

**PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS  
EN LA CENTRAL SICARARE S.A DEL MUNICIPIO AGUSTÍN CODAZZI,  
DEPARTAMENTO DEL CESAR – COLOMBIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE  
LOS LODOS GENERADOS EN LA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES  
DE LA FÁBRICA DE LÁCTEOS DPA NESTLÉ COLOMBIA LTDA.**

**YENNY FABIOLA REYES ANTOLINEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2012**

**PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS  
EN LA CENTRAL SICARARE S.A DEL MUNICIPIO AGUSTÍN CODAZZI,  
DEPARTAMENTO DEL CESAR – COLOMBIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE  
LOS LODOS GENERADOS EN LA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES  
DE LA FÁBRICA DE LÁCTEOS DPA NESTLÉ COLOMBIA LTDA.**

**YENNY FABIOLA REYES ANTOLINEZ**

**Monografía para optar al título de  
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director:**

**Dr. LUIS MARIANO IDARRAGA BERNAL**

**Co-Director**

**Msc. OSCAR ANDRES ZULETA HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2012**

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                 | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCCIÓN .....                                              | 13   |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                              | 14   |
| 1.1. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD .....                           | 16   |
| 1.2. OBJETIVOS .....                                            | 16   |
| 1.2.1. Objetivo General .....                                   | 16   |
| 1.2.2. Objetivos Específicos .....                              | 17   |
| 1.3. METODOLOGÍA.....                                           | 17   |
| 1.3.1. Preliminar .....                                         | 17   |
| 1.3.2. Estructura de la recuperación del suelo .....            | 18   |
| 1.3.3. Trabajo de oficina.....                                  | 18   |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                                          | 20   |
| 2.1. ANTECEDENTES .....                                         | 20   |
| 2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO: AGUSTÍN CODAZZI ..... | 21   |
| 2.2.1. Clima .....                                              | 23   |
| 2.2.2. Población.....                                           | 24   |
| 2.2.3. Uso del suelo.....                                       | 24   |
| 2.2.4. Medio Ambiente .....                                     | 26   |
| 2.2.5. Indicadores económicos y productivos.....                | 28   |
| 2.3. CENTRAL SICARARE S.A.....                                  | 29   |
| 2.3.1. Reseña Histórica .....                                   | 29   |
| 2.3.2. Localización y Extensión .....                           | 30   |
| 2.3.3. Aspectos Biofísicos .....                                | 32   |
| 2.3.4. Usos del Suelo Actual .....                              | 32   |
| 2.4. ACEITE DE PALMA .....                                      | 33   |
| 2.4.1. Historia y Descripción.....                              | 33   |
| 2.4.2. Proceso Agroindustrial .....                             | 37   |
| 2.4.3. Importancia de la palma de aceite.....                   | 38   |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.4. Usos y Aplicaciones .....                                                    | 38  |
| 2.4.5. Políticas Nacionales .....                                                   | 40  |
| 2.4.6. Aspectos Ambientales del Cultivo de Palma de Aceite .....                    | 41  |
| 3. DESARROLLO .....                                                                 | 44  |
| 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA CENTRAL SICARARE S.A. ....                 | 44  |
| 3.1.1. Zona 1: Lotes Tamacá .....                                                   | 53  |
| 3.1.2. Zona 2: Lotes Pororó.....                                                    | 58  |
| 3.1.3. Zona 3: Lotes La Esperanza .....                                             | 60  |
| 3.1.4. Zona 4: Lotes La Montaña Incluye Basurero.....                               | 62  |
| 3.1.5. Síntesis de la Caracterización de los Suelos.....                            | 63  |
| 3.2. MEJORES TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DISPONIBLES PARA SUELOS<br>SALINO-SÓDICOS..... | 65  |
| 3.2.1. Generación de Lodos Orgánicos.....                                           | 69  |
| 3.3. PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE LA ENMIENDA SELECCIONADA                       | 77  |
| 3.3.1. Lavado del Suelo.....                                                        | 77  |
| 3.3.2. Preparación de Tierras .....                                                 | 78  |
| 3.3.3. Grosor de la Mezcla .....                                                    | 79  |
| 3.3.4. Determinación de la Dosis.....                                               | 80  |
| 3.3.5. Dosis Máxima.....                                                            | 82  |
| 3.3.6. Cálculo de la Dosis Máxima de Lodos .....                                    | 83  |
| 3.3.7. Cantidad de Materiales.....                                                  | 87  |
| 3.3.8. Procedimiento de Mezclado .....                                              | 88  |
| 3.3.9. Experiencias Similares .....                                                 | 92  |
| 3.4. RESULTADOS ESPERADOS .....                                                     | 94  |
| 3.5. RECOMENDACIONES .....                                                          | 95  |
| 3.5.1. Buenas prácticas agrícolas .....                                             | 95  |
| 3.5.2. Buenas prácticas ambientales.....                                            | 98  |
| 4. CONCLUSIONES .....                                                               | 102 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                                                   | 103 |
| ANEXOS.....                                                                         | 105 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                     | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1: Precipitación mensual y anual 2005 – 2008.....                                                                                             | 23          |
| Tabla 2: Temperatura mensual y anual 2006 - 2008 .....                                                                                              | 24          |
| Tabla 3: Principales países productores de Palma de aceite (miles de toneladas)                                                                     | 36          |
| Tabla 4: Principales países exportadores de Palma de aceite (miles toneladas) ..                                                                    | 36          |
| Tabla 5: Perfil litográfico. ....                                                                                                                   | 44          |
| Tabla 6: Prueba de bombeo. ....                                                                                                                     | 45          |
| Tabla 7: Análisis de características de hidráulicas por método de Theis y Jacob.                                                                    | 46          |
| Tabla 8: Técnica de muestreo de suelos. ....                                                                                                        | 49          |
| Tabla 9: Dimensiones del terreno. ....                                                                                                              | 52          |
| Tabla 10: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes Tamacá.                                                                    | 53          |
| Tabla 11: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes Pororó. ...                                                                | 58          |
| Tabla 12: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes La<br>Esperanza.....                                                       | 60          |
| Tabla 13: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes La<br>Montaña.....                                                         | 62          |
| Tabla 14: Síntesis de caracterización de los suelos no cultivados.....                                                                              | 65          |
| Tabla 15: Mejores técnicas disponibles para el tratamiento de los suelos salino-<br>sódicos.....                                                    | 66          |
| Tabla 16: Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP ....                                                                         | 74          |
| Tabla 17: Comparación con los límites permisibles legales.....                                                                                      | 74          |
| Tabla 18: ANEXO IA. Valor límite de concentración de metales pesados en los<br>suelos (mg/kg de materia seca). ....                                 | 75          |
| Tabla 19: ANEXO IB. Valor límite de concentración de metales pesados en los<br>lodos destinados a utilización agraria (mg/kg de materia seca). .... | 76          |
| Tabla 20: Comparación con los límites permisibles en España. ....                                                                                   | 76          |
| Tabla 21: Características básicas del terreno. ....                                                                                                 | 85          |
| Tabla 22: Características básicas del lodo. ....                                                                                                    | 85          |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Tabla 23: Estimación de la proporción de lodos. ....  | 86 |
| Tabla 24: Parámetros materia orgánica. ....           | 87 |
| Tabla 25: Recomendación para el manejo de lodos. .... | 88 |

