los Planos de isovalores de Ph, iso conductividad eléctrica, iso magnesio, iso carbonatos, iso bicarbonatos, iso cloruros, iso sulfatos, relaciones iónicas y RAS; es que el aumento de los valores de las isolineas se presenta en la dirección del flujo subterráneos en área de estudio.

Palabras claves: Red freatimétrica, isobatas, isohipsas, nivel freático, flujo subterráneo, *Cocos nucífera* L.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effects of water table fluctuation on coconut (Cocos Nucífera L) cultivation. This research was carried out in the west of the Department of Cordoba in the city of Monteria via Las Palomas, 7 km from the capital of Cordoba, in the company Amanatura S.A.S. (Finca Francia), located at coordinates 8°46'04.8" north latitude and 75°56'43. 3 west longitude, which has an area of 136 hectares and an effective planting area of 120 hectares of coconut crop (Cocos nucífera L.), with an average temperature of 28°C, 80% relative humidity, 1,200 mm of precipitation and sunshine of 2,108.2 h year-1(Palencia et al., 2006). The research was carried out in the periods of semesters B and A of 2020-2021, where the fluctuation of the water table was studied in the cultivation of coconut of the Alto Caribe x Enano Malayo genotypes, with plants between 2 and 3.6 years old. The planting density per hectare was 115 plants, for a total of 13,800 plants, under a three-roller planting system and sprinkler irrigation system. The farm was divided into 3 blocks, each with different areas, Block 1 (60 hectares), Block 2 (40 hectares) and Block 3 (20 hectares). For this work, 36 observation wells were located and constructed, forming a phreatimetric network, in order to monitor the behavior of the phreatic mantles in "Finca Francia", measurements were taken weekly (every Friday) during 12 months, in order to include dry and rainy periods. With the information obtained and using interpolation by the Krigeado method with the help of SURFER software, isobaths, isohypes, isovalues of pH, electrical conductivity (EC), soluble cations (calcium, magnesium, sodium and potassium), soluble anions (chlorides, sulfates and bicarbonates), hydrogeochemical indexes (Mg/Ca, K/Na, Cl/HCO3, Cl - (Na + Ca))/Cl) and RAS were elaborated. With the results obtained it was determined that the main source of groundwater recharge was rainfall, showing a direct relationship in the increase of these in the critical areas of the farm, the direction of groundwater flow in the analyzed periods is from west to east of the study area, that is, from blocks 2 and 3 to blocks 1, the plants that were found in areas with critical groundwater level problems presented root rot and little exploration in the soil profile, presenting a delayed growth in the development of stem and leaves. On the other hand, the main salts that predominate in the phreatic waters of "Finca Francia" are sodium chloride, magnesium chloride and, to a lesser extent, sodium bicarbonate and sodium sulfate; with a predominance of chloride-sulfate, sulfate-chloride-chloride and chloride-type salinity, the general trend in the Ph isovalues, iso electrical conductivity, iso magnesium, iso carbonates, iso bicarbonates, iso chlorides, iso sulfates, ionic ratios and RAS is that the increase in the values of the isolines is presented in the direction of groundwater flow in the study area.

Key words: Phreatimetric network, isobaths, isohypes, water table, groundwater flow, Cocos nucífera L.

2.1 INTRODUCCIÓN

La palma de coco (*Cocos nucífera* L.) pertenece al orden Arecales de la familia Arecaceae o Palmae (USDA 2016). Dentro de esta especie se distinguen dos grupos principales, las palmas de porte alto comúnmente llamadas variedad típica y las palmas de bajo porte, o enanas como se les llama generalmente. Es una especie diploide con 32 cromosomas (2n=32) y con hibridación intraespecífica (Santos et al., 2006). La variedad típica puede encontrarse a lo largo de la costa y en el interior de casi todos los países tropicales, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, donde representa un importante componente de subsistencia diaria de millones de familias que se dedican a su cultivo (Ohler, 1999).

"Al cocotero le gusta poner los pies en el agua y la cabeza en el sol" es un dicho que caracteriza muy bien las exigencias más importantes de emplazamiento de esta planta. La planta necesita una irrigación continua, asegurada por precipitaciones de 2000 mm aproximadamente o por capas freáticas a 1 - 3 m de profundidad. Por otro lado, no soporta aguas retenidas. Ideal para su desarrollo son las temperaturas con una media entre 26ºC y 27º C . Por sus exigencias de temperatura el cocotero no puede crecer en alturas por encima de los 750 m, ni siquiera en regiones cercanas a la línea ecuatorial. Un buen grado de cloro en el suelo favorece su crecimiento. El cocotero tolera hasta 1% de salitre en el suelo. Estas condiciones se dan sobre todo en regiones tropicales o subtropicales costeras con bajas precipitaciones. Puede crecer también en regiones interiores, en zonas bajas con tierras libres de retención de aguas; un bajo contenido de cloro en estos suelos, sin embargo, puede surtir efectos negativos. Este criterio tiene que ser considerado en la elección de su emplazamiento. El cocotero, según su emplazamiento, es adecuado para su cultivo en sistemas agroforestales. Como es una planta de alto crecimiento, con la correspondiente necesidad de luz, está por encima p.ej. de cítricos, cacao y otras plantas de cultivo(Asociación Naturland, 2000).

El estado de humedad del suelo y el movimiento del agua dentro del perfil del suelo están estrechamente relacionados con las condiciones del nivel freático. De esta manera, entre los eventos de precipitación, el contenido de humedad del suelo tendrá un máximo valor en un estado de equilibrio hidrostático, el cual es determinado por las características físicas del suelo y la profundidad del nivel freático (Feddes *et al*., 1975). El agua controla la mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos en la superficie del suelo, tanto en la zona de raíces, como en la zona saturada (Ripl, 1995). El agua en el suelo está sometida a dos tipos de fuerzas de acciones opuestas. Por un lado, las fuerzas de succión tienden a retener el agua en los poros, mientras que la fuerza de la gravedad tiende a desplazarla entre los horizontes diagnósticos del suelo, a través de los macroporos especialmente (Campbell, 1988), de manera que si predominan las fuerzas de succión el agua queda retenida en el

suelo, mientras que, si la fuerza de la gravedad es más intensa, el agua se mueve hacia el nivel freático y horizontalmente hacia las fuentes de quebradas o ríos. Este movimiento se origina por las diferencias en el potencial del agua entre diferentes puntos del suelo, de tal manera que el agua en el suelo se mueve desde un estado de mayor energía hacia un estado de menor energía, buscando un estado de equilibrio que elimine el gradiente de potencial existente (Feddes *et al*., 1975).

Las fluctuaciones del nivel freático son determinadas fundamentalmente por el resultado del balance hídrico, donde balances positivos generan eventos de recarga y ascensos de nivel, y balances negativos se asocian a procesos de descarga y descensos del nivel freático (Freezem & Cherry, 1979). A su vez, los principales controles del balance hídrico son las condiciones climáticas, la topografía, el tipo de vegetación y su manejo agrícola y las obras hidráulicas como por ejemplo el drenaje (Dingman, 1993).

La topografía también juega un rol clave a escala local determinando la distancia desde la superficie del suelo al nivel freático (i.e. profundidad freática) y con esto las posibilidades de recarga y descarga freática. En las posiciones topográficas bajas la menor profundidad freática aumenta las tasas de descarga directa por parte de los cultivos en comparación con lomas (Nosetto et al., 2009), como así también las posibilidades de recarga debido al menor espesor de la zona no saturada (Nosetto et al., 2013). A través de la magnitud y largo de las pendientes, la topografía también ejerce influencia sobre los niveles de escurrimiento superficial y la consecuente redistribución superficial de agua en el paisaje. El tipo de vegetación y el manejo al que se somete la misma afecta fuertemente la capacidad transpirativa y la profundidad de raíces y con esto las posibilidades de descarga y recarga freática (Kim & Jackson, 2012; Nosetto et al., 2015).

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en la finca Francia, de la empresa Amanatura S.A.S, salida a Monteria-vía las palomas en el departamento de Córdoba (Colombia), con un área de 136 hectárea y un área efectiva de siembra de 120 Has, a 13 msnm, con coordenadas 8°46'04.8”N y 75°56'43.3”W, con temperatura promedio de 28°C, 80% de humedad relativa, precipitaciones de 1131 mm (2021) y 1201 mm (2020) y brillo solar de 2.108,2 h año-1 (Palencia et al., 2006). La investigación se llevó a cabo en los periodos de los semestres B y A de 2020-2021, en donde se estudió la fluctuación del nivel freático en el

cultivo de Cocotero de los genotipos Alto Caribe x Enano Malayo, con plantas entre 2 y 3.6 años. La densidad de siembra por hectárea fue 115 plantas, para un total de 13.800 plantas, bajo un sistema de siembra tres bolillos. La finca contaba con una división de 3 bloques cada uno con áreas diferentes, Bloque 1 (60 Has), Bloque 2 (40 Has) y bloque 3 (20 Has). A continuación, se ilustra el plano de la finca, así como también el diseño de drenaje para el cultivo de coco (**Figura 1 y 2**).

Figura 1. Localización del área de estudio (Finca Francia), Monteria-Cordoba.

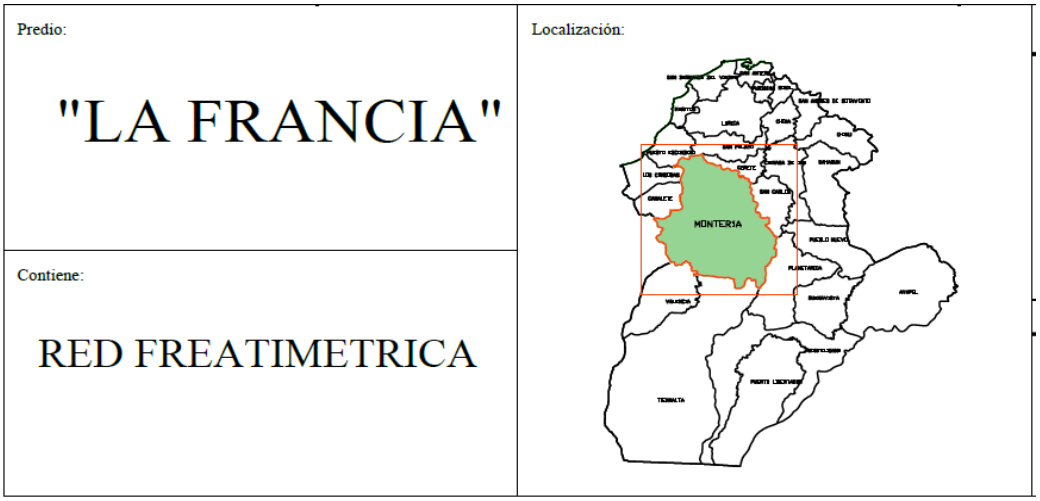
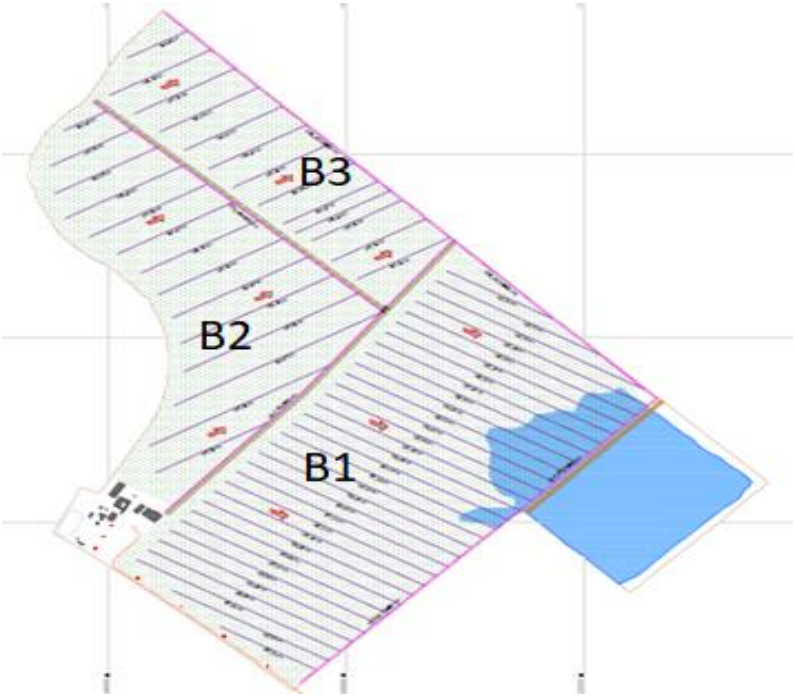


Figura 2. Red de drenaje y división de bloques finca Francia, Monteria-Cordoba.



2.2.2 Selección del material vegetal.

La finca cuenta con los genotipos Alto, Enano e Hibrido, con edades entre 2-3.6 años, con las siguientes características de acuerdo con su coloración, no obstante, esta coloración estaba distribuida en los 3 genotipos con coloración diferente.

- Verde-verde: 22%
- Amarillo: 1 %
- Bronceado: 77%

2.2.3 Sistema de riego

El cultivo cuenta con la implementación de un sistema de riego por aspersión, con el cual se aplican las láminas de agua de 5 mm de acuerdo con los requerimientos hídricos necesarios para el crecimiento óptimo del cultivo. La aplicación del riego está distribuida en 4 turnos, los cuales se distribuyen en diferentes puntos de la finca por válvulas de colores (Verde, Amarilla, Rojo, Azul),en donde cada válvula cuenta con un promedio de 80-100 aspersores en funcionamiento. El sistema de riego funciona por medio de una bomba instalada orilla del rio Sinú en otra finca pertenecientes a los mismos propietarios (Berlín), la cual tiene una potencia de 200 Hp y un caudal de 120 L/seg. La línea de conducción está compuesta por tubería PVC biaxial de 12 pulgadas, con una distancia de 4.5 km de finca a finca, que luego se distribuye por cada bloque con dimensiones de 12,8,4,2,¾,½ pulgadas, como se muestra en la **figura 3**.

Figura 3. Diseño del sistema de riego, Finca Francia, Monteria-Cordoba.

2.2.4 Tipo de investigación.

La investigación se centró en un estudio observacional cuyo objetivo fue "la observación y registro" de la fluctuación de los niveles freáticos sin intervenir en el curso natural de estos. Las mediciones se realizaron durante los periodos seco y lluvioso de los años 2020-2021. Estas mediaciones se realizaron semanales (cada viernes), en los que se realizaban lecturas del agua subterránea de cada pozo.

2.3 Variables

2.3.1 Variables independientes

Se evaluaron 25 pozos inicialmente desde el 30 de julio hasta el 13 noviembre 2020, luego de esa fecha se instalaron 6 pozos más, cercanos al caño la caimanera con el fin de monitorear la influencia de este en el aumento de los niveles freáticos en el cultivo de coco. A partir, del 18 de diciembre se aumenta la cantidad de pozos con 5 más, para un total de 36 pozos de observación aplicados al cultivo de cocotero (*Cocos nucífera* L*)* de los genotipos alto, enano e hibrido, durante los 12 meses, bajo el sistema de riego por aspersión como se observa en la **figura 4.**

Figura 4. Ubicación de pozos de observación, Finca Francia, Monteria-Cordoba.