## LISTA DE IMÁGENES

|                                                                                            | <b>Pág.</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Imagen 1: Municipio de Agustín Codazzi .....                                               | 14          |
| Imagen 2: Municipio de Agustín Codazzi .....                                               | 22          |
| Imagen 3: Distribución del uso del suelo .....                                             | 24          |
| Imagen 4: Central Sicarare S.A. ....                                                       | 30          |
| Imagen 5: Palma africana. ....                                                             | 33          |
| Imagen 6: Distribución de cultivos de palma en Colombia.....                               | 35          |
| Imagen 7: Racimo y fruto de palma africana. ....                                           | 37          |
| Imagen 8: Biodiesel. ....                                                                  | 39          |
| Imagen 9: Puntos de muestreo de lotes Tamacá.....                                          | 48          |
| Imagen 10: Lotes no cultivados de la Central Sicarare S.A. ....                            | 52          |
| Imagen 11: Disposición de materiales lodo y tierras en el proceso de<br>restauración. .... | 81          |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                     | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|
| Anexo A: Concepto Especialista .....                                | 105         |
| Anexo B: Análisis de Laboratorio lodos DPA Nestlé .....             | 108         |
| Anexo C: Análisis de Laboratorio suelos de la central Sicarare..... | 111         |

**TITULO:** PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS EN LA CENTRAL SICARARE S.A DEL MUNICIPIO AGUSTÍN CODAZZI, DEPARTAMENTO DEL CESAR – COLOMBIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS LODOS GENERADOS EN LA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE LA FÁBRICA DE LÁCTEOS DPA NESTLÉ COLOMBIA LTDA.\*

**AUTOR:** YENNY FABIOLA REYES ANTOLINEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Medio Ambiente, suelo, impacto, conservación y preservación.

**CONTENIDO:**

La dinámica económica creciente de Colombia en los últimos años ha propiciado el desarrollo de un gran número de actividades agropecuarias. Sin embargo, el proceso agronómico comprende una serie de afecciones al medio ambiente que deben corregirse. La restauración progresiva e integrada dentro de las etapas de explotación, permite optimizar los costos y acelerar la recuperación de las áreas degradadas.

El aprovechamiento agrónomo comprende toda una serie de afecciones al medio ambiente, que se manifiestan en forma de distintos impactos ambientales desde el comienzo de la explotación. Los efectos más persistentes y visibles sobre el medio ambiente son la acumulación de materiales en el suelo por las malas prácticas de producción. La aceptación por parte de nuestra sociedad del desarrollo sostenible, de forma más o menos explícita, como el modelo de crecimiento que debe permitir compaginar la explotación de los recursos naturales con su preservación para generaciones futuras, ha permitido implantar leyes que promueven la mitigación y la corrección de los impactos ambientales generados por las actividades humanas.

En el campo de la agricultura, se han realizado notables progresos para reducir estos impactos tanto en la fase de producción como en la de preservación. La preservación se hace necesaria, ya que los procesos naturales de regeneración son demasiado lentos. Paralelamente, se han ido incorporando en la concepción de los proyectos de conservación, conceptos de la llamada ecología de la conservación, como diversidad, sucesión o resiliencia, que poco a poco, van orientando los trabajos de preservación respecto a una integración más armónica en el entorno natural del área afectada. Más recientemente, el reconocimiento del paisaje como un valor natural y económico refuerza la importancia de plantear el desarrollo sostenible en cada campo de producción.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: Dr. Luis Mariano Idarraga Bernal. Co-director: Msc. Oscar Andre Zuleta Hernández.

**TITLE:** OFFER FOR THE RECOVERY OF THE SOILS CONTAMINATED IN THE HEAD OFFICE SICARARE S.A OF THE MUNICIPALITY AGUSTÍN CODAZZI, DEPARTMENT OF THE CESAR - COLOMBIA BY MEANS OF THE APPLICATION OF THE MUDS GENERATED IN THE FILTER SYSTEM OF WASTE WATER OF THE FACTORY OF LACTEAL DPA NESTLÉ COLOMBIA LTDA..

**AUTOR:** YENNY FABIOLA REYES ANTOLINEZ

**KEY WORDS:** Environment, soil, impact, conservation and preservation.

**CONTENT:**

The economic increasing dynamics of Colombia in the last years has propitiated the development of a great number of agricultural activities. Nevertheless, the agronomic process understands a series of affections to the environment that must be corrected. The restoration progressive and integrated inside the stages of exploitation, it allows to optimize the costs and to accelerate the recovery of the degraded areas.

The utilization agronomist understands the whole series of affections to the environment, which they demonstrate in the shape of different environmental impacts from the beginning of the exploitation. The most persistent and visible effects on the environment are the accumulation of materials in the soil for the bad practices of production. The acceptance on the part of our company of the sustainable development, of more or less explicit form, as the model of growth who must allow to reconcile the exploitation of the natural resources with his preservation for future generations, has allowed to implant laws that promote the mitigation and the correction of the environmental impacts generated by the human activities.