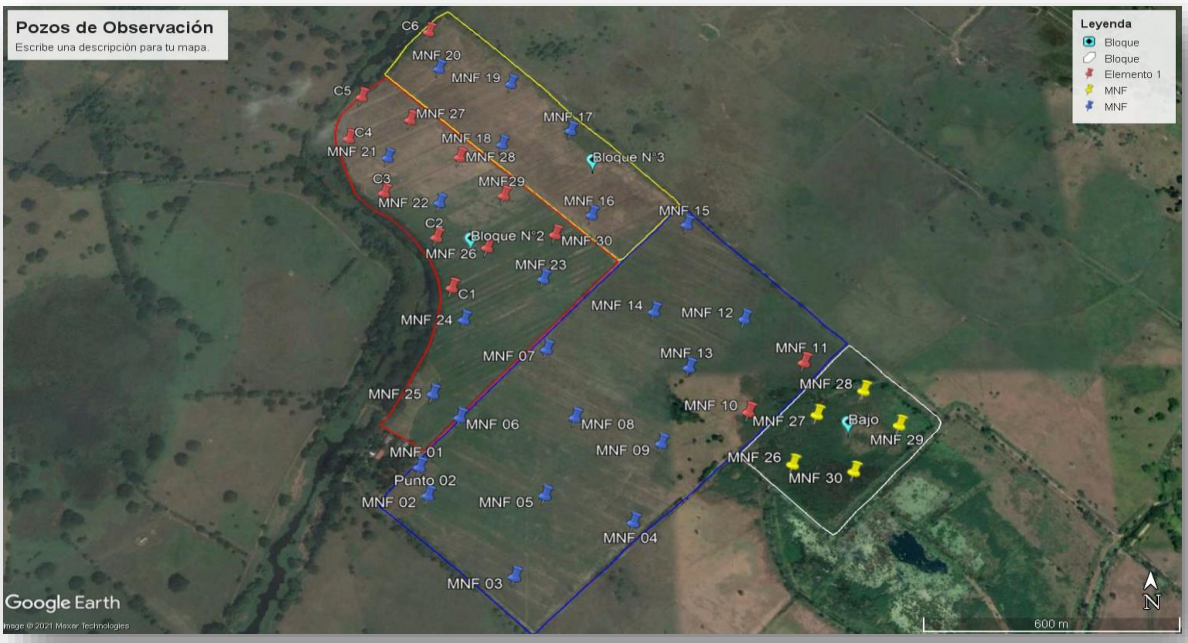


Tabla 2. localización de los pozos de observación, Finca Francia, Monteria-Cordoba.

Bloque	Freatrimetro	Latitud	Longitud
1	MNF 01	8° 46' 1.73"	75° 56' 42.57"
1	MNF 02	8° 45' 59.26"	75° 56' 41.81"
1	MNF 03	8° 45' 52.34"	75° 56' 34.88"
1	MNF 04	8° 45' 56.91"	75° 56' 25.69"
1	MNF 05	8° 45' 59.26"	75° 56' 32.61"
1	MNF 06	8° 46' 6.14"	75° 56' 39.51"
1	MNF 07	8° 46' 12.42"	75° 56' 32.63"
1	MNF 08	8° 46' 6.14"	75° 56' 30.28"
1	MNF 09	8° 46' 3.83"	75° 56' 23.4"
1	MNF 10	8° 46' 6.67"	75° 56' 16.31"
1	MNF 11	8° 46' 13.59"	75° 56' 10.17"
1	MNF 12	8° 46' 15.3"	75° 56' 16.37"
1	MNF 13	8° 46' 10.73"	75° 56' 21.03"
1	MNF 14	8° 46' 16.0"	75° 56' 23.79"
1	MNF 15	8° 46' 24.49"	75° 56' 20.92"
3	MNF 16	8° 46' 25.48"	75° 56' 28.95"

3	MNF 17	8° 46' 34.13"	75° 56' 30.77"
3	MNF 18	8° 46' 32.7"	75° 56' 36.69"
3	MNF 19	8° 46' 39.12"	75° 56' 36.03"
3	MNF 20	8° 46' 40.78"	75° 56' 42.4"
2	MNF 21	8° 46' 31.31"	75° 56' 46.47"
2	MNF 22	8° 46' 26.68"	75° 56' 41.84"
2	MNF 23	8° 46' 19.15"	75° 56' 32.96"
2	MNF 24	8° 46' 15.19"	75° 56' 39.43"
2	MNF 25	8° 46' 8.29"	75° 56' 41.74"
2	MNF 26	8° 46' 22.23"	75° 56' 37.68"
2	MNF 27	8° 46' 35.3"	75° 56' 44.68"
2	MNF 28	8° 46' 31.39"	75° 56' 40.27"
2	MNF 29	8° 46' 27.44"	75° 56' 36.39"
2	MNF 30	8° 46' 23.53"	75° 56' 31.99"
2	MNF C1	8°46' 18.29"	75°56' 40.51"
2	MNF C2	8°46' 23.23"	75°56' 41.96"
2	MNF C3	8°46'27.70"	75°56'46.58"
2	MNF C4	8°46'33.33"	75°56'49.91"
2	MNF C5	8°46'37.73"	75°56'49.03"
3	MNF C6	8°46'44.83"	75°56'43.41"

2.3.2 Variables dependientes y/o de repuestas

Se midieron las siguientes variables:

- Profundidad y cota del nivel freático semanalmente durante 12 meses.
- Estado de la plantación mensualmente (síntomas de deficiencia, de mal drenaje, enfermedades, plagas).

Con la información de profundidad y cotas de nivel freático se elaboraron planos de isobatas e isohipsas, mediante interpolación con Krigeado simple, con el uso del programa Surfer. El análisis de estos mapas permitió establecer zonas con problemas de drenaje interno, zonas de carga, zonas de descarga y dirección del flujo subterráneo.

2.3.3 Variables morfológicas

Las mediciones de las variables morfológicas se realizaron dentro de un radio de 12,62 metros de cada pozo de observación, en cada uno de los 36 pozos, con un promedio de 4 plantas por freatrimetro, para un total de 144 plantas en los 36 pozos correspondiente al 1% de muestreo de la plantación total. Las variables se midieron de forma mensual desde marzo a julio 2021, tomando registro de las siguientes variables:

- Numero de hojas
- Diámetro del tallo (cm)
- Distancia de las raíces, vertical y horizontal (cm)
- Ancho de los foliolos (cm) hoja intermedia
- Largo de los foliolos (cm) hoja intermedia

2.4 Trabajo de campo y laboratorio

La investigación se llevó a cabo bajo el estudio de 36 pozos de observación del nivel freático en el cultivo de cocotero en condiciones normales de campo, distribuidos en diferentes coordenadas del lote (120 hectáreas). Los pozos de observación se instalaron a 2 m de profundidad, construidos con barreno de 4". Se utilizaron tubos de PVC de 2" con longitud de 2,5 m, de los cuales 0,5 m quedan expuestos sobre la superficie del terreno para su fijación con concreto. Todos los pozos de observación se localizaron en un plano topográfico y se le asignaron números para su identificación. En cada pozo se tomaron lecturas semanales de profundidad y cota del nivel freático durante 12 meses, de tal manera que se incluyeran períodos secos y lluviosos. En la **figura 5** y **tabla 3** se muestra la localización del área de estudio y de los sitios de muestreos. Para la medición de la profundidad del manto freático se utilizó una cinta métrica de 5 m. La cota de nivel freático se obtuvo con 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 la estación topográfica de la empresa.

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

2.5 Análisis estadístico de la información

Los datos obtenidos de las medidas directas de todas las variables dependientes se ordenaron, tabularon y archivaron electrónicamente en una hoja de cálculo (Excel) para luego realizar los análisis de varianzas y pruebas de significancia utilizando el software Surfer.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

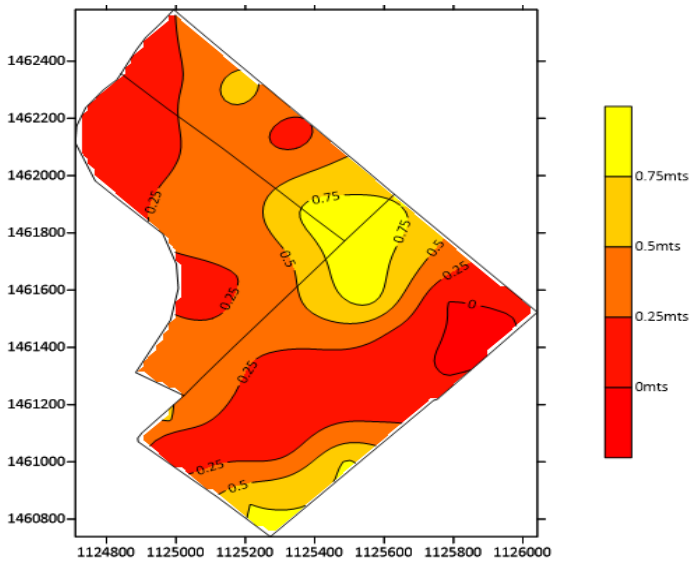
Planos de isobatas:

La fluctuación de los mantos freáticos está estrechamente relacionada con las altas precipitaciones, aplicación de altas dosis de riego e influencia de ríos o caños cercano a las

zonas de estudio. En este caso la principal fuente de recarga de los niveles freáticos en la finca Francia son los altos eventos de lluvia. A partir de los mapas isobatas, se evidenciaron situaciones diferentes en la fluctuación de los mantos freáticos en cada bloque, presentándose zonas con profundidad del manto freático entre 0 - 0.5 y 0.5 - 0.75, con valores de 83% y 9.33% respectivamente del área total (120 Has). Estas áreas críticas se presentaron el 05 de agosto 2020, las cuales pueden ocasionar problemas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de cocotero por su limitación en la exploración de raíces y por la posible salinización de los horizontes superficiales debido a la evaporación de las aguas freáticas salina.

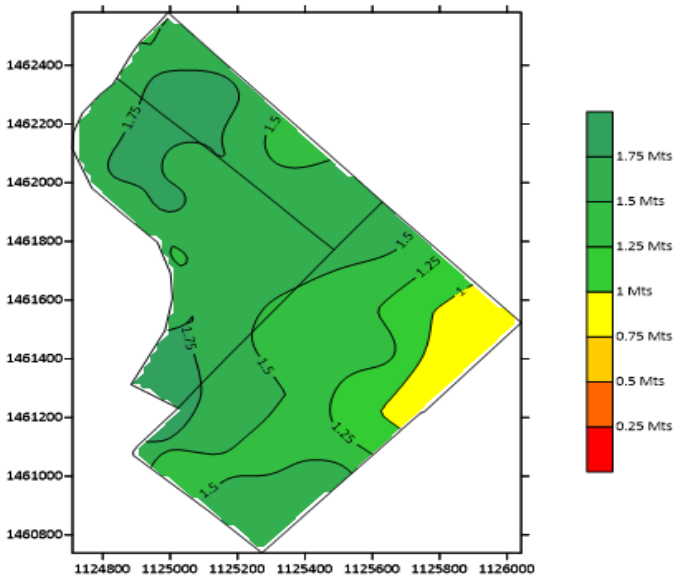
Las áreas de mayor intensidad de este proceso se focalizaron en los lotes 4 del bloque 1, con niveles freáticos de 0.1 m de profundidad, zona que corresponde al area de menor cota del área de estudio **figura 6**. El aumento de los niveles freáticos está estrechamente relacionado con las precipitaciones registradas los 2 días anteriores, las cuales fueron de 28 y 41 mm respectivamente para un acumulado de 69 mm, más otro evento de lluvia de 3 mm registrado el ese mismo día (05 agosto 2020). Como consecuencia de las altas precipitaciones, estas presentan una relación directa con el aumento de los niveles freáticos cercanos a la superficie, afectando el crecimiento y exploración de las raíces en el perfil del suelo del cultivo de coco, lo que se ve reflejado en el atrofiamiento de las plantas que se encuentran en estas zonas críticas.

Figura 5. Mapa isobata Finca Francia 05 de agosto 2020, Monteria-Cordoba.



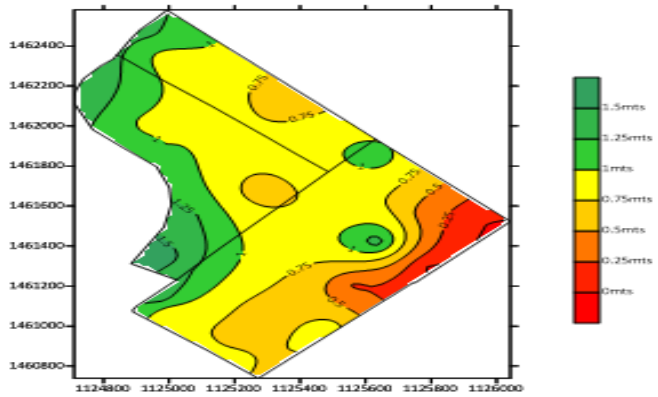
Por otro lado, en época seca se presentó un comportamiento diferente comparado con la época de lluvia, donde los niveles freáticos descendieron mostrando mayores áreas con mantos freáticos profundos y muy profundo, estas fluctuaciones variaron entre profundidades de 0 - 0.5, 0.5 - 0.75,0.75 - 1,1.1.5 y >1.5 m, ocupando un area de 0.20, 3.66, 5.44, 16.17 y 94.56 Has respectivamente, con valores de 0.2%, 3.1%, 4.5%, 13.5% y 78.8 % con base al area total. Este comportamiento tuvo lugar el 02 abril 2021, con una acumulación de lluvia de 18.5 mm durante esa semana (inicios de lluvia). La zona más crítica corresponde a la zona baja de la finca, con area mínima de niveles freáticos de moderante profundo (0.75-1 m), como se observa en la **figura 7**.

Figura 6. Mapa isobata Finca Francia, 02 abril 2021, Monteria-Cordoba.



En otro panorama intermedio de época seca y lluviosa, tuvo un comportamiento con tendencia a niveles freáticos moderadamente profundo (0.5-0.75 m) con valores de 46.4 % del area total, que corresponde a 55.7 Has de la finca. Mientras que en el resto del área los niveles freáticos fluctuaron entre 0-0.5, 0.75-1 y 1-1.5 con valores de 10%, 17.5%, 24.8% y 1.2% respectivamente, con áreas de 12, 21, 29.8 y 1.5 Has, como se puede observar en la **figura 8**. Este comportamiento se presentó el 11 noviembre 2020, donde en la semana se había aplicado una lámina de agua acumulada de 30 mm por medio del sistema de riego.

Figura 7. Plano isobata Finca Francia, 11 noviembre 2020, Monteria-Cordoba.



Plano de isohipsas: Durante los 12 meses se pudo determinar que la tendencia de la dirección del flujo subterráneo en los periodos analizados es de Oeste hacia el Este del área de estudio, es decir del bloques 2 y 3 al bloque 1 ; como se evidencia en la **figura 9**, donde se observa la localización de las zonas de carga, descarga y dirección del flujo subterráneo a través de la configuración tridimensional de las cotas de los niveles freáticos en el área de estudio en las fechas de muestreo **figura 10**. Esto genera el transporte de sales desde la zona de carga hasta la zona de zona de descarga del agua subterránea, lo que concuerda con la investigación de (Mercado et al 2011) en el Distrito de Riego de La Doctrina, Colombia, donde se encontró que el transporte de sales ocurre en la dirección de la capa freática y es responsable de la salinización progresiva del suelo.