In the field of the agriculture, notable progresses have been realized to reduce these impacts so much in the phase of production as in that of preservation. The preservation becomes necessary, since the natural processes of regeneration are too slow. Parallel, they have been incorporating in the conception of the projects of conservation, concepts of the so called ecology of the Conservation, as diversity, succession or resiliencia, that little by little, they are orientating the works of preservation with regard to a more harmonic integration in the natural environment of the affected area. More recently, the recognition of the landscape like a natural and economic value reinforces the importance of raising the sustainable development in every field of production

---

\* Draft Grade

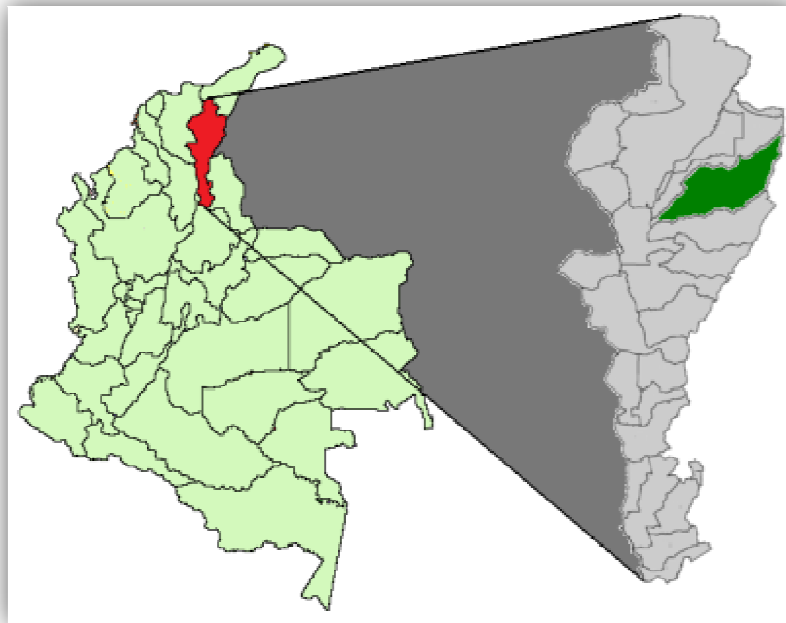
\*\* Engineering Faculty of de Physical Chemistry. School of Chemical Engineering. Specialization in Environmental Engineering. Director: Dr. Luis Mariano Idarraga Bernal. Co-director. Msc. Oscar Andre Zuleta Hernández.

## **INTRODUCCIÓN**

El aprovechamiento agrónomo comprende toda una serie de afecciones al medio ambiente, que se manifiestan en forma de distintos impactos ambientales desde el comienzo de la explotación. Los efectos más persistentes y visibles sobre el medio ambiente son la acumulación de materiales en el suelo por las malas prácticas de producción.

La aceptación por parte de nuestra sociedad del desarrollo sostenible, de forma más o menos explícita, como el modelo de crecimiento que debe permitir compaginar la explotación de los recursos naturales con su preservación para generaciones futuras, ha permitido implantar leyes que promueven la mitigación y la corrección de los impactos ambientales generados por las actividades humanas.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



**Imagen 1: Municipio de Agustín Codazzi**

*Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)*

El municipio Agustín Codazzi del departamento del Cesar, ubicado al norte de Colombia (Imagen 1), tenía como actividad económica en la década de los 50, la producción de algodón. Para el mantenimiento de estos cultivos se hacía necesaria la utilización de productos químicos como fertilizantes altamente solubles. Años posteriores, el mercado algodonero empezó a ser sustituido por cultivos ilícitos, debido al conflicto social que se vivía en la región. Esto ocasionó que los insumos de la producción del algodón, entre ellos los fertilizantes, pasaran a ser residuos para los agricultores, quienes empezaron a realizar vertimientos sin control en algunas zonas seleccionadas arbitrariamente como puntos de disposición, debido a la carencia de técnicas de manejo de este tipo de residuos peligrosos y la ausencia de una normativa ambiental que legislara su gestión. Como consecuencia de esta mala práctica, las áreas mencionadas se encuentran

contaminadas impidiendo su desarrollo agropecuario y generando un problema socio–económico.

Sin embargo muchos de estos suelos se encuentran actualmente en proceso de descontaminación, como los ubicados en la zona rural del municipio de Agustín Codazzi operados por la empresa Central Sicarare S.A., cuyo objeto comercial es la producción de aceite vegetal, extraído de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq) y que abarca un área de 5.000 Has.

La empresa Central Sicarare S.A. dentro de su plan de desarrollo orientado a la satisfacción de la demanda de mercado, está aumentando su producción, por lo que ha visto necesario desde el 2007, la compra de fincas aledañas a su terreno, en las cuales durante décadas se han producido innumerables cultivos, deteriorando así la calidad del suelo.

Por otra parte, la fábrica de lácteos DPA Nestlé Colombia Ltda., ubicada en Valledupar a 60 Km del municipio de Agustín Codazzi, se encarga de la transformación de leche líquida a leche en polvo. Esta fábrica cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) biológica que trata los residuos líquidos propios de su actividad, generando lodos orgánicos ricos en nutrientes, los cuales actualmente se envían directo al vertedero. Esto significa que se desaprovecha un material apto para la fertilización de suelos y a su vez, genera un alto gasto para la empresa, ya que se paga a un gestor autorizado para disponer el residuo.

Con este proyecto se busca darle solución al problema de contaminación de suelos de las áreas afectadas dentro de la Central Sicarare S.A., mediante el aprovechamiento de los lodos residuales ricos en nutrientes y carbonos, generados en la PTAR de DPA Nestlé Colombia Ltda., mezclándolos a su vez, con los residuos generados del mantenimiento silvicultural de la plantación y los

residuos orgánicos de la zona de alimentación de la empresa, formando un compost adecuado para la recuperación de los suelos.

### **1.1. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD**

Este proyecto se genera por la doble necesidad que se plantea. Por un lado la ausencia de una alternativa efectiva que permita recuperar los suelos contaminados de la Central Sicarare S.A., como apoyo al proceso de recuperación de suelos adelantado por la empresa, disminuyendo así las áreas contaminadas y aumentando la producción que contribuya con el objetivo del desarrollo socio-económico del municipio de Agustín Codazzi.