Figura 8. Mapa isohipsa Finca Francia 27 noviembre 2020, Monteria-Cordoba.

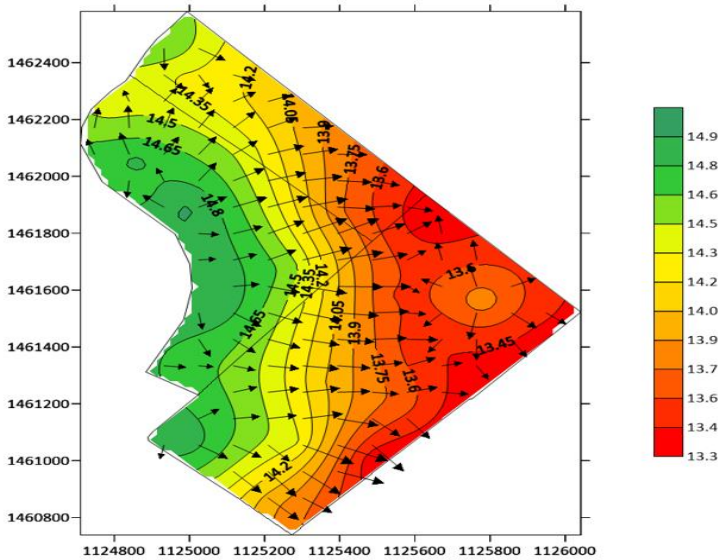
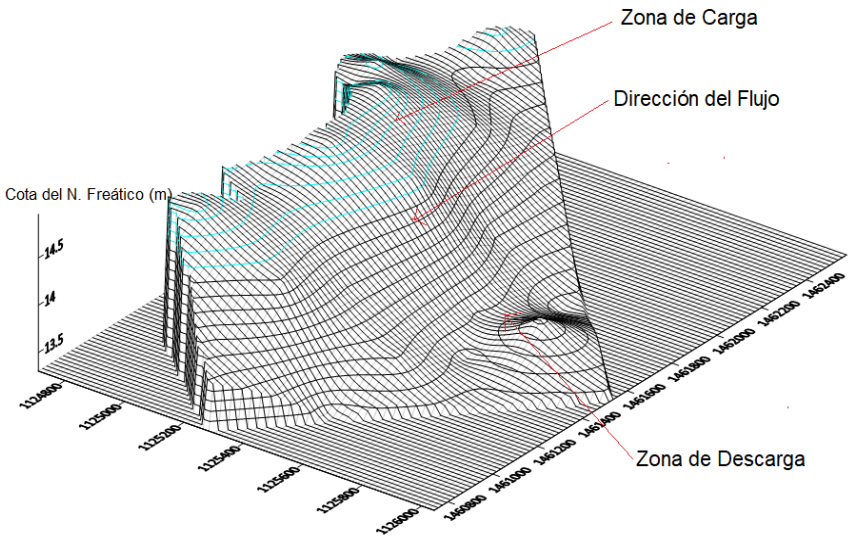
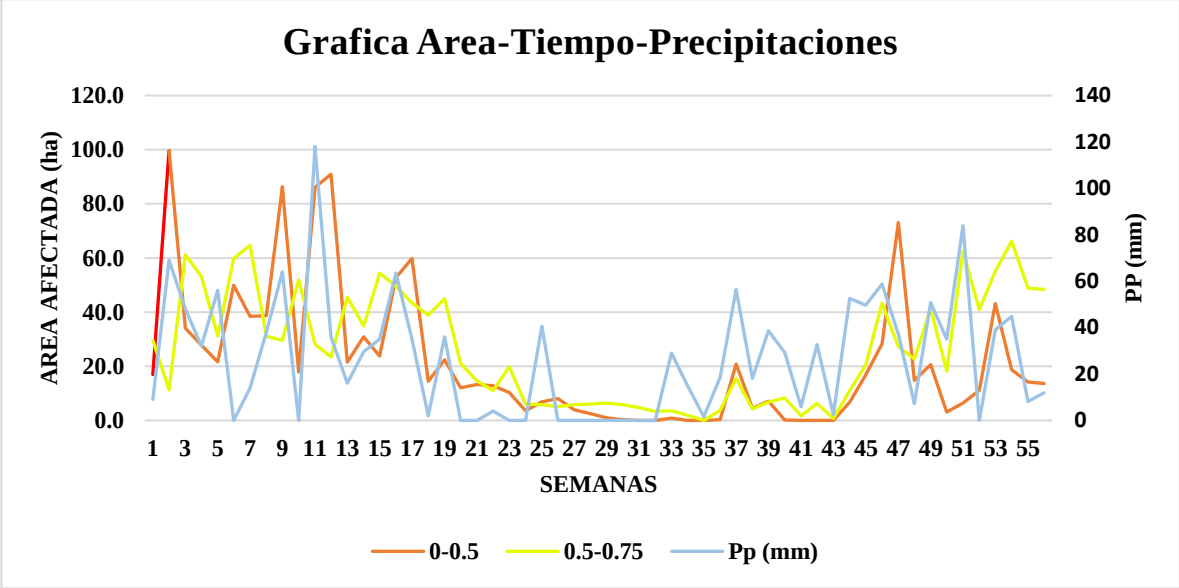


Figura 9. Mapa de isohipsa de la Finca Francia, 27 de noviembre 2020, Monteria-Cordoba.



El comportamiento de las pricipitaciones fue el factor que influyo en el aumento de los niveles freaticos en los rangos de muy superficial y supercial (0-0.5 y 0.5-0.75), como se observa en la **figura 11**, donde a medida que los eventos de lluvia aumenta, las areas rojas con nivles freaticos cercanos a la superficie tambien aumentan con respecto al area total. El caso mas representativo se puede observar en la semana 11 de las fechas de muestreo (9 octubre 2020) donde te tuvo un registro de lluvia de 118 mm durante esa fecha y en donde los niveles aumentaron de 0-0.5 y 0.5-0.75 m ocupando un area de 86.1 y 28.2 has respectivamente. Este comportamiento se debe a falta de drenajes para la evacuar estos eventos masivos de lluvia, debido al mal funcionamiento de los caneles terciarios construidos en la etapa inicial del proyecto, ya que solo tienen una funcionalidad del 30% debido a que estos se encuantran construidos en la misma direccion del flujo, lo que evita que se presente un corte del agua subterranea para evacuar los excesos de agua del cultivo.

Figura 10. Grafica área-tiempo-precipitaciones Finca Francia, Monteria-Cordoba.



Muestreo morfológico

A pesar de que algunas plantas fueron establecidas en la misma época de siembra, es decir, tienen las mismas edades como se puede observar en la **figura 12**. En las zonas críticas donde hubo tendencia a niveles freáticos cercanos a la superficie, las plantas presentaron un crecimiento retardado en cuanto a menor número de hojas, diámetro del tallo, foliolos más pequeños y ancho de foliolos. Esto se debe a que la planta no encuentra las condiciones óptimas para su desarrollo en la exploración del perfil del suelo, así como también la limitante de absorción de agua por parte de las plantas por la alta saturación en estas zonas lo que genera una acumulación de sales. En la **figura 13 y 14** se puede apreciar el comportamiento de raíces horizontales y verticales mostrándose problemas en las plantas que cercanas a los freatrimetros del Bloque 1 (4,8,12,13,14), Bloque 2 (21,23,27,29,C3) y Bloque 3 (17,19,20,C6). Por otra parte, las raíces verticales cercanas a estos Freatrimetros con menos exploración de raíces fueron: Bloque 1 (3,4,8,12,13,14), Bloque 2 (23,28,29,C2,C3) y Bloque 3 (16,17,19). Estas zonas donde encontraban estas plantas fueron las que presentaron niveles freáticos altos, generando pudrición de raíces en algunas plantas producto de los excesos de humedad.

Figura 11. Edades de las plantas muestreadas, Finca Francia, Monteria-Cordoba.

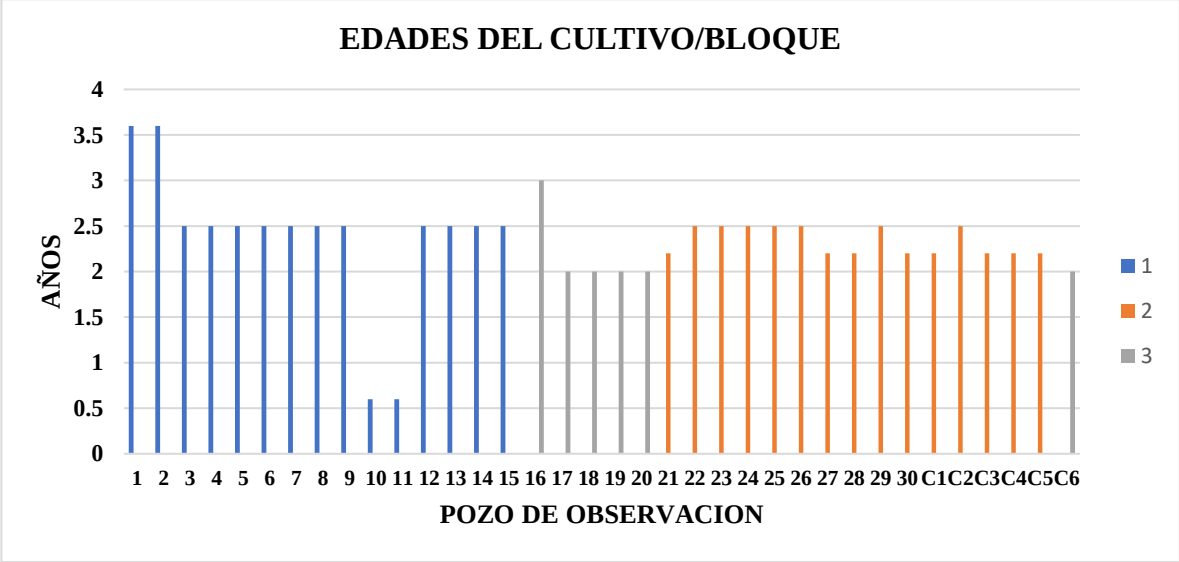


Figura 12. Comportamiento de raíces verticales/bloque, Finca Francia, Monteria-Cordoba.

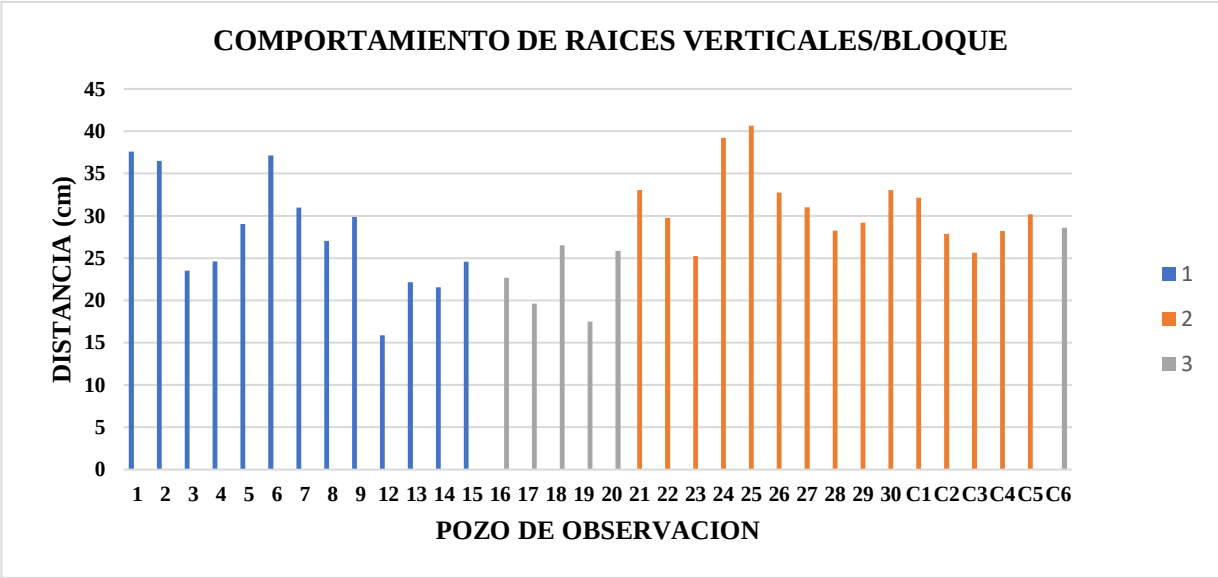
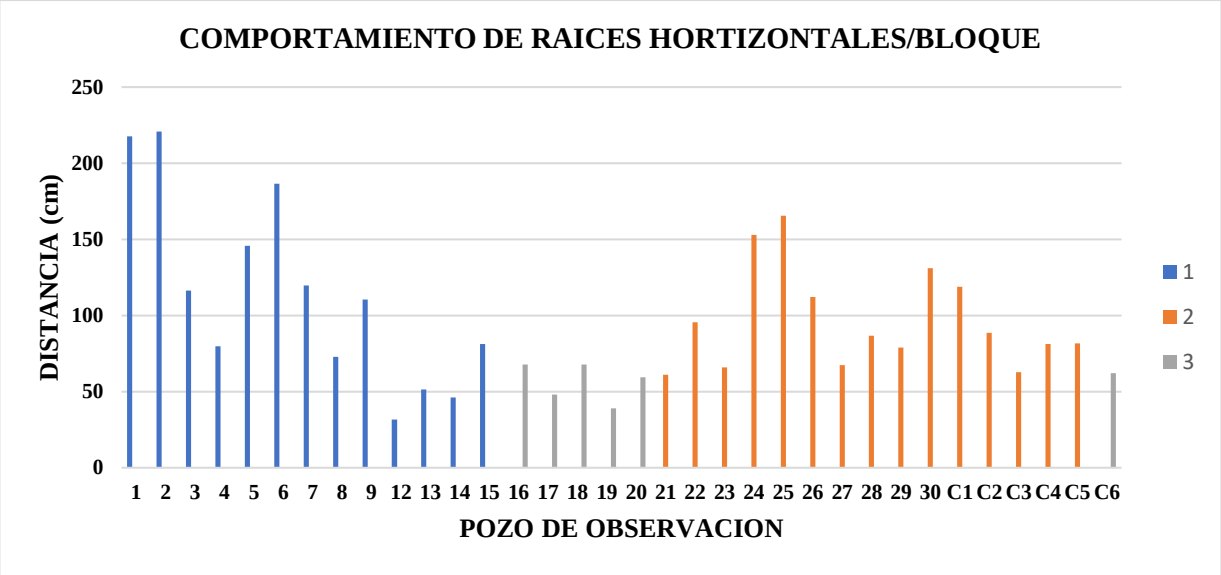


Figura 13. Comportamiento de raíces horizontales/bloque, Finca Francia, Monteria-Cordoba.