Así mismo, se plantea la necesidad de aprovechar efectivamente los lodos generados en la PTAR de la fábrica DPA Nestlé Colombia Ltda., reduciendo a su vez los costos operacionales.

Esta propuesta se convierte en una alternativa atractiva para ser analizada desde el punto de vista técnico, ambiental y económico por las partes involucradas, pues se está aprovechando residuos de potencial orgánico que actualmente se están desechando, mediante la implementación de un compost de alta calidad sin componentes químicos para la recuperación de suelos.

### **1.2. OBJETIVOS**

#### **1.2.1. Objetivo General**

Proponer una estrategia para la recuperación de los suelos contaminados de la Central Sicarare S.A., mediante la aplicación de una enmienda orgánica, a partir de los lodos producidos en la PTAR de la fábrica de lácteos DPA Nestlé Colombia Ltda.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Proyectar la recuperación de los suelos contaminados de la Central Sicarare S.A.
- Plantear la alternativa del aprovechamiento eficiente de los lodos orgánicos generados por la PTAR de DPA Nestlé Colombia Ltda.
- Analizar la viabilidad económica del aprovechamiento de los lodos residuales frente al manejo actual.
- Realizar el análisis legal frente a la normativa ambiental colombiana de la propuesta planteada para la recuperación de suelos.

## **1.3.METODOLOGÍA**

### **1.3.1. Preliminar**

Para desarrollar la propuesta para la recuperación de suelos, se enfatizará en el análisis de la problemática planteada, la cual será el punto de partida para la proyección de la mejor alternativa, con el fin de proponer las oportunidades de recuperación del suelo contaminado. Ello constituye una etapa previa a partir de la cual se tendrá la información suficiente para decidir programas y estructurar el proyecto con la alternativa más viable, desde el punto de vista técnico y ambiental para la consecución de los objetivos descritos. En este caso la implantación de la alternativa a escoger dependerá de las empresas involucradas, que podrán ser tan simple como la implementación del compost enriquecido de alta calidad o tan compleja como la ejecución de un proyecto multidisciplinario rediseñando su modo de producción.

Para ello se plantea:

- Recolección de datos: Estudios del suelo contaminado; estos estudios son realizados por laboratorios certificados en Colombia y contratados por las empresas involucradas, DPA Nestlé Colombia Ltda. y Central Sicarare S.A.
- Estudio y revisión de Bibliografía:
  - o Plan de Manejo Ambiental (PMA) de la fábrica DPA Nestlé Colombia Ltda.
  - o Manual de calidad y producción de la fábrica DPA Nestlé Colombia Ltda.
  - o Plan de Manejo Ambiental de la Central Sicarare S.A.
- Comparación otros proyectos.

### **1.3.2. Estructura de la recuperación del suelo**

Dentro del proceso se incluye la Planeación Estratégica, en la cual se tendrá en cuenta el entorno ecológico del Municipio de Agustín Codazzi. Este análisis permite describir las características geográficas y socio-económicas del sector, en donde se proyecta la alternativa planteada. Identificar la disponibilidad de recursos naturales y de infraestructura que tienen las empresas involucradas, constituye el enfoque para analizar la incidencia que tiene esta situación en el desarrollo de las actividades de las empresas, tales como área de insumos, procesos de trabajo, productos finales y elementos residuales. Esta etapa empleará:

- Análisis lodos fuentes.
- Identificación de los Aspectos Ambientales.
- Sistema de aprovechamiento de lodo residual como abono.

### **1.3.3. Trabajo de oficina**

El éxito de la estructura del proyecto para la recuperación de suelos degradados depende de la síntesis y análisis de los datos e información recolectada, con el fin de que el resultado obtenido y las conclusiones sean de fácil comprensión y como idea de negocio sea asimilable, con este planteamiento se realiza:

- Digitalización de la Información recolectada.
- Revisión de la Metodología del proyecto.
- Resultados proyectados.
- Establecer las sugerencias documentadas y conclusiones.
- Documento Final con las recomendaciones.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES**

A partir de los años cincuenta, Colombia sufrió profundos cambios en su estructura socio-económica y demográfica, como resultado del crecimiento de la producción industrial manufacturera, el acelerado proceso de urbanización, los cambios en la estructura agraria y el incremento de las exportaciones.

En particular, cabe resaltar la evolución de las formas tradicionales de explotación de la agricultura antigua, hacia formas de agricultura comercial capitalista y el desarrollo de extensas zonas del país con cultivos como el algodón, el sorgo, la caña de azúcar y la palma africana. Por su naturaleza y características, estos productos requerían importantes inversiones de capital y de mano de obra calificada. Además, exigían el desarrollo de la infraestructura vial, de comunicaciones, portuario y energético para garantizar su articulación con los mercados nacionales e internacionales.

El desarrollo de la agricultura favoreció la agroindustria, estimuló la inversión en maquinaria, construcciones y equipos, y generó cadenas productivas de relativa importancia en algunas regiones del país.

A partir de la atenuación del conflicto armado del país, la producción algodonera en Agustín Codazzi fue aumentando, lo cual reflejó la dinámica nacional y al igual que en el resto del país, produjo transformaciones importantes en la estructura socio-demográfica y económica del municipio. Para dar un indicador, en la década de los años 60, la demanda de fuerza de trabajo recolectora de algodón ascendía a 60.000 trabajadores.

Sin embargo, como resultado de la pérdida de competitividad de los productos nacionales en el mercado internacional y del surtimiento de regiones con mayores ventajas comparativas, como el sudeste asiático, a finales de los años 70 la producción algodonera empieza a decaer de manera dramática, generando una amplia crisis económica en el municipio. A esto se agregan los cambios climáticos y el decrecimiento de la productividad de los suelos, por la constante explotación y el abuso de agroquímicos, que generan una amplia crisis en esta actividad. En estas condiciones y ante la falta de alternativas económicas, los cultivos ilícitos<sup>1</sup> encuentran un terreno propicio para su siembra y comercialización.

El auge en la producción de estos cultivos da origen a nuevas formas de acumulación de capital y a cambios significativos en la estructura social de la región. Además, debido a las condiciones en que se produce, se constituye en importante factor generador de violencia.

En la década de los años 80, la caída de los precios de la marihuana, unida a las políticas de apertura de las importaciones, particularmente de bienes agrícolas, terminan por resquebrajar la frágil economía del municipio<sup>2</sup>.

## **2.2.DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO: AGUSTÍN CODAZZI**

Agustín Codazzi, es un municipio Colombiano que forma parte de la subregión norte del departamento del Cesar, territorio constituido por Valledupar, Agustín Codazzi, La Paz, Manaure, San Diego, y Becerril.

El municipio de Agustín Codazzi se encuentra a 45 minutos de la capital del departamento del Cesar Valledupar, a una distancia de 60 Km. El municipio,

---

<sup>1</sup> Cultivos ilícitos: Marihuana, mata de coca, flor de amapola.

<sup>2</sup> Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Agustín Codazzi.

fundado en 1859, está conformado por 42 barrios y posee diversidad de climas debido a que parte de su territorio la conforma la Serranía del Perijá.



**Imagen 2: Municipio de Agustín Codazzi.**

*Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)*

El municipio tiene una extensión total de 1739 Km<sup>2</sup> y una altitud de la cabecera municipal de 131 msnm, forma parte de la cuenca del río Cesar, y del conjunto de la Serranía del Perijá, colinda con Venezuela y su Estado del Zulia, e históricamente ha mantenido estrechas relaciones sociales y económicas con la ciudad de Machiques, próxima a sí mismo de la frontera colombiana. (Ver Imagen 2).

El territorio, en su conjunto corresponde a la planicie aluvial del río Cesar, y al sistema montañoso del Perijá. Asentamiento de comunidades indígenas y de población campesina que desarrolla actividades económicas importantes en minifundios dentro de condiciones de vida bastante limitadas. La carretera nacional San Roque - San Juan, divide el territorio en las anteriores unidades y así mismo el tipo de economía que ellas desarrollan.

Además del conjunto urbano de la ciudad cabecera del municipio, se identifican dos unidades o centros rurales Casacará y Llerasca, centros menores de gran importancia y dinamismo. El conjunto del territorio del Perijá, se subdivide en cuatro corregimientos y el valle aluvial, el cual por el gran tamaño de las parcelas y limitado poblamiento no corresponde a ninguna unidad administrativa.

### 2.2.1. Clima

La zona presenta un clima cálido seco, con temperaturas superiores a los 30°C y una altura promedio de 200 m.s.n.m. El promedio de lluvias es de 1.030 mm anuales. En la zona se distinguen dos periodos climáticos: ligeras lluvias entre los meses de abril a junio que se intensifican durante los meses de septiembre a noviembre; el período seco se presenta en los meses de diciembre a febrero y de junio a agosto. Generalmente la intensidad de las lluvias es alta, ocasionando fuertes inundaciones durante la época de invierno.

En los últimos años debido a los fenómenos climáticos como el Niño y la Niña es difícil establecer los meses en los cuales se presentaran las mayores precipitaciones en el año ya que esto se ha vuelto una variable cambiante.

En la Tabla 1 y Tabla 2 se describen los datos de precipitación y de temperatura mensual y anual registrados por la Estación Pluviométrica del municipio de Agustín Codazzi.

**Tabla 1: Precipitación mensual y anual 2005 – 2008**

| AÑO  | ESTACIÓN | ENE | FEB  | MAR  | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC  | ANUAL  |
|------|----------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| 2005 | 1        | -   | 0,3  | 32,9 | 63,1  | 187,2 | 188,7 | 73,5  | 124,7 | 106,0 | -     | 251,6 | 0,0  | 1027,7 |
| 2006 | 1        | 1,9 | 39,2 | 5,5  | 123,6 | 96,5  | 73,3  | 71,6  | -     | 94,6  | 151,2 | 173,8 | 38,5 | 869,7  |
| 2007 | 1        | 0,0 | 1,1  | 74,2 | -     | 132,8 | 66,0  | 25,6  | 99,2  | 182,8 | 291,3 | 66,4  | 9,2  | 948,6  |
| 2008 | 1        | 0,0 | 0,0  | 60,2 | 121,3 | 222,8 | 39,7  | 119,6 | 89,5  | 124,7 | 242,5 | 333,4 | 0,0  | 1353,7 |

*Fuente: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)*

**Tabla 2: Temperatura mensual y anual 2006 - 2008<sup>3</sup>**

| AÑO  | ESTACIÓN | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV   | DIC  | ANUAL |
|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| 2006 | 1        | 29,3 | 30,1 | 30,3 | 29,1 | 29,3 | 29,4 | 29,9 | 29,5 | 28,2 | 27,8 | 27,,6 | 28,4 | 29,1  |
| 2007 | 1        | 29,4 | 30,2 | 29,7 | 28,6 | 27,4 | 29,9 | 29,8 | 27,6 | 27,7 | 26,7 | 27,5  | 27,6 | 28,4  |
| 2008 | 1        | 28,5 | 29,3 | 29,1 | 28,9 | 28,2 | 28,8 | 29,1 | 27,7 | 27,4 | 26,7 | 26,5  | 27,2 | 28,0  |

*Fuente: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)*

### 2.2.2. Población

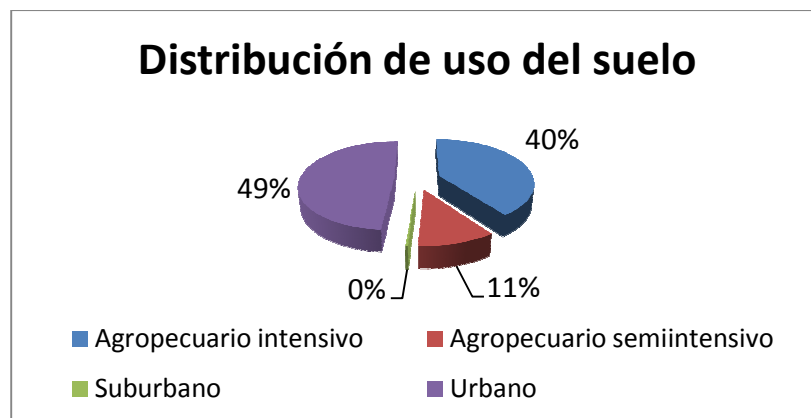
Total año 1999:

- Proyección DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia): 72.979 personas.
- Urbana 61% 44.754 personas.
- Rural 39% 28.225 personas.