2.7 CONCLUSIONES

- Se determinó que la principal fuente de recarga de los mantos freáticos fue las precipitaciones, mostrando una relación directa en el aumento de estos en las zonas críticas de la finca.
- Cuando se presentan aumento en las precipitaciones en el área de estudio se da el fenómeno de dilución de sales por los mantos freáticos.
- La dirección del flujo subterráneo en los periodos analizados es de Oeste hacia el Este del área de estudio, es decir, de los bloques 2 y 3 hacia bloques 1.
- Las zonas de carga se localizan en Oeste y la zona de descarga en Este del área de estudio, es decir de los bloques 2 y 3 hacia el bloque 1.
- Las plantas que se encontraron en las zonas con problemas de niveles freáticos críticos presentaron pudrición de raíces y poca exploración en el perfil del suelo, presentando un crecimiento retardado en el desarrollo de tallo y hojas.

2.8 REFERENCIAS

Asociación Naturland, 2000. Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guías de 18 cultivos, Coco. 1ª edición

Campbell, G.S. 1988. Soil water potential measurement: An overview. Int. Conf. on the Measurement of soil plant water status. 6-10 July, 1987, Logan, Utah, (USA). Irrigation Science, 9 (4): 265 - 273.

Dingman, SL. 1993. Physical hydrology. New Yersey, Prentice Hall.

Feddes, R.A.; Neuman, S.P. y Bresler, E. 1975. Finite element analysis of two - dimensional flow in soils considering water uptake by roots: II. Field applications. Soil Science Society of America Journal 39 (2): 231 - 237.

Freezem, RA & JA Cherry. 1979. Groundwater, Prentice Hall, Inc.

Nosetto, MD, AM Acosta, DH Jayawickreme, SI Ballesteros, RB Jackson & EG Jobbágy. 2013. Land-use and topography shape soil and groundwater salinity in central Argentina. Agric. Water Manage. 129: 120-129.

Nosetto, MD; EG Jobbágy; RB Jackson & G Sznaider. 2009. Reciprocal influence between crops and shallow ground water in Sandy landscapes of the Inland Pampas. Field Crop Res 113: 138-148.

Nosetto, MD; R Paez; SI Ballesteros & EG Jobbágy. 2015. Higher watertable levels and flooding risk under grain vs. livestock production systems in the subhumid plains of the pampas. Agriculture, Ecosystems & Environment 206: 60-70.

Ohler J.G. 1999. Modern coconut management: Palm cultivation and products. Intermediate Technology Publications. FAO. Great Britain. 458 pp.

Palencia, G., T. Mercado y E. Combatt. 2006. Estudio agrometeorológico del departamento de Cordoba. Facultad de Ciencias Agricolas, Universidad de Cordoba. Graficas del Caribe, Monteria, Colombia.

Ripl, W. 1995. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control: The energy – transport reaction (ETR) model. Ecological Modelling 78: 61–76.

Santos G.A., Batugal P.A., Othman A., Baudouin L. y Labouisse J.P. 1996. Manual on standardized research techniques in coconut breeding. International Plant Genetic

Resources Institute (IPGRI) and International Coconut Genetic Resources Network (COGENT). Manado, Indonesia. 46 pp.

USDA 2016. United States Department of Agriculture. https://plants.usda.gov (consultado diciembre 2021).

CAPITULO III

3 SALINIDAD DE LOS MANTOS FREÁTICOS Y SU EFECTO SOBRE EL SUELO Y EL CULTIVO DE COCO (*COCOS NUCÍFERA* L.)

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar los efectos de la salinidad de los niveles freáticos en el cultivo de cocotero (*Cocos Nucífera* L). Esta investigación se llevó a cabo en el Occidente del Departamento de Cordoba en la ciudad de Monteria vía las palomas a 7 km de la capital cordobesa, en la empresa Amanatura S.A.S (Finca Francia), que se encuentran ubicadas en las coordenadas 8°46'04.8" latitud norte, y 75°56'43.3 longitud oeste, la cual cuenta con area de 136 hectáreas y un area efectiva de siembra de 120 hectáreas del cultivo de cocotero (*Cocos nucífera* L.), con temperatura promedio de 28°C, 80% de humedad relativa, 1.200 mm de precipitación y brillo solar de 2.108,2 h año-1(Palencia et al., 2006). La investigación se llevó a cabo en los periodos de los semestres B y A de 2020-2021, en donde se estudió la fluctuación del nivel freático en el cultivo de Coco de los genotipos Alto Caribe x Enano Malayo, con plantas entre 2 y 3.6 años. La densidad de siembra por hectárea fue 115 plantas, para un total de 13.800 plantas, bajo un sistema de siembra tres bolillos y sistema de riego por aspersión. La finca contaba con una división de 3 bloques cada uno con áreas diferentes, Bloque 1 (60 Has), Bloque 2 (40 Has) y bloque 3 (20 Has). Para la realización de este trabajo se localizaron y construyeron 36 pozos de observación, formando una red freatimétrica, con el fin de monitorear el comportamiento de los mantos freáticos en la "Finca Francia", se realizaron mediciones semanales (cada viernes) durante 12 meses, con el fin de incluir periodos secos y lluviosos. Con la a información obtenida y usando interpolación por el método del Krigeado con ayuda del software SURFER se elaboraron planos de isobatas, isohipsa, isovalores de pH, conductividad eléctrica (CE), cationes solubles (calcio, magnesio, sodio y potasio), aniones solubles (cloruros, sulfatos y bicarbonatos), índices hidrogeoquímicos (Mg/Ca, K/Na, Cl/HCO_3, Cl – (Na + Ca))/Cl) y RAS. Con los resultados obtenidos se determinó que la principal fuente de recarga de los mantos freáticos fue las precipitaciones, mostrando una relación directa en el aumento de estos en las zonas críticas de la finca, la dirección del flujo subterráneo en los periodos analizados es de Oeste hacia el Este del área de estudio, es decir, de los bloques 2 y 3 hacia bloques 1, las plantas que se encontraron en las zonas con problemas de niveles freáticos críticos presentaron pudrición de raíces y poca exploración en el perfil del suelo, presentando un crecimiento retardado en el desarrollo de tallo y hojas. Por otro lado, las principales sales que predominan en las aguas freáticas de la "Finca Francia son, cloruro de sodio, cloruro de magnesio y en menor proporción

bicarbonato de sodio, sulfato de sodio; con predominio de Salinidad tipo clorhídrica-sulfática, Sulfática-Clorhídrica y clorhídrica, la tendencia general en los Planos de isovalores de Ph, iso conductividad eléctrica, iso magnesio, iso carbonatos, iso bicarbonatos, iso cloruros, iso sulfatos, relaciones iónicas y RAS; es que el aumento de los valores de las isolineas se presenta en la dirección del flujo subterráneos en área de estudio.

Palabras claves: Red freatimétrica, isobatas, isohipsas, nivel freático, flujo subterráneo, *Cocos nucífera* L.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effects of water table fluctuation on coconut (Cocos Nucífera L) cultivation. This research was carried out in the west of the Department of Cordoba in the city of Monteria via Las Palomas, 7 km from the capital of Cordoba, in the company Amanatura S.A.S. (Finca Francia), located at coordinates 8°46'04.8" north latitude and 75°56'43. 3 west longitude, which has an area of 136 hectares and an effective planting area of 120 hectares of coconut crop (Cocos nucífera L.), with an average temperature of 28°C, 80% relative humidity, 1,200 mm of precipitation and sunshine of 2,108.2 h year-1(Palencia et al., 2006). The research was carried out in the periods of semesters B and A of 2020-2021, where the fluctuation of the water table was studied in the cultivation of coconut of the Alto Caribe x Enano Malayo genotypes, with plants between 2 and 3.6 years old. The planting density per hectare was 115 plants, for a total of 13,800 plants, under a three-roller planting system and sprinkler irrigation system. The farm was divided into 3 blocks, each with different areas, Block 1 (60 hectares), Block 2 (40 hectares) and Block 3 (20 hectares). For this work, 36 observation wells were located and constructed, forming a phreatimetric network, in order to monitor the behavior of the phreatic mantles in "Finca Francia", measurements were taken weekly (every Friday) during 12 months, in order to include dry and rainy periods. With the information obtained and using interpolation by the Krigeado method with the help of SURFER software, isobaths, isohypes, isovalues of pH, electrical conductivity (EC), soluble cations (calcium, magnesium, sodium and potassium), soluble anions (chlorides, sulfates and bicarbonates), hydrogeochemical indexes (Mg/Ca, K/Na, Cl/HCO3, Cl - (Na + Ca))/Cl) and RAS were elaborated. With the results obtained it was determined that the main source of groundwater recharge was rainfall, showing a direct relationship in the increase of these in the critical areas of the farm, the direction of groundwater flow in the analyzed periods is from west to east of the study area, that is, from blocks 2 and 3 to blocks 1, the plants that were found in areas with critical groundwater level problems presented root rot and little exploration in the soil profile, presenting a delayed growth in the development of stem and leaves. On the other hand, the main salts that predominate in the phreatic waters of "Finca Francia" are sodium chloride, magnesium chloride and, to a lesser extent, sodium bicarbonate and sodium sulfate; with a predominance of chloride-sulfate, sulfate-chloride-chloride and chloride-type salinity, the general trend in the Ph isovalues, iso electrical conductivity, iso magnesium, iso carbonates, iso bicarbonates, iso chlorides, iso sulfates, ionic ratios and RAS is that the increase in the values of the isolines is presented in the direction of groundwater flow in the study area.

Key words: Phreatimetric network, isobaths, isohypes, water table, groundwater flow, Cocos nucífera L.

3.3 INTRODUCCIÓN

La palma de coco es una planta que pertenece a la familia Palmae y a la clase de las monocotiledóneas. Su nombre científico es *coco nucífera L*. más conocido vulgarmente como cocotero o coco. Las variedades más destacadas, son los cocoteros altos y los enanos, pero han sido reconocidas sesenta variedades (Ángel. J., 2008).

Esta palma es de gran importancia por tener un fruto que puede ser aprovechado en múltiples aplicaciones. Presenta un buen desarrollo en regiones cuya altitud está por debajo de los 250 msnm, en un rango de temperatura promedio entre 28 y 35 °C. El suelo apropiado deber ser arenoso o fango-arenoso, que permita un buen drenaje del agua (Ángel. J., 2008; Granados. D., 2002).Por lo cual, se cultiva sobre todo en costas. El cocotero es originario de la zona insular asiático-pacífico y se distribuyó por el Caribe, el noroeste de América del Sur y Brasil, durante el descubrimiento del nuevo mundo en el siglo XVI (Parrotta. J., 1993; Cueto. J. et al 1986). Colombia cuenta con zonas costeras en el océano Pacífico y Atlántico, entre las que se observa una variada vegetación. De sus 32 departamentos, 11 tienen costa (es decir, el 34,4 %), sin contar el territorio insular. Éstos cumplen con las condiciones óptimas para el buen crecimiento de la palma de coco.

Colombia ocupa la vigésimo cuarta posición en producción de coco a nivel mundial, por aportar, tan sólo 0,23 % de la producción total del coco. La eficiencia de la producción en Colombia es de 8,62 t de coco por hectárea, encontrándose por encima del promedio mundial (5 t de coco por hectárea), lo cual se atribuye al clima y a la fertilidad de los suelos que son aptos para tal fin, por recibir nutrientes de ríos y mares (USAID, 2010; ACUERDO, 2008).

La fluctuación de niveles freáticos cercanos a la superficie del terreno, invaden el perfil explorado por las raíces, causando su asfixia o intoxicación salina por efectos osmóticos; provocando desequilibrios fisiológicos que inciden en los rendimientos y pueden causar la muerte de los cultivos. Para evaluar el efecto de la fluctuación del nivel freático en cultivos y suelos, es conveniente realizar mediciones quincenales o mensuales, a través de pozos de observación adecuadamente espaciados de fácil acceso, evitando que queden cercanos a canales, drenes, ríos, pozos de bombeo y vías de tránsito, de tal manera que las mediciones incluyan períodos secos y lluviosos. Es importante determinar la profundidad y cota del nivel freático, y realizar análisis de salinidad; para construir mapas de isobatas, isohipsas y concentración de la solución freática; lo cual permite entender los procesos de migración y acumulación de sales en el suelo. Las isobatas representan zonas con igual profundidad del nivel freático y determinan áreas con riesgos de salinización y necesidad de drenaje en

especial en las etapas críticas del cultivo; mientras las isohipsas son las equipotenciales de las superficies freáticas y permiten establecer la dirección, zonas de carga y descarga del flujo subterráneo (Custodio y Llamas, 1983; Martínez, 1986; Bustamante, 1993; Hassan, 1994; Mercado, 1999; Degioanni et al., 2006; Yang, 2008).

La presencia de un nivel freático (NF) a poca profundidad puede constituir un serio problema para la producción agrícola, pero en ciertos casos la puede favorecer. Como sobre el NF se forma una franja capilar cuyo espesor lo determina la porosidad drenable del suelo, esta franja puede contribuir con el desarrollo del cultivo cuando el mismo puede extraer agua de ella (Borin, 1990; Ayars *et al*., 1999 y Madramootoo *et al*., 2001), lo cual es posible si una parte considerable del sistema radical del cultivo se encuentra por encima de dicha franja. De lo contrario, el efecto puede ser perjudicial al limitar su respiración, ya que el espesor de suelo localizado dentro de la franja capilar se encuentra en una condición de casi saturación (Wind, 1955 y Oosterbaan, 1994). Si el agua freática es salina, el efecto perjudicial puede ser peor (Ben-Hur *et al*., 2001).

Arribasplata (2012) establece que los mayores problemas en la producción de la palma de coco se dan cuando en el suelo hay un desequilibrio nutritivo debido a los bajos niveles de macronutrientes como magnesio, fósforo, nitrógeno, potasio o calcio. Dichos desequilibrios dan lugar a carencias nutritivas de las plantas que se manifiestan por medio de diversas coloraciones de las hojas y que afectan en gran medida su crecimiento. Esto también puede producirse debido al exceso de ciertos nutrientes como el calcio, manganeso, hierro, cobre, entre otros, aunque son menos frecuentes y su impacto es reducido.

Otra de las problemáticas que afectan la producción de la palma de coco es la acumulación de sales en suelos que se observan principalmente en zonas ubicadas en regiones áridas y semiáridas, en donde casi el 50 % de las tierras bajo riego presentan algún grado de salinización del suelo (FAO), sin embargo, la FAO ha establecido que en zonas con climas subhúmedos también pueden presentarse dichos problemas. Adicional al factor clima se debe considerar que otros factores como el tipo de material parental, el relieve y las prácticas culturales (erradas prácticas de riego) influyen en la generación de suelos salinos (Ramírez, 2011).

Existe un problema de salinidad cuando las sales se acumulan en la zona radical a una concentración tal que ocasiona pérdidas en la producción de cosechas. El rendimiento de los cultivos disminuye cuando el contenido de sales en la solución del suelo es tal que no permite que éstos extraigan suficiente agua de la zona radical, provocando así un estado de escasez de agua en las plantas por un tiempo significativo (Ayers y Westcot, 1987).