### 2.2.3. Uso del suelo

En la Imagen 3: se presenta la distribución de uso del suelo.

**Imagen 3: Distribución del uso del suelo**



*Fuente: La autora*

<sup>3</sup> Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM, estación aeropuerto Alfonso López.

### **El perímetro urbano**

Para determinar el perímetro y específicamente las áreas de expansión del municipio, se tuvieron en cuenta dos aspectos importantes, de un lado las proyecciones de crecimiento poblacional y de otro lado las grandes limitaciones que se han identificado en el territorio urbano, producto de inexistencia de políticas relacionadas con la planificación y el suelo urbano.

### **El suelo rural**

Un municipio con un 40% de sus suelos clasificados para uso agropecuario intensivo, a los que se le suma 11% de suelos para uso agropecuario semintensivo es un caso excepcional en Colombia, por lo que su productividad agropecuaria puede considerarse una de sus mayores ventajas comparativas.

### **El suelo suburbano**

Constituyen esta categoría las áreas ubicadas dentro del suelo rural, en las que se mezclan los usos del suelo y las formas de vida del campo y la ciudad, diferentes a las clasificadas como áreas de expansión urbana, que pueden ser objeto de desarrollo con restricciones de uso, intensidad y densidad, garantizando el autoabastecimiento en servicios públicos domiciliarios, de conformidad con lo establecido en la Ley 99 de 1993 y en la Ley 142 de 1994. Podrán formar parte de esta categoría los suelos correspondientes a los corredores urbanos interregionales.

El área definida como suelo suburbano es de 427 Ha y está localizada al oriente del nuevo perímetro urbano y está limitado por el río Magiriaimo, el Arroyo, el Pozón y el caserío San Ramón. Tiene como eje de desarrollo la vía que conduce a Machiques.

### **El suelo para uso agropecuario intensivo**

Comprende los mejores suelos del municipio, los que se ubican al occidente del eje Casacará–Codazzi, en un extenso abanico, glacís y terrazas; todos ellos planos, en climas cálidos secos con suelos generalmente de fertilidad alta. Comprenden 61.460 ha, 40% del municipio, de las cuales aproximadamente la mitad se dedican a agricultura comercial y lo restante a ganadería.

Las estrategias de reactivación del campo deben centrarse en estas tierras, para las cuales una acción estratégica es el desarrollo de un distrito de riego que permita superar las restricciones que se derivan de los déficits hídricos que se presentan por los rigurosos y largos veranos, permitiendo únicamente una cosecha anual.

### **El suelo urbano de los centros rurales**

El área rural de Codazzi se caracteriza por un gran porcentaje de población dispersa y solo se identifican dos centros rurales que se pueden clasificar como suelo urbano, Casacará y Llerasca.

#### **2.2.4. Medio Ambiente**

Es evidente la interrelación entre la economía y los recursos naturales en cualquier parte del planeta. El medio natural, como componente de la base productiva, provee a la actividad económica de bienes de consumo y recreativos. Como soporte físico de la producción, sirve de receptor de los desechos de las actividades productivas y de consumo. Y en términos biológicos, es el sustento de la vida.

Son diversos los factores que causan el deterioro ambiental, entre los que destacan: el libre acceso a la mayoría de los recursos naturales, falta de mecanismos que permitan cobrar por el daño que causan muchas actividades productivas, falta de incentivos que conduzcan al sector productivo a internalizar

los costos ambientales derivados de la producción y el consumo, falta de inversión en tratamientos de sistemas de agua residuales domésticas o de disposición de residuos sólidos.

Algunos factores o características internacionales como el tráfico de elementos del ecosistema, afectan negativamente a los recursos naturales y al medio ambiente, especialmente la demanda de la fauna y la flora silvestre. Así como también los cultivos ilícitos contribuyen a la deforestación de estos terrenos. Todos estos factores han llevado a que el panorama ambiental del país en general y de municipios como Agustín Codazzi sea preocupante.

Durante los últimos veinte años, en Colombia la calidad del medio ambiente se ha deteriorado a tasas que no tienen precedentes, lo que ha llevado a la crisis ambiental. Crisis que se caracteriza por una alta tasa de deforestación, ocupación de áreas protegidas, alteraciones de los ecosistemas naturales reguladores del recurso (páramos y humedales), deterioro de los suelos, contaminación hídrica y contaminación atmosférica.

Los suelos están en constante degradación. El 45% de éstos son usados para fines distintos de su vocación y, por lo menos, el 8,5% del territorio nacional presenta erosión severa o muy severa.

En resumen el municipio presenta los siguientes problemas ambientales:

- Acelerado proceso de deforestación, especialmente en sitios de recarga hídrica y en áreas de captación de cuencas hidrográficas.
- En zonas planas sistemas de producción agropecuaria ambientalmente muy ineficientes por el abuso de agroquímicos y por la excesiva presión sobre el recurso agua especialmente en áreas de palma africana.

- Medio ambiente altamente deteriorado en todos los centros urbanos, especialmente por lo derivado por el mal manejo y mala disposición final de residuos líquidos y sólidos.
- Suelos de aptitud agrícola utilizados en ganadería extensiva.
- Cementerios de químicos altamente peligrosos.
- Deficiente manejo de suelo urbano.
- Deficiente manejo de aguas residuales y pluviales.
- Deforestación para cultivos ilícitos.

#### **2.2.5. Indicadores económicos y productivos**

##### **Producción**

- Agrícola en cultivos transitorios, área cosechada en 1998, 1.825 Ha., cifra que disminuyó frente a 1986 que fue de 3.033 Ha.
- Café censo cafetero 1995, 2.947 lotes con 5.067 Ha.
- Ganadería = 200.000 cabezas.
- Servicios financieros = 4 bancos.
- Comercio e Industria = 130 establecimientos.
- Gobierno = 4 instalaciones gubernamentales.
- Minería = grava, arena, carbón.
- Industria = láctea, azúcar, aceite de palma.

##### **Economía**

La economía del Municipio es principalmente Agropecuaria basada en el cultivo de Algodón, Café, Caña de Azúcar, Palma Africana y otros productos agrícolas en menor escala. Del mismo modo la cría de semovientes como ganado ovino, caprino y vacuno.

Convirtiéndose la empresa Central Sicarare S.A. en parte solida de esta economía debido a que desde años atrás se ha dedicado a cultivar sorgo, maíz, yuca y trigo entre otros, hoy en día se encuentra en adecuaciones de terrenos y establecimientos de cultivos de palma de aceite por exigencias del mercado y beneficios propios, para luego empezar con los procedimientos de refinería y generación de aceite.

## **2.3.CENTRAL SICARARE S.A.**

### **2.3.1. Reseña Histórica**

En el año 1950 el Dr. Arturo Sarmiento Angulo inicia sus actividades agropecuarias cultivando en el Sinú. En 1953 paralelamente decide vender e importar insecticidas y en 1955 se radica en el Departamento del Cesar, específicamente en Agustín Codazzi, donde cultiva algunos productos tales como algodón, sorgo, maíz, yuca y arroz. Es así como se va desarrollando un complejo agroindustrial denominado Haciendas del Sicarare, y en el año 1963 inicia con un ingenio panelero y posteriormente con un ingenio azucarero. Con el ánimo de contar con una infraestructura más sólida en el año de 1976 se compran unos equipos usados al ingenio Meléndez ubicado en el Valle del Cauca, para instalarlos en esta región y aumentar la capacidad de molienda por día a 400 toneladas de caña de azúcar.

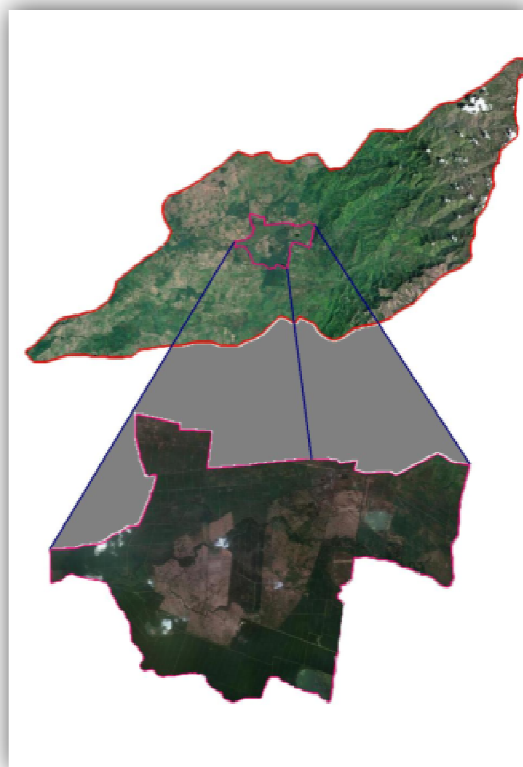
Los negocios del azúcar estaban a la cabeza del propietario, hasta el 03 de Septiembre de 1980 cuando se constituye legalmente la empresa CENTRAL SICARARE S.A. se llegaron a cultivar hasta un área bruta aproximada de 2000 hectáreas dedicadas al cultivo de caña de azúcar, una molienda de 1000 toneladas de caña por día, para una capacidad instalada de 160.000 toneladas en 6 meses. Para llegar a esta capacidad de molienda se realizaron fuertes inversiones en maquinaria y equipos como también adecuación del ingenio, reemplazando algunos equipos que por su capacidad no eran funcionales ni

económicos. La administración y dirección general de la Empresa, CENTRAL SICARARE S.A se encuentra en Bogotá. La planta de producción se encontraba ubicada en la Vereda los Manguitos en el municipio de Codazzi (Cesar) donde se tiene un Gerente Regional para la Empresa.

Además de Bogotá y la planta, se cuenta con oficinas de apoyo en las ciudades de Barranquilla y Valledupar, que se encargan de las ventas locales y adquisiciones varias.

Actualmente la empresa se encuentra en un proceso de desmonte y adecuación de terrenos para la siembra de palma de aceite.

### **2.3.2. Localización y Extensión**



**Imagen 4: Central Sicarare S.A.**

*Fuente: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com)*

La empresa Central Sicarare S.A se encuentra localizada al norte del departamento del Cesar a 11 kilómetros en la vereda los manguitos. De la vía que conduce del municipio de Agustín Codazzi hacia el municipio de la Jagua.

### **Extensión**

Actualmente la empresa tiene una extensión de 5000 ha, las cuales están representadas en 5 fincas dedicadas a la siembra de palma de aceite y en parte a la ganadería, incluyendo dentro de su territorio la zona industrial y el área de vivienda.

### **División política de la empresa**

Actualmente la empresa ocupa una extensión de 5000 Ha las cuales se encuentran repartidos en 4 sectores y subsectores. Dentro de los sectores se encuentra:

- **Zona industrial:** Esta se encuentra ubicada al sur del municipio de Codazzi en esta se encuentra la parte operativa y está dividida de la siguiente manera:
  - o Plantas de beneficio
  - o Cafetería
  - o Almacén
  - o Oficinas
  - o Centro de salud
  - o Patio de fábrica
  - o Taller agrícola (área de soldadura, taller, llantería, Parqueadero)
- **Zona residencial:** Esta se encuentra ubicada aledaña a la zona industrial donde residen trabajadores y familiares de los trabajadores. Esta se encuentra distribuida en 31 viviendas, un casino de profesionales y un casino para trabajadores técnicos

- **Campo o área de siembra:** Este se encuentra dividido en dos subsectores que tienen por nombre pororó y Tamacá, estos a la vez están constituidos por las siguientes fincas:
  - o **Tamacá:** se encuentra ubicada al nororiente de la zona industrial de CENTRAL SICARARE S.A, está dividida en 2 fincas que tienen por nombre Tamacá y La Fe.
  - o **Pororó:** esta se encuentra ubicada al noroccidente de la zona industrial, está en dividida 5 fincas llamadas la montaña, la Europa, Santa Teresa, La Esperanza y Pororó.

### 2.3.3. Aspectos Biofísicos

- Hidrografía

Dentro del componente hídrico superficial, en el área de concesión de CENTRAL SICARARE S.A se encuentra directamente influenciada por la cuenca del río Sicarare, que es el drenaje de un sector importante del flanco occidental de la Serranía del Perijá, el río Fernambuco y el río Casacará.