La salinidad, tanto en suelos como en agua, es una de las principales causas de malas cosechas (Flowers, 2004), debido a los efectos de carácter osmótico, tóxico o nutricional (Viana et al., 2004); sin embargo, los efectos aún dependen de otros factores, como especie, cultivar, etapa fenológica, tipos de sales, intensidad y duración del estrés salino, manejo cultural y de riego y condiciones edafoclimáticas (Tester & Davenport, 2003).

Los estudios de fluctuación de los niveles freáticos subterráneos son de mucha importancia ya que el movimiento de los mantos freáticos es la principal causa de los problemas de salinidad y drenaje. Las causas principales de la salinización de los suelos agrícolas en los distritos de riego son: filtración en la red de canales de tierra, manejo deficiente del riego, conservación deficiente de la red de drenaje, uso de aguas de mala calidad para riego y fluctuación de los mantos freáticos someros (Pizarro, 1985 y Grassi, 1981).

Según (Velázquez, 1995), las principales sales que se encuentran presente en los tipos de salinidad son:

3.3.1 Cloruro de Sodio (NaCl): Es la sal más frecuente en los suelos salinos; se caracteriza por su alta solubilidad (318 g/L) la cual no es afectada por la temperatura y además es muy toxica para las plantas.

3.3.2 Cloruro de Calcio ($CaCl_2$): Esta sal en pocas ocasiones existe en los suelos debido a que reacciona con el carbonato de calcio, precipitándose en la solución. Por lo anterior, el cloruro de calcio solo aparecerá en condiciones fuertemente salinas; su solubilidad es del orden de 400-500 g/L; el $CaCl_2$ es también una sal efímera en los horizontes superiores del perfil como resultado de las reacciones de intercambio de las soluciones ascendentes de cloruro de sodio con el calcio intercambiable.

3.3.3 Cloruro de Magnesio ($MgCl_2$): Es una sal de alta solubilidad (363 g/L) y muy higroscópica al igual que el cloruro de calcio con quien muchas veces se encuentra junta. Por lo que en los suelos con estas sales se conserva la humedad por mucho tiempo.

3.3.4 Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$): Componente típico de los suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados; debido a su alta solubilidad (262 g/L) es una de las sales más perjudícales, no se acumula en los suelos en forma pura sino en combinación con otras sales solubles.

3.3.5 Sulfato de Sodio (Na_2SO_4): Su toxicidad es de 2-3 veces menor que la del sulfato de magnesio y es también componente típico de los suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados. Su solubilidad varía mucho con la temperatura, características muy importantes por afectar la información de precipitados y los lavados de esta sal.

3.3.6 Sulfato de Calcio ($CaSO_4$): Esta sal es muy baja solubilidad (1.9 g/L), por lo tanto, no es perjudicar a las plantas.

3.3.7 Sulfato de Potasio (K_2SO_4): No se acumula en los suelos en grandes cantidades.

3.3.8 Carbonato y Bicarbonato de sodio (Na_2CO_3, $NaHCO_3$): Su solubilidad varia con la temperatura (70 – 429 g/L), la hidrolisis del Na_2CO_3 provoca alta alcalinidad, además de la perdida de la estructura y disminución de la permeabilidad del suelo. El bicarbonato de sodio es menos alcalino debido a que el ácido carbónico neutraliza parte de su efecto.

3.3.9 Carbonato de Calcio (CaCO3): Es una sal de muy baja solubilidad (0.013 g/L) y por lo tanto no es perjudicial para las plantas. La solubilidad del carbonato de calcio aumenta considerablemente con la presencia del ácido carbónico debido a la formación del bicarbonato de calcio

3.3.10 Carbonato de Magnesio (MgCO3): Es una sal más soluble que el $CaCO_3$ y también forma bicarbonato en presencia del ácido carbónico, aumentando su solubilidad. Como el $MgCO_3$ es una sal proveniente de una base fuerte y un ácido débil, su hidrolisis confiere a la solución valores de alta alcalinidad.

Si en cada pozo de observación se toman muestras y se realizan análisis de salinidad, es posible construir mapas de isoconcentración o de relaciones de los iones disueltos, estos son muy importantes para entender los procesos de migración y acumulación de sales de la zona de estudio. Las comparaciones de los iones disueltos en el agua freática pueden guardar cierta relación con el terreno o indicar una característica específica del agua considerada, en este campo de estudio las relaciones reciben el nombre de índices hidrogeoquímicos, en la tabla 1.2 se presentan los más utilizados con sus respectivas interpretaciones (Custodio y Llamas, 1983).

Tabla 3. Índices hidrogeoquímicos.

Índice hidrogeoquímicos.	Interpretación
Mg/Ca	En aguas continentales presentan rangos entre 0.3 y 1.5; valores cercanos a 1 indican posible influencia de terrenos dolomíticos, superiores a 1 suelen estar relacionados con silicatos magnésicos, para relaciones cercanas a 5 están asociados con aguas que circulas por terrenos de formación marina o existe intrusión marina
K/Na	El rango en aguas dulces es de 0.004 a 0.3 y en aguas marinas es de 0.002 a 0.025, a medida que este índice disminuya aumenta la salinidad del agua; concentraciones de agua menor de 3 ppm presentan valores de este índice entre 0.5 a 1
Na/Ca y Na/(Ca + Mg)	Tiene interés para comprar el agua con las rocas del acuífero, o para seguir los posibles procesos de cambio de bases
Cl/HCO_3	Es útil en la concentración de la intrusión marina, en aguas continentales presenta valores entre 0.1 a 5 y en agua de mar de 20 a 50. Si el incremento de cloruros es debido a la concentración de sales en zonas de regadío, la relación aumenta mucho menos para igual incremento de cloruros que cuando se produce intrusión marina
SO_4 / Cl	En aguas poco o moderadamente salina esta relación es similar a la de la roca acuífera su valor se mantiene aproximadamente constante al irse concentrando el agua, no tiene utilidad cuando producen intrusión

	de sulfatos.
(Cl – (Na + Ca))/Cl	Este valor casi siempre es negativo en aguas relacionadas con terrenos formados con rocas volcánicas, en agua de mar este índice toma valores de + 1.2 a + 1.3 y en aguas con alto contenido de cloruros (cl) es siempre, positivo; un aumento en los valores de este índice indica un cambio de bases de endurecimiento del agua y una disminución en cambio de bases de ablandamiento, términos generales al ir aumentando la salinidad del agua este valor tiende a crecer lentamente.
Br/Cl	Es de interés en el estudio del origen de aguas solubles y saladas, el agua de mar tiene valores alrededor de 0.0017, las aguas asociadas con rocas orgánicas marinas y de disolución de depósitos de sal pueden tener valores mayores.

Fuente: Custodio y Llamas, 1983

Tabla 4. Tipos de salinidad en función de las relaciones iónicas.

Tipo de salinidad	Relación		Características
	Cl/SO_4	$HCO_3/(CL+SO_4)$	
Clorhídrica	> 2		Predominancia del Cl, pequeñas cantidades de HCO_3 y CO_3
Sulfática-Clorhídrica	1–2		Predominancia del Cl, pequeñas cantidades de HCO_3, el CO_3 prácticamente no existe
Clorhídrico-Sulfática	0.2-1		Predominancia del SO_4.
Sulfática	< 0.2		Presencia de Na, y pocas cantidades de HCO_3

Sulfática-Sódica		2	El SO_4 condiciona la aparición de HCO_3 y CO_3 y la consecuente formación de soda.
Sódica	> 1		Altos contenidos de Na y bajos de HCO_3 y CO_3

Fuente: Ruiz. V. 1995.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Localización

La investigación se llevó a cabo en la finca Francia, de la empresa Amanatura S.A.S, salida a Monteria-vía las palomas en el departamento de Córdoba (Colombia), con un área de 136 hectárea y un área efectiva de siembra de 120 Has, a 13 msnm, con coordenadas 8°46”04.8”N y 75°56”43.3”W, con temperatura promedio de 28°C, 80% de humedad relativa, precipitaciones de 1131 mm (2021) y 1201 mm (2020) y brillo solar de 2.108,2 h año-1 (Palencia et al., 2006). En los periodos de los semestres B y A de 2020-2021, en donde se estudió la fluctuación del nivel freático en el cultivo de cocotero de los genotipos Alto Caribe x Enano Malayo, con plantas entre 2 y 3.6 años. La densidad de siembra por hectárea es 115 plantas, para un total de 13.800 plantas, bajo un sistema de siembra tres bolillos. La finca contaba con una división de 3 bloques cada uno con áreas diferentes, Bloque 1 (60 Has), Bloque 2 (40 Has) y bloque 3 (20 Has). A continuación, se ilustra el plano de la finca, así como también el diseño de drenaje para el cultivo de coco, como se estipula en el Capítulo II (figura 1 y 2).

3.4.2 Selección del material vegetal.

La finca cuenta con los genotipos Alto, Enano e Hibrido, con edades entre 2 a 3.6 años, con las siguientes características de acuerdo con su coloración, no obstante, esta coloración estaba distribuida en los 3 genotipos con porcentaje diferentes. :

- Verde-verde: 22%.
- Amarillo: 1 %.
- Bronceado: 77 %.

3.4.3 Sistema de riego

El cultivo cuenta con la implementación de un sistema de riego por aspersión, con el cual se aplican las láminas de agua de 5 mm de acuerdo con los requerimientos hídricos necesarios para un crecimiento óptimo del cultivo. La aplicación del riego está distribuida en 4 turnos, los cuales se distribuyen en diferentes puntos de la finca por válvulas de colores (Verde, Amarilla, rojo, azul),en donde cada válvula cuenta con un promedio de 80-100 aspersores en funcionamiento. El sistema de riego funciona por medio de una bomba instalada orilla del rio Sinú en otra finca pertenecientes a los mismos propietarios (Berlín), la cual tiene una potencia de 200 Hp y un caudal de 120 l/s. la línea de conducción está compuesta por tubería PVC biaxial de 12 pulgadas, con una distancia de 4.5 km de finca a finca, que luego se distribuye por cada bloque con dimensiones de 12,8,4,2,¾,½ pulgadas, como se muestra en la figura 3 Capitulo II

3.5 Variables

3.5.1 Variables independientes

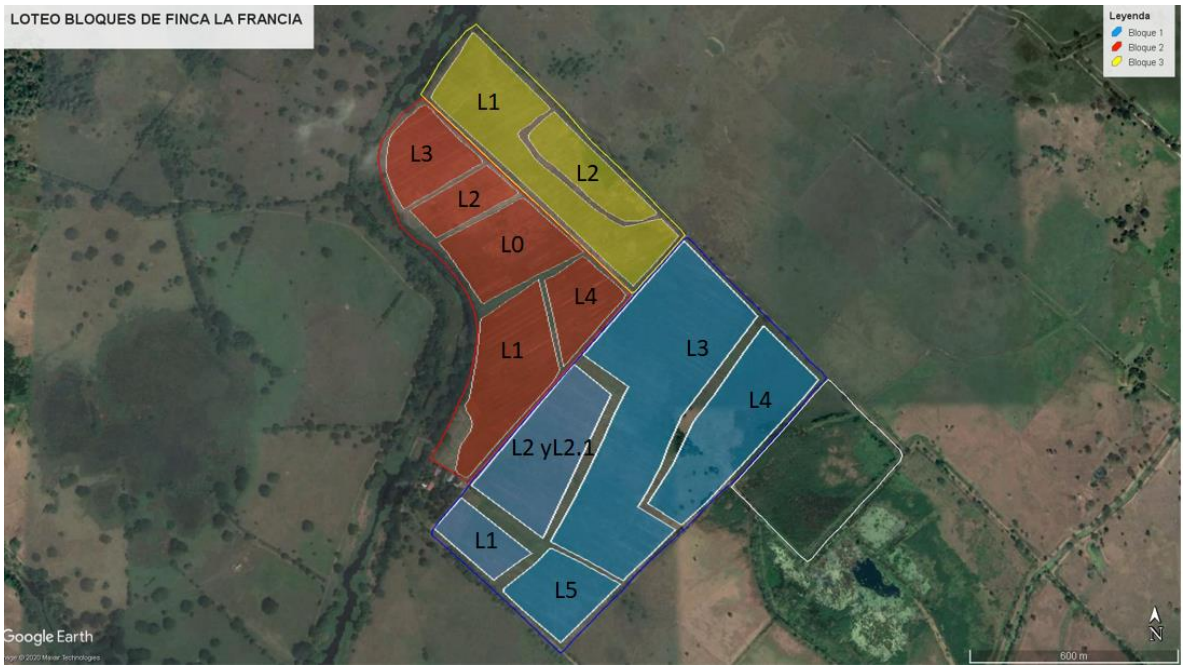
Se evaluaron 12 de los 36 pozos de observación aplicados al cultivo de cocotero (*Cocos nucífera* L*)***,** en función de un análisis de salinidad y conductividad eléctrica, los cuales estaban distribuidos en los 3 bloques según en mapa de campo (**Figura 14 y tabla 4**) en genotipos alto, enano e hibrido, bajo un sistema de riego por aspersión como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5. Freatrimetros o pozos evaluados en pruebas de salinidad y conductividad eléctrica Finca Francia, Monteria-Cordoba.

Freatrimetro	Latitud	Longitud	Bloque	Lote
MNF 02	8° 45' 59.26"	75° 56' 41.81"	1	1
MNF 03	8° 45' 52.34"	75° 56' 34.88"	1	5
MNF 06	8° 46' 6.14"	75° 56' 39.51"	1	2
MNF 07	8° 46' 12.42"	75° 56' 32.63"	1	2.1
MNF 11	8° 46' 13.59"	75° 56' 10.17"	1	4
MNF 14	8° 46' 16.0"	75° 56' 23.79"	1	3
MNF 16	8° 46' 25.48"	75° 56' 28.95"	3	1
MNF 17	8° 46' 34.13"	75° 56' 30.77"	3	2
MNF 20	8° 46' 40.78"	75° 56' 42.4"	3	1
MNF 21	8° 46' 31.31"	75° 56' 46.47"	2	3
MNF 22	8° 46' 26.68"	75° 56' 41.84"	2	0

MNF 23	8° 46' 19.15"	75° 56' 32.96"	2	5

Figura 14. Ubicación de los lotes Finca Francia, Monteria-Cordoba.



3.5.2 Variables dependientes y/o de repuestas

Se midieron las siguientes variables:

Variables para los parámetros de salinidad y conductividad eléctrica y su método de cuantificación

Tabla 6. Parámetros utilizados para análisis de salinidad.

PARAMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Potenciometría
POTASIO (K^+)	Espectrofotometría
CALCIO (CA^{2+})	Espectrofotometría
MAGNESIO (MG^{2+})	Espectrofotometría
SODIO (NA^+)	Espectrofotometría
CLORUROS (CL^-)	Volumétrico

SULFATOS ($S\text{-}SO_4^{=}$)	Espectrofotometría Uv-Vis

Con la información arrojada del análisis de agua se elaboraron planos de salinidad, con los valores de conductividad eléctrica. El análisis de estos mapas permitió establecer zonas con problemas de altos contenidos de sales y poder ser comparados con las variables morfológicas evaluadas.

3.5.3 Variables morfológicas

Las mediciones de las variables morfológicas se realizaron dentro de un radio de 12,62 metros de cada Freatrimetro (pozo de observación) en cada uno de los 36 pozos, con un promedio de 4 plantas por Freatrimetro, para un total de 144 plantas en los 36 pozos correspondiente al 1% de muestreo de la plantación total. Las variables se midieron de forma mensual, tomando registro de las siguientes variables:

- Numero de hojas
- Perímetro del tallo (cm)
- Distancia de las raíces, vertical y horizontal (cm)
- Ancho de los foliolos (cm) hoja intermedia
- Largo de los foliolos (cm) hoja intermedia

3.6 Trabajo de campo y laboratorio

La investigación se llevó a cabo bajo el estudio 12 pozos donde se seleccionó 1 pozo de observación por lote dentro de cada bloque como se muestra en la (**tabla 4**) de los 36 pozos de observación del nivel freático en el cultivo de cocotero en condiciones normales de campo, distribuidos en diferentes coordenadas del lote (120 hectáreas), en donde se obtuvo los planos de cada uno de estos (**Figura 14**), por el método de cifoneo. Cabe mencionar que para esta investigación las plantas se encontraban establecidas en campo con edades de 2 a 3.6 años de siembra, las muestras de la solución se tomaron 1 vez durante toda la etapa de investigación, se llevaron a laboratorios y se midieron las variables como se estipula en la **tabla 5**. También se realizaron los siguientes estudios: pH, conductividad eléctrica (CE), cationes solubles (calcio, magnesio, sodio y potasio), aniones solubles (cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos), de acuerdo con las metodologías estandarizadas para cada caso utilizadas por el Laboratorio Campolab de yumbo valle del cauca. las fechas de muestreo fueron el 03 febrero 2021. Se estimaron los siguientes índices hidrogeoquímicos:

Relación: $\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+}}$

Relación: $\frac{Cl^{-}}{HCO_3^{-}}$

Relación: $\frac{Cl^{-}-(Na^{+}+Ca^{2+})}{Cl^{-}}$

Relación de adsorción de sodio: $RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{Ca^{2+}}}, \frac{Na^{+}}{\sqrt{Mg^{2+}}}$

3.7 Análisis estadístico de la información

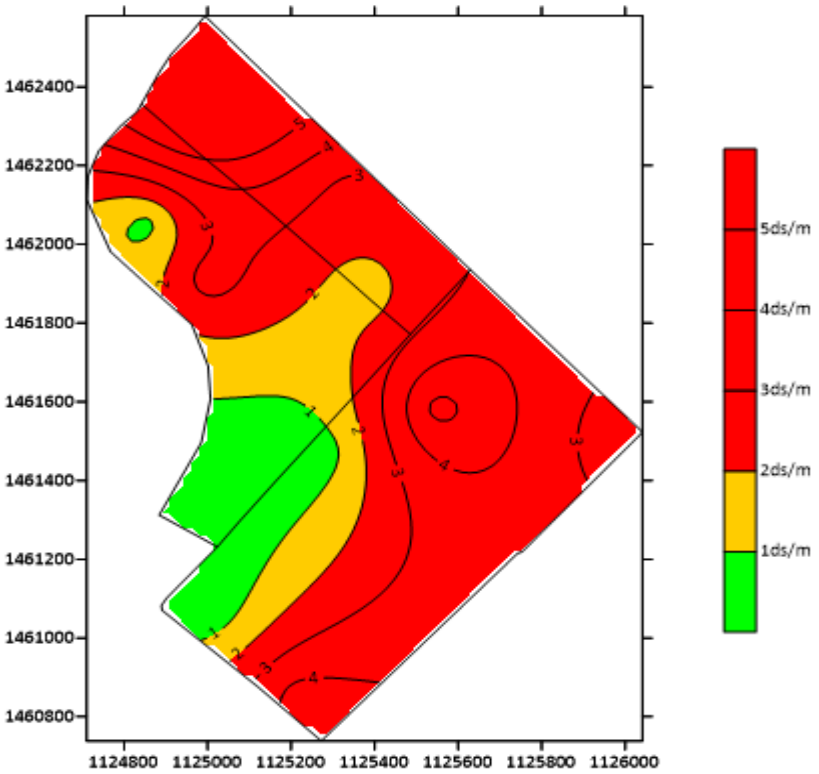
Los datos obtenidos de las medidas directas de todas las variables dependientes se ordenaron, tabularon y archivaron electrónicamente en una hoja de cálculo (Excel) para luego realizar los análisis de varianzas y pruebas de significancia utilizando el software Surfer 32.

3.8 RESULTADOS Y DISCUCIÓN

De acuerdo con los análisis de salinidad, se determinó que los iones sodio, cloruro, magnesio, sulfatos ,calcio y bicarbonatos en el orden mencionado son los componentes predominantes en las aguas freáticas del área de estudio. Como consecuencia de la acumulación de estos iones las plantas presentan daños directos por causa de la salinidad, lo que refleja un atraso en su buen crecimiento y desarrollo. Además de disminuir la adsorción de agua por las raíces. Es decir, una alta concentración de sales representa un alto potencial osmótico en el perfil del suelo, medio donde la planta requiere las condiciones óptimas para su buen desarrollo. En este proceso antes mencionado la planta requiere mayor cantidad de energía, teniendo en cuenta que las concentraciones de sales no permiten la adsorción de agua y posteriormente el marchitamiento de estas, incluso cuando el suelo permanece húmedo. Por otro lado, los iones cloruros, magnesio, sodio, calcio, sulfatos y bicarbonatos se caracterizan por ser altamente solubles, además de ser tóxicos para las raíces al entrar en contacto con las soluciones salinas por medio del movimiento capilar al entrar reaccionar entre ellos y formarse sales perjudiciales para el cultivo.

Se determinó que los valores de pH predominantes en el area de estudio (120 ha) fueron entre 6.87 – 7.69 de las muestras analizadas, lo que está relacionado con la presencia de sales neutras y por ende con contenidos de minerales óptimos para el buen desarrollo del cultivo. Por otra parte, se presentó conductividad eléctrica mayor de 2 ds/m en un 50 % de los análisis de agua, que se presenta como la toxicidad especifica de un ion especial (como es el sodio), además de aumentar la presión osmótica alrededor de las raíces, evitando de esta manera la absorción de agua eficiente por las plantas en estos sitos donde se presentaron estos valores. La conductividad eléctrica con rango menores de 1 ds/m, ocupo el 12.75 % del área (15.3 ha), mientras que el 28.66 % del area (34.4 ha) presento valores menores de 2 ds/m y el 58.58 % (70.3 ha)de area presento valores de conductividad eléctrica mayores de 2 ds/m; debido al efecto de dilución causado por el aumento de la precipitación en la época de muestreo **Figura 15 .**

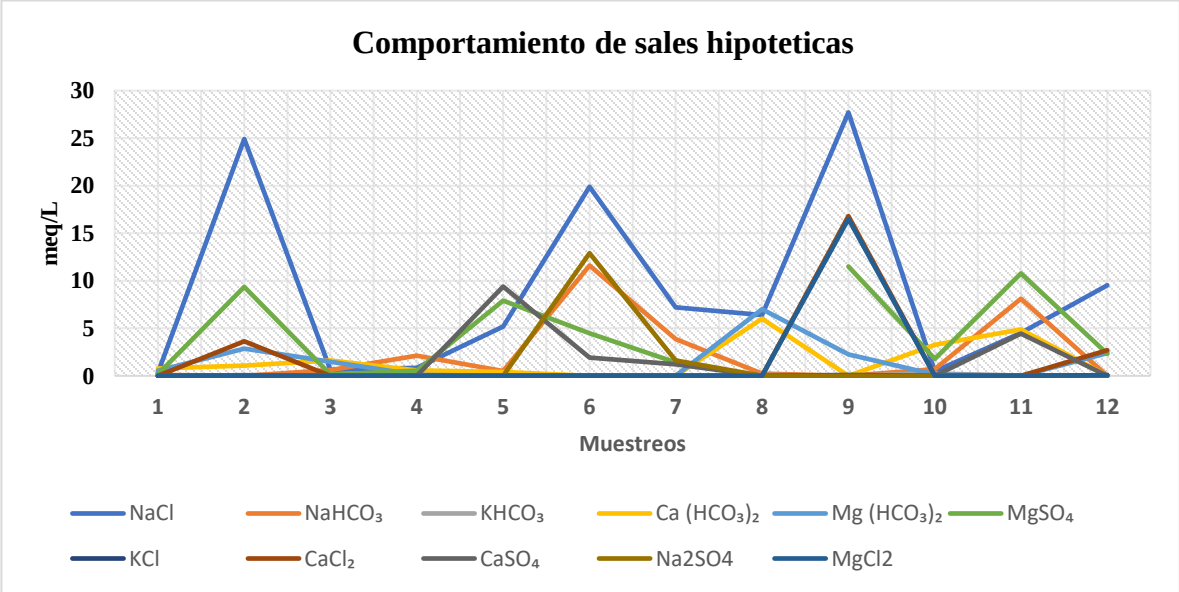
Figura 15. Mapa de conductividad eléctrica (ds/m) de los mantos freáticos Finca Francia, Monteria Cordoba.



De acuerdo, con la **figura 16** de sales hipotéticas en el area del estudio, unas de las principales sales formadas es el Cloruro de Sodio (NaCl), originada por la unión de los elementos de sodio y cloruros. Esta sal es muy toxica para las plantas, disminuye la velocidad de crecimiento, manifestándose en los tallos con estructuras muy delgadas y

pocas hojas como una repuesta fisiológica. A demás, esta sal se caracteriza por ser frecuente en suelos salinos y por su alta solubilidad (318 g/L). Otras de las sales formadas en el area de estudio son sulfato de magnesio, la cual se caracteriza por ser una sal perjudicial, ya que no se acumula en los suelos en forma pura sino en combinación con otras sales solubles. Además, de su alta solubilidad (262 g/L). Bicarbonato de sodio es otra de las sales presentes, aunque es menos alcalino debido a que el ácido carbónico neutraliza parte de su efecto. Otra sal es el cloruro de calcio, esta sal solo tiende aparecer en condiciones fuertemente salinas, es también una sal efímera en los horizontes superiores del perfil como resultado de las reacciones de intercambio de las soluciones ascendentes de cloruro de sodio con el calcio intercambiable. También predominaron otras sales como el bicarbonato de calcio, sulfato de calcio, bicarbonato de magnesio, cloruro de magnesio, sulfato de sodio, bicarbonato de potasio, cloruro de potasio en el orden mencionado, las cuales quedan depositados en el suelo ocasionando grandes problemas para las plantas en su desarrollo optimo, presentándose síntomas visuales como, por ejemplo: Crecimiento retardado, puntas y bordes de las hojas quemadas, entre otros .

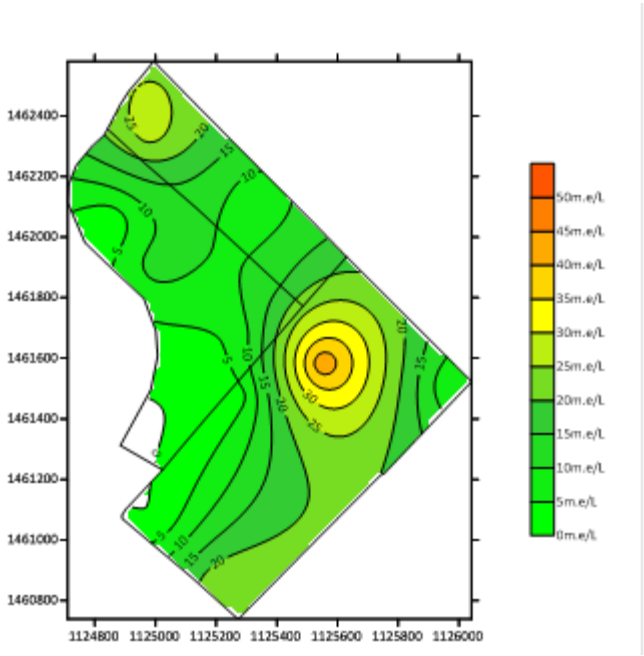
Figura 16. Grafica de comportamiento de sales hipotéticas, Finca Francia, Monteria Cordoba.



En los planos de isoconcentración de calcio, se encontró que en el area total predominan 71.9 ha con intervalos de 0-5 meq/L, rango considerado como normal, los demás valores entre 5 – 10 correspondió a 31.5 ha, y entre 10-15 meq/L corresponden a un área de 10.3 ha, y >15 con valores de 5.3 ha lo cual no causa problema**.** A su vez en los planos de

isoconcentración de magnesio: se observó que 29.7 ha (24.8% del área de estudio) presento valores entre 0-5 meq/L, las áreas con valores entre 5–10, 10-15 y 15 – 30 meq/L, corresponden a 58.6, 17.2 y 14.4 ha respectivamente, lo cual genera riesgo de formación de sales de magnesio con su respectivo efecto negativos en el suelo y la planta. Por otra parte, en los planos de isoconcentración de sodio En la **figura 17** se muestra que el 53.1% (63.7 ha) del área de estudio presento valores de sodio entre 0-15 meq/l, este comportamiento se encuentra relacionado con el proceso de dilución de sales por efecto de recarga del nivel freático con precipitaciones. Mientras que el 42.3 y 4.6% (50.7 y 5.5 ha) presentaron valores entre 15-30 y >30.

Figura 17. Plano de isoconcentraciones de sodio, Finca Francia, Monteria-Cordoba.



En los planos de isoconcentración de potasio: Se encontró que el 100% del área de estudio predomina valores de 0 – 0.25 meq/L, los cuales se consideran normales. De igual manera en los planos de bicarbonatos **s**e observó que hay predominancia en los valores de 3– 5 y >5 meq/L, con area efectiva de 55 y 60 ha, en estas áreas donde predominan altos valores de HCO_3 es posible que se formen sales como el carbonato de sodio (Na_2CO_3) que es una sal muy peligrosa que causa la perdida de la estructura y disminución de la permeabilidad del suelo; en los planos de igual concentración de cloruros el 87.2% del área de estudio se encontró en los intervalos de 0-15 meq/L, lo cual indica que existen bajas concentraciones de cloruros, por efecto de disolución de los mantos freáticos por las precipitaciones; en los planos de iso sulfatos: Se observó que en el área de estudio predomina el rango de >30 meq/L, con 66.4 hectáreas; en estas áreas hay formación de sales con magnesio; en los planos de isovalores de Mg/Ca no se presentó valores cercanos a 5, lo cual indica que estas

aguas freáticas no están asociadas con aguas que circulan por terrenos de formación marina; en los planos de isovalores de Cl/HCO3 el 95.8% del área se encuentra en los rangos de 0-5, es decir no hay ninguna relación con aguas marinas que circulan por estas áreas; en los planos de isoconcentración de la relación (Cl-(Na+Ca))/Cl el 100% de estos valores presentaron relación negativa, lo que indica que no hay altos contenidos de cloruros. Y por último Planos de Isovalores de RAS**:** Un alto porcentaje de RAS (75%), se obtuvieron valores menores a 3 meq/L.

Tendencia de los índices hidro geoquímicos

La relación Mg/Ca presento valores superiores a uno en un 75%, estos suelos suelen estar relacionados con terrenos magnésicos, es decir, estos aportan magnesio a las aguas freáticas. No obstante, solo en un 8.33% equivalente a una muestra se presentaron valores superiores de 5, lo cual están asociados con aguas que circulas por terrenos de formación marina o existe intrusión marina. En cuanto a la relación K/Na el 58.33% del área muestreada tiende a valores entre 0-1, estos valores están asociados con un aumento de la salinidad de las aguas freáticas, mientras que el 25% presenta valores mayores de 2, con lo que se puede inferir que estas aguas tienen contacto íntimo con suelos de origen fluviolacustre. La relación Cl/HCO el 75% de esta relación presentó valores - entre 0-5, lo cual indica que no hay riesgo de intrusión marina. La relación (Cl – (Na+Ca))/Cl el 83.33% presento valores negativos; en la relación de adsorción de sodio (RAS) durante el muestreo, los valores de sodio y magnesio estuvieron bajos, el 58.33 % del área de estudio presentó la tendencia de valores entre 0 y 3, lo indica que hay riesgo de sodificación del suelo en el 41.67% restante.

El tipo de salinidad de las aguas freáticas según las relaciones iónicas que predominan en el área de estudio, según (Ruíz, 1995) fueron tres en las mismas proporciones: clorhídrica-sulfática lo que se debe la predominancia del SO_4. Sulfática-Clorhídrica, lo que se debe a la predominancia del Cl, pequeñas cantidades de HCO_3, mientras que el CO_3 prácticamente no existe. La clorhídrica lo cual se origina por la predominancia del Cl, pequeñas cantidades de HCO_3 y CO_3 con una tendencia del 33.3% respectivamente para cada uno de los 3 tipos de salinidad de acuerdo con las relaciones iónicas antes mencionadas.

3.9 CONCLUSIONES

- Las principales sales que predominan en las aguas freáticas de la “Finca Francia, Monteria-Cordoba” son, cloruro de sodio, sulfato de magnesio y en menor proporción bicarbonato de sodio, sulfato de sodio; con predominio de salinidad tipo Clorhídrica-sulfática, Sulfática-Clorhídrica y Clorhídrica.

- La tendencia general en los Planos de isovalores de Ph, iso conductividad eléctrica, iso magnesio, iso carbonatos, iso bicarbonatos, iso cloruros, iso sulfatos, relaciones iónicas y RAS; es que el aumento de los valores de las isolineas se presenta en la dirección del flujo subterráneos en área de estudio.

3.10 REFERENCIAS

ACUERDO de competitividad (2008). “Cadena nacional del coco en Colombia”, p: 1-36.

Ángel, José y Rámirez, Teofilo (septiembre, 2008). “Manual técnico del cultivo del cocotero (Cocos nucifera L.) en México”. En: Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), p: 1-39.

Arribasplata Oscar (2012). Respuesta del coco amarillo (cocos Nucifera L.) a diferentes dosis de NPK en sistemas agroforestales, Aucayacu. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Ayars, J., R. Hutmacher, R. Schoneman, R. Soppe, S. Vail And F. Dale. 1999. Realizing the potential of integrated irrigation and' drainage water management for meeting crop water requirements in sermi-arid and arid areas. Irrigation and Drainage Systems 13: 321-347.

Ayers, R.S. y Westcot, D.W. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje. Núm. 29, Rev. 1, Roma, 1987, 172 pp.

Ben-Hur, M., F. Li, R. Keren, 1. Ravina and G. SHALIT. 2001. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 191-198.

Borin, M 1990. Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments with different water table depths. Acta Hort. (ISHS) 267:85-92.

Bustamante, H. (1993). *Drenaje de tierras agrícolas y sus aplicaciones*. Medellín, Colombia: Ediciones Universidad Nacional de Colombia.

Cueto, Jorge R.; Maruchi, Alonso; Raixa, Llauger; González, V.; Romero, W. (1986). “Historia del cocotero (Cocos nucifera L.) en Cuba: su origen en la región de Baracoa”. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Empresa de Coco Baracoa, p: 1-6.

Custodio, E. & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea. Tomo I*. Barcelona, España: Ediciones Omega, S.A.

Degioanni, A., Cisneros, J., Cantero, A. & Videla, H. (2006). Modelo de simulación del balance hídrico en suelos con agua freática poco profunda. *Revista Sociedad Argentina de la Ciencia del Suelo, 1*, 1-10. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4363638

Flowers, T.J. Improving crop salt tolerance. Journal of Experimental Botany, v.55, p.307-319, 2004.

Granados Sánchez, D. y López Ríos, G. F. (enero-junio, 2002). "Manejo de la palma de coco (cocos nucifera L.) en México". Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. 8 (001), p: 39 48.

Grassi, C. J. 1981. Manual de drenaje agrícola. CIDIAT. Mérida, Venezuela.165 p.

Hassan, E. (1994). Balance de agua y de sales en un "Gypsic xerochrept" situado en la cuenca media del río Guadiana (Tesis Doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos and Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Madramootoo, T. Helwig And G Dodds. 200 1. Managing water tables to improve drainage water quality in Quebec, Canada. Transaction of the ASAE 44:1 511-1

Martínez, J. (1986). Drenaje agrícola. Volumen I. Madrid, España: Edición Ministerio de agricultura, pesca y alimentación.

Mercado, T. (1999). Establecimiento de vectores de salinidad a través del análisis físico-químico de los mantos freáticos someros en el distrito 041, río Yaqui, Sonora (Tesis de Maestría). Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Oosterbaan, R. 1994. Agricultural drainage criteria. In: Drainage principles and application. International Institute for Land reclamation and Improvement (ILRI). Ritzema, H. Wageningen, The Netherlands. (editor Chief). 635-689.

Palencia, G., T. Mercado y E. Combatt. 2006. Estudio agrometeorológico del departamento de Cordoba. Facultad de Ciencias Agricolas, Universidad de Cordoba. Graficas del Caribe, Monteria, Colombia.

Parrotta, John A (1993). "Cocos nucifera L.". New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, p: 152-158.

Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola Española. 2a . edición. Madrid, España. 542 p.

Ramírez Jorge (2011). Evaluación general de la salinidad y modelación de los riesgos de salinización en suelos del Valle del Cauca. Universidad Nacional de Colombia.

Ruiz, V. (1995). Respuestas del fríjol (Phaseolus vulgaris) a la salinidad Sulfática-clorhídrica en diferentes etapas de crecimiento. Tesis M.C. centro de Hidrociencias. Colegio de postgraduados, Montecillo, México.

Tester, M.; Davenport, R. Na+ tolerance and Na+ transport in higher plants. Annals of Botany, v.91, p.503- 527, 2003.

USAID lidera recuperación de la producción cocotera del pacífico colombiano (septiembre 15, 2010). En: Radio Santa fe 1070 a.m. Bogotá. Disponible en: http://www.radiosantafe.com/2010/09/15/ usaid-lidera-recuperacion-de-la-produccion-cocotera-del-pacificocolombiano/.

Velázquez, M.1995**.** Efecto de sales y fertilización sobre la emergencia de plántulas de siete cultivares. México. Tesis M.C. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo.

Viana, S.B.A.; Fernandes, P.D.; Gheyi, H.R.; Soares, F.A.L.; Carneiro, P.T. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, p.23-30, 2004.

Wind, G. 1955. A field experiment concerning capillary rise of moisture in heavy clay soil. Neth. J. Agr. Sci. 8:60-69.

Yang, X. (2008). Evaluation and application of DRAINMOD in Australian sugarcane field. *Agricultural Water Management*, *95*(4), 439-446. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.006

DISCUSION GENERAL

De los resultados obtenidos y observados durante el proceso de investigación se logró apreciar la presencia de acumulación de sales en las zonas de descarga o zonas de menor cota, lo cual se vio reflejado en un efecto negativo en la fisiología de las plantas de coco ubicadas en estas zonas críticas, dicho efecto causado probablemente por la acumulación de sales iónicas las cuales afectan muchas funciones fisiológicas y bioquímicas de las plantas, dichas sales tales como; cloruro de sodio y sulfato de magnesio, lo cual coincide con lo expresado por Mercado (1999) que indica uno de los principales procesos de formación de los suelos salinos es el relacionado con el movimiento, redistribución y acumulación de sales provenientes de los fenómenos de reconcentración o dilución de los mantos freáticos en la dirección del flujo subterráneo. La falta de un adecuado drenaje subsuperficial y la presencia de un manto freático somero agravan los problemas de salinidad y complican su control.

Las sales encontradas en este estudio coinciden en gran parte con las halladas por García (2014) en un estudio realizado en plantaciones de palma de aceite en el municipio de Mahates Bolívar, donde las sales predominantes fueron, cloruro de sodio, cloruro de magnesio que a su vez se caracterizan por su alta solubilidad, y por ser muy toxicas para las plantas; especialmente en la zona de raíces, de esta manera afectando el estado fisiológico de las plantas de coco, según lo expresado por Velásquez, (1995), indica las plantas pueden tener contacto con estas soluciones salinas a través del movimiento capilar, en términos generales las sales de alta solubilidad son de gran movilidad.

El estudio de las sales y los movimientos freáticos encontrados indicaron que estas se movilizan en función del flujo subterráneo del agua, lo cual coincide con lo dicho por Durango. J, et al (2020) donde indican que la migración de sales se da en dirección del flujo freático, lo cual es responsable de la salinidad progresiva en la zona de descarga.

La alta presencia de sales solubles en las zonas críticas establecidas por los resultados se ve afectada a su gran acumulación, estos tuvo una alta relación con las tendencias de las precipitaciones presentes en la zona lo cual genera una gran acumulación de sales por el flujo superficial en función de la pendiente hacia la zona de menor cota, donde se presentaron las mayores acumulaciones de sales, procedentes del lavado superficial del suelo y un ascenso en el nivel freático, esto coincide con lo reportado por Coras. P., et al (2014) donde encontró que las lluvias son las causantes del ascenso del nivel freático y excesos de agua en el suelo. y niveles freáticos menores a 1.5 mm y aguas freáticas de mediana a alta en sales, donde se relaciona los suelos salinos y/o sódicos.

CONCLUSIONES GENERALES

- El cloruro de sodio y sulfato de magnesio son las principales sales que predominan en el area de estudio.

- Estas sales presentes en el area de estudio se caracterizan por su alta solubilidad, y por ser muy toxicas para las plantas; especialmente en la zona de raíces al hacer contacto con estas soluciones salinas a través del movimiento capilar.

- Las areas de recarga, es decir las zonas altas del area de estudio no presentaron problemas de sales.

- Se determinó que la principal fuente de recarga de los mantos freáticos fue las precipitaciones excesivas del area de estudio.

- La dirección del flujo subterráneo en los periodos analizados es de Oeste hacia el Este del área de estudio, es decir, de los bloques 2 y 3 hacia bloques 1.

- Las plantas que se encontraron en las zonas con problemas de niveles freáticos críticos presentaron pudrición de raíces y poca exploración en el perfil del suelo, presentando un crecimiento retardado en el desarrollo de tallo y hojas.

- El flujo subterráneo en dirección a la zona de descarga coincide con el aumento de los índices que influyen la salinización progresiva del suelo.

- La migración se las sales se da en la dirección del flujo freático.

- La recarga freática fue debido a las altas precipitaciones, manteniendo en altos porcentajes los niveles freáticos críticos , precursores de salinidad las cuales pueden subir por ascenso capilar y ocasionar efectos adversos en el suelo y la planta.

RECOMENDACIONES

Continuar con los monitoreos de los Freatrimetros semanales, con el fin de obtener datos anuales y de esta manera analizar la ocurrencia de las precipitaciones en estos periodos; además mejorar la red de drenaje que permita el corte la dirección del flujo subterráneo de tal manera que se abatan los niveles freáticos a profundidades de 0.5 m, ya que esto garantiza un buen estado fisiológico del cultivo coco y posteriormente una buena producción.

REFERENCIAS

Armando, J. (2014). Dinámica de mantos freáticos en cultivos de palma aceite (elaeis guineensis) en el municipio de Mahates (Bolívar): un enfoque Hidrofisico. Universidad de Córdoba.

Coras, P; Ontiveros, R; Diakite, 2014. Movimiento del agua freática y concentración de sales en suelos agrícolas. Revista Mexicana de ciencias agrícolas. Vol.5 Núm.4. p. 537-548.

Durango, J., Mercado, T., Feria, J. 2020. Efecto del manto freático somero en el cultivo de banano (*Musa AAA*) en la zona de Urabá, Colombia. *Espacio*. *41* (32). Pp 93-97.

Mercado, T. 1999. Establecimiento de vectores de salinidad atreves del análisis físico-químico de los mantos freáticos someros en el distrito de riego 041, rio Yaqui, Sonora. México. Tesis M. C. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México

Velázquez, M.1995. Efecto de sales y fertilización sobre la emergencia de plántulas de siete cultivares. México. Tesis M.C. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo.

ANEXOS

Anexos A. Rangos para los planos de isoconcentraciones e isobatas.

pH

6 – 7: Verde

7 – 8: Amarillo

8 – 9: Naranja

> 9: Rojo

Conductividad Eléctrica (dS/m).

0 – 1: Verde

1 – 2: Amarillo

2 – 3: Naranja

3 – 5: Rojo

> 5: Rojo

Calcio (m.e/L)

0 – 5: Verde

5 – 10: Amarillo

10 – 15: Naranja

> 15: Rojo

Magnesio (m.e/L)

0 – 5: Verde

5 – 15: Amarillo

15 – 30: Naranja

30 – 50: Rojo

> 50: Rojo

Sodio (m.e/L)

0 – 15: Verde

15 – 30: Verde oscuro

30 – 60: Amarillo

60 – 100: Rojo

> 100: Rojo

Potasio (m.e/L)

0 – 0.25: Verde

0.25 – 0.5: Amarillo

> 0.5: Rojo

Cloruros (m.e/L)

0 – 15: Verde

15 – 30: Verde oscuro

30 – 60: Amarillo

60 – 90: Naranja

90 – 150: Rojo

> 150: Rojo

Carbonatos (m.e/L)

0 – 0.1: Verde

0.1 – 0.3: Verde oscuro

0.3 – 0.6: Amarillo

0.6 – 1.0: Naranja

> 1.0: Rojo

Bicarbonatos (m.e/L)

0 – 1: Verde

1 – 3: Amarillo

3 – 5: Naranja

> 5: Rojo

Sulfatos (m.e/L)

0 – 3: Verde

3 – 6: Amarillo

6 – 10: Naranja

> 10: Rojo

RAS

0 – 3: Verde

3 – 6: Verde oscuro

6 – 12: Amarillo

12 – 25: Naranja

25 – 35: Rojo

> 35: Rojo

Relación Cl/HCO_3

0 – 5: Verde

5 – 20: Amarillo

20 – 50: Naranja

> 50: Rojo

Relación (Cl-(Na+Ca))/Cl

-50 – 0: Verde

0 – 0.5: Amarillo

> 0.5: Rojo

Isobatas (m)

0 – 0.5: Rojo

0.5 – 1: Naranja

1 – 1.5: Amarillo

1.5 > Verde

Relación Mg/Ca

0 – 1: Verde

1 – 3: Amarillo

3 – 5: Naranja

> 5: Rojo

Para los planos de isoconcentración los rangos con colores amarillos y rojos indican alta y muy alta concentración, para los planos de isobatas los rangos con color rojo y amarillo están asociados con alto y muy alto riesgo de salinización respectivamente.

Anexo 1. Registro de precipitaciones 2020

RÉGIMEN DE LLUVIAS

HACIENDA FRANCIA **AÑO. 2020**

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	#	#	12	13	14	#	16	17	#	19	20	#	22	23	#	25	26	27	28	#	#	31	TOTAL
Ene																																0
Feb																																0
Mar																																0
Abr																						52	2		4			5				63
May				1									20				20					24					42	57				163,5
Jun		13							3	7					#		3	3	11			9		4	1	0,5	9		6	1	0	84,3
Jul	#	42	17					4		3		9	4	11						11		56				8	1					184
Ago			28	#	0					#					#		32					8	10					38				215,3
Sep									8	3	3			18		20					#				40							116
Oct			57	#					5				14		#							10	6	#				##		6	9	208,5
Nov			26					9	#	#	1		9			22		#						2					1	#		139,5
Dic	4	12	7																				4									27
TOTAL																																#####

Anexo 2. Registro de precipitaciones 2021

RÉGIMEN DE LLUVIAS

HACIENDA FRANCIA **AÑO. 2021**

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	#	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL
Ene									40		0,5																					40,5
Feb																																0
Mar								9	20							7	6	2								1,5	18,5					64
Abr			21,1					34,5	0,8			0,2	4,0		13,9		19,2	0,2			19,3			27,9	1,3							142,4
May		5,3	0,7					11		8,4	13,2						2,5					16	10	13			13			1,5	36	131,6
Jun	0,5	11				1,5			53	1,5	2,5			4				33		1,2					6		2,4	48				165,8
Jul				11,9		7,1			16	38			6			40,8								7,8		21				10	4,3	162,5
Ago	19	15				6,6						3,8	4		7,7		3,5		1	0,2		1,3	5,5		1,8	3,8			20,2		9,6	102,8
Sep	1,5			40,9		3,5		17	1,2		9,6	0,6			5,6	0,2		1	2	6			15		0,3		0,5			0,5		105,3
Oct	5,3		2	1,1	1			20				1				37,1		1,2		0,7	0,1			6		17			3,3		3	98,1
Nov	26					9,6		24	2,2																							61,3
Dic																																0
TOTAL																																**1074,3**

Anexo 3. Áreas optimas

Registro		Muy superficial	Superficial	Moderadamente profundo	Profundo	Muy profundo	Total (Has)	pp2 (mm)	Riego (m3)
Semana	Fecha	0-0,5	0.5-0.75	0.75-1	1-1.5	>1.5			
31	30-jul-20	17,0	29,5	53,0	20,6	0,0	120	9	0,0
32	5-ago-20	99,6	11,2	9,2	0,0	0,0	120	69	0,0
32	6-ago-20	69,9	36,3	13,7	0,1	0,0	120	0,0	0,0
33	14-ago-20	34,1	61,2	23,1	1,7	0,0	120	48	0,0
34	21-ago-20	27,8	53,2	37,2	1,8	0,0	120	32	0,0
35	28-ago-20	21,6	31,2	59,6	7,5	0,0	120	56	0,0
36	4-sep-20	49,9	59,8	8,7	1,7	0,0	120	0,0	0,0
37	11-sep-20	38,4	64,7	13,4	3,5	0,0	120	14	0,0
38	18-sep-20	38,7	31,1	42,9	7,4	0,0	120	38	0,0
39	25-sep-20	86,3	29,5	4,2	0,0	0,0	120	64	0,0
40	2-oct-20	17,9	51,9	42,6	7,7	0,0	120	0,0	0,0
41	9-oct-20	86,1	28,2	5,8	0,0	0,0	120	118	0,0
42	16-oct-20	90,9	23,4	5,7	0,0	0,0	120	36	0,0
43	23-oct-20	21,6	45,5	44,3	8,6	0,0	120	16	0,0
44	30-oct-20	30,9	34,9	36,1	16,4	1,8	120	29,5	0,0
45	6-nov-20	23,7	54,4	36,7	5,2	0,0	120	35	0,0
46	13-nov-20	52,7	49,5	13,4	4,4	0,0	120	63,5	0,0
47	20-nov-20	59,8	43,4	12,7	4,1	0,0	120	35	0,0
48	27-nov-20	14,5	38,9	45,5	21,2	0,0	120	2	0,0
49	4-dic-20	22,4	45,0	38,0	14,7	0,0	120	36	0,0
50	11-dic-20	12,0	21,0	55,7	29,8	1,5	120	0,0	30
51	18-dic-20	13,2	14,5	40,6	46,8	4,9	120	0,0	35
52	25-dic-20	12,73	11,06	33,97	53,95	8,30	120	4	30
53	1-ene-21	10,3	19,7	22,2	55,7	12,0	120	0,0	35
1	8-ene-21	3,5	6,0	28,2	73,5	8,7	120	0,0	35
2	15-ene-21	6,9	5,8	21,9	65,2	20,3	120	40,5	0
3	22-ene-21	8,0	5,1	13,2	83,2	10,5	120	0,0	30
4	29-ene-21	4,0	5,8	5,9	95,3	9,1	120	0,0	35
5	5-feb-21	2,53	6,08	10,27	74,11	27,04	120	0,0	35
6	12-feb-21	0,90	6,41	8,28	73,03	31,41	120	0,0	35
7	19-feb-21	0,29	5,83	5,75	78,60	29,56	120	0,0	35
8	26-feb-21	0,0	4,7	5,6	85,1	24,6	120	0,0	35
9	5-mar-21	0,0	3,3	5,6	78,5	32,5	120	0,0	35
10	12-mar-21	0,9	3,6	5,2	73,7	36,7	120	29	0,0
11	19-mar-21	0,0	1,9	5,9	64,0	48,3	120	15	20
12	26-mar-21	0,0	0,0	5,0	58,2	56,8	120	1,5	35
13	2-abr-21	0,20	3,66	5,44	16,17	94,56	120	18,5	0,0
14	9-abr-21	20,87	15,54	18,14	26,97	38,52	120	56,4	0,0
15	16-abr-21	4,45	4,25	6,66	68,21	36,46	120	18,1	0,0
16	23-abr-21	7,08	6,78	8,51	66,44	31,21	120	38,7	0,0
17	30-abr-21	0,10	8,32	8,73	75,10	27,78	120	29,2	0,0
18	7-may-21	0,00	1,63	10,16	63,37	44,86	120	6	0,0
19	14-may-21	0,03	6,22	7,81	64,24	41,73	120	32,7	0,0
20	21-may-21	0,00	0,71	8,89	30,14	80,28	120	2,5	0,0
21	28-may-21	6,71	11,01	10,79	61,67	29,85	120	52,6	0,0
22	4-jun-21	16,83	20,51	35,89	42,69	4,10	120	49,7	0,0
23	11-jun-21	28,26	43,23	32,08	16,42	0,03	120	58,8	0,0
24	18-jun-21	73,06	27,14	16,25	3,57	0,00	120	37,2	0,0
25	25-jun-21	14,77	22,67	54,88	27,71	0,00	120	7,2	0,0
26	2-jul-21	20,60	41,24	43,58	14,61	0,00	120	50,7	0,0
27	9-jul-21	3,09	18,21	53,30	45,42	0,00	120	35	0,0
28	16-jul-21	6,41	62,40	43,40	7,82	0,00	120	83,9	0,0
29	23-jul-21	11,1	41,0	57,9	10,1	0,0	120	0,0	0,0
30	30-jul-21	43,2	55,1	20,6	1,2	0,0	120	39	0,0
31	6-ago-21	18,7	66,2	27,5	7,6	0,0	120	44,9	0,0
32	13-ago-21	14,2	48,8	46,2	10,9	0,0	120	8,1	0,0
33	20-ago-21	13,7	48,3	46,1	12,0	0,0	120	11,9	0,0

Anexo 4. Análisis de agua

Lote	# de pozos	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO_3	SO_4	RAS
			dS/m	Meq/litro							
2	2	7,12	0,24	0,77	0,84	0,40	0,11	0,31	1,51	0,16	0,45
5	3	7,21	4,40	4,71	13,9	24,9	0,07	28,6	3,93	11,5	8,17
2	6	7,21	0,48	1,62	1,69	1,27	0,13	0,65	3,84	0,14	0,99
2,1	7	7,21	0,47	0,58	1,00	2,97	0,07	0,84	2,87	0,55	3,34
4	11	6,18	2,46	9,81	9,50	5,72	0,06	5,20	1,00	17,3	1,84
3	14	7,69	5,37	1,93	9,76	44,4	0,03	19,9	11,6	19,3	18,4
1	16	7,64	1,59	1,21	2,21	12,7	0,04	7,21	3,86	4,25	9,71
2	17	6,87	2,64	10,6	10,6	6,63	0,09	6,38	6,35	11,6	2,03
1	20	6,70	7,61	16,8	32,3	27,7	0,09	61,1	2,27	11,5	5,29
3	21	7,21	0,69	3,28	2,19	1,16	0,24	0,46	4,37	1,78	0,70
0	22	7,14	3,47	9,31	14,5	12,6	0,03	4,50	13,0	15,2	3,65
5	23	7,29	1,43	2,69	4,58	6,72	0,06	9,53	2,39	2,31	3,53

Anexo 5. Índices hidrogeoquímicos

Lote	# de pozos	Indices Hidrogeoquimicos					
		Mg/Ca	K/Na	Cl/HCO3	Cl/SO4	(Cl-(Na+Ca))/Cl	HCO3/(Cl+ SO4)
2	2	1,09	0,48	0,21	1,94	-2,77	3,21
5	3	2,95	1,79	7,28	2,49	-0,04	0,10
2	6	1,04	0,75	0,17	4,64	-3,45	4,86
2,1	7	1,72	2,97	0,29	1,53	-3,23	2,06
4	11	0,97	0,60	5,20	0,30	-1,99	0,04
3	14	5,06	4,55	1,72	1,03	-1,33	0,30
1	16	1,83	5,75	1,87	1,70	-0,93	0,34
2	17	1,00	0,63	1,00	0,55	-1,70	0,35
1	20	1,92	0,86	26,92	5,31	0,27	0,03
3	21	0,67	0,53	0,11	0,26	-8,65	1,95
0	22	1,56	0,87	0,35	0,30	-3,87	0,66
5	23	1,70	1,47	3,99	4,13	0,01	0,20

Anexo 6. Sales hipotéticas

SALES HIPOTETICAS FORMADAS EN LA FINCA FRANCIA (m.e/L)											
Muestra	NaCl	$NaHCO_3$	$KHCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	KCl	$CaCl_2$	$CaSO_4$	Na_2SO_4	MgCl2
2	0,31	0,09	0,11	0,77	0,54	0,16	0	0	0	0	0
3	24,9	0		1,08	2,85	9,35	0,07	3,63	0	0	0
6	0,65	0,62	0,13	1,62	1,47	0,14	0	0	0	0	0
7	0,84	2,13	0,07	0,58	0,09	0,55	0	0	0	0	0
11	5,2	0,52	0,06	0,42	0	7,91	0	0	9,39	0	0
14	19,9	11,6	0	0	0	4,47	0	0	1,93	12,9	0
16	7,21	3,86	0	0	0	1,41	0	0	1,21	1,63	0
17	6,38	0,25	0,09	6,01	7,01		0	0	0	0	0
20	27,7	0	0	0	2,27	11,5	0,09	16,8	0	0	16,51
21	0,46	0,7	0,24	3,28	0,15	1,78	0	0	0	0	0
22	4,5	8,1	0,03	4,87	0	10,76	0	0	4,44	0	0
23	9,53	0	0	0	2,39	2,31	0,06	2,69	0	0	0,06

Anexo 7. Muestreo morfológico del cultivo de Coco (*Cocos nucífera L*)

Muestreo morfologico del cultivo de Coco (Cocos nuciofera L)									
Pozo	**N° de hojas**	**Ancho de los foliolos**	**Posicion de la hoja**	**Diametro del tallo**	**Largo de los foliolos**	**Distacia vertical**	**Distancia horizontal**	**Edad (años)**	**Bloque**
1	17,05	5,27	8,8	137,45	111	37,6	217,65	3,6	1
2	17	5,21	9,15	132,5	111,6	36,5	220,75	3,6	1
3	8,3	4,6	4,3	50,25	67,9	23,5	116,3	2,5	1
4	6,6	4,1	3,6	36,7	56,6	24,6	79,8	2,5	1
5	11,4	5	6	69,15	81,6	29,04	145,79	2,5	1
6	13,35	5,15	6,95	107,37	99,7	37,15	186,5	2,5	1
7	10,04	4,8	5,29	58,84	86,55	30,97	119,79	2,5	1
8	8	3,9	4,16	38,6	70	27,02	72,91	2,5	1
9	8,75	4,15	4,75	46	57,16	29,87	110,4	2,5	1
10	No	No	No	No	No	No	No	0,6	1
11	No	No	No	No	No	No	No	0,6	1
12	3,12	2,67	1,75	17,93	37,5	15,87	31,62	2,5	1
13	6,06	2,95	3,31	27,15	48,34	22,15	51,5	2,5	1
14	4,68	3,21	2,75	23,84	45,75	21,54	46,18	2,5	1
15	7,87	3,52	4,25	34,37	56,25	24,56	81,18	2,5	1
16	7,81	3,63	4,06	37,46	60,25	22,68	67,71	3	3
17	6,56	3,2	3,6	25,9	54,3	19,62	47,96	2	3
18	7,87	3,7	4,18	34,34	66,83	26,5	67,87	2	3
19	5,75	2,3	3,00	21,56	50,5	17,5	39	2	3
20	8,75	3,2	4,87	25,87	59	25,87	59,5	2	3
21	8,65	3,94	4,8	40,57	70,8	33,05	61,15	2,2	2
22	9,5	4,45	4,93	47,68	71,5	29,75	95,56	2,5	2
23	6,6	3,3	3,55	27,15	46,93	25,25	65,87	2,5	2
24	10,55	4,9	5,55	78,6	101,53	39,2	152,85	2,5	2
25	11,25	5,23	5,95	74,8	103,8	40,65	165,45	2,5	2
26	9,37	4,61	4,87	54	90,64	32,75	112,1	2,5	2
27	8,25	4,09	4,3	44,95	78,2	31	67,29	2,2	2
28	7,62	4,0	4,12	40,25	68,6	28,25	86,75	2,2	2
29	6,93	4,2	4,31	44,9	79,95	29,18	78,87	2,5	2
30	9,31	5,05	5,0	61,5	100,75	33,06	131,12	2,2	2
C1	9,6	4,56	5,05	55,32	93,6	32,15	118,95	2,2	2
C2	8,87	4,09	4,56	42,75	71,36	27,87	88,56	2,5	2
C3	8,08	3,67	4,3	36,2	64,3	25,62	62,83	2,2	2
C4	7,5	4,2	4,0	42,16	81,3	28,2	81,16	2,2	2
C5	10,16	4,1	5,3	46	70,88	30,16	81,75	2,2	2
C6	7,08	3,27	4,08	30,87	53	28,58	62,16	2	3