### 2.3.4. Usos del Suelo Actual

El uso del suelo en las concesiones de la Central Sicarare S.A es muy variado debido a los diferentes usos agropecuarios y la diversidad de cultivos cosechados. El suelo de esta área es netamente agrícola donde se han destacado cultivos como caña, algodón, maíz, y actualmente palma africana

El suelo es el componente más importante en la fase agrícola, debido a esto por su gran manipulación es el que tiene una mayor afectación por los diferentes procedimientos llevados a cabo, este se ve impactado por la alteración por el cambio de uso, alteración por cambio de cobertura, erosión y pérdida de la capa orgánica, compactación, incremento de la fragilidad de los suelos y

desestabilización por procesos erosivos, contaminación por productos químicos, contaminación por disposición inadecuada de materiales sobrante por ejemplo bolsas plásticas y recipientes y por ultimo derrames de hidrocarburos (aceites y ACPM) y sustancias químicas (agroquímicos).

## **2.4.ACEITE DE PALMA**

### **2.4.1. Historia y Descripción**

La palma de aceite es una planta monocotiledónea, de la familia Palmácea y del género *Elaeis*, propia de climas cálidos de mejor desarrollo por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar. Su origen se ubica en el golfo de Guinea en el África occidental. De ahí su nombre científico, *Elaeis guineensis* Jacq., y su denominación popular de palma africana.

La palma de aceite presenta vistosas flores masculinas y femeninas, de las que nacen numerosos frutos ovoides o alargados, que conforman racimos de entre 10 y 40 kilogramos de peso. Antes de adquirir el naranja rojizo que les brinda la madurez, los frutos son casi negros, estos guardan en su interior una única semilla, la almendra o palmiste, que protegen un endocarpio leñoso rodeado, a su vez, por una pulpa carnosa. Ambas, almendra y pulpa, proveen aceite con generosidad, el de palmiste, y el de palma propiamente dicha.



**Imagen 5: Palma africana.**

*Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)*

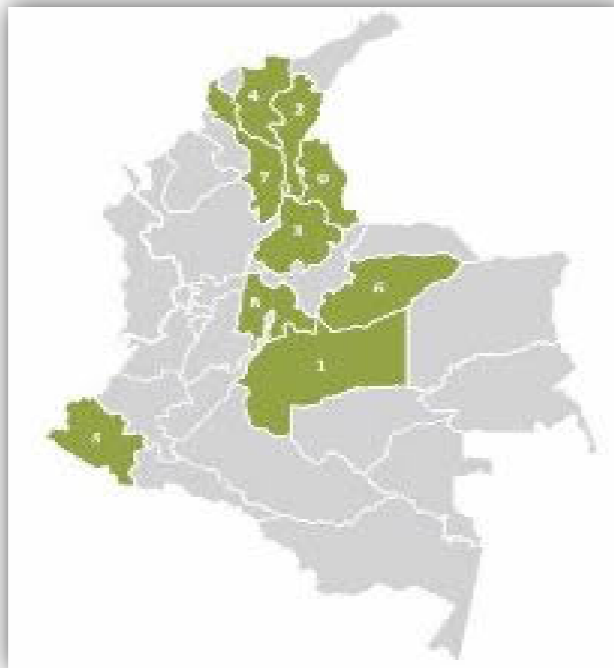
La productividad de la palma de aceite alcanza los cincuenta años, pero desde los veinte o veinticinco su tallo alcanza alturas cercanas a los 20 metros lo que dificulta las labores de cosecha y marca el comienzo de la renovación en las plantaciones comerciales.

Su introducción a la América tropical se atribuye a los colonizadores y comerciantes esclavos portugueses, que la usaban como parte de la dieta alimentaria de sus esclavos en el Brasil.

En 1932, Florentino Claes fue quien introdujo la palma africana de aceite en Colombia y fueron sembradas con fines ornamentales. Pero el cultivo comercial sólo comenzó en 1945 cuando la United Fruit Company estableció una plantación en la zona bananera del departamento del Magdalena.

La expansión del cultivo en Colombia ha mantenido un crecimiento sostenido. A mediados de la década de 1960 existían 18.000 hectáreas en producción y hoy existen más de 360.000 hectáreas (a 2010) en 73 municipios del país distribuidos en cuatro zonas productivas.

- Norte: Magdalena, Norte del Cesar, Atlántico, Guajira.
- Central: Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar.
- Oriental: Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá.
- Occidental: Nariño.



**Imagen 6: Distribución de cultivos de palma en Colombia.**

*Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)*

Los departamentos que poseen más área sembrada en palma de aceite son en su orden: Meta, Cesar, Santander, Magdalena, Nariño, Casanare, Bolívar, Cundinamarca y Norte de Santander.

Colombia es el primer productor de palma de aceite en América Latina y el cuarto en el mundo. Tiene como fortaleza un gremio que cuenta con sólidas instituciones, ya que desde 1962 fue creada la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite.

La producción mundial de aceite de palma se calcula en más de 3.000 millones de toneladas métricas. Los principales países productores son: Malasia, Nigeria, Indonesia, Zaire y Costa de Marfil. En el 2004 estos produjeron un aproximado de 150 millones de toneladas.

**Tabla 3: Principales países productores de Palma de aceite (miles de toneladas)**

| PAISES                          | 2000      | 2001      | 2002      | 2003      | 2004      |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Malasia                         | 56.600,00 | 58.950,00 | 59.546,00 | 66.775,00 | 69.881,00 |
| Indonesia                       | 36.380,00 | 40.075,00 | 46.800,00 | 52.600,00 | 60.425,50 |
| Nigeria                         | 8.220,00  | 8.500,00  | 8.500,00  | 8.632,00  | 8.700,00  |
| Tailandia                       | 3.256,00  | 4.096,56  | 4.001,38  | 4.092,38  | 5.182,00  |
| Colombia                        | 2.470,00  | 2.600,00  | 2.600,00  | 2.633,00  | 3.150,00  |
| Ecuador                         | 1.339,40  | 1.424,00  | 1.645,00  | 1.522,00  | 1.843,82  |
| Costa de Marfil                 | 1.771,00  | 1.400,00  | 1.400,00  | 1.400,00  | 1.400,00  |
| Camerún                         | 1.100,00  | 1.150,00  | 1.150,00  | 1.250,00  | 1.300,00  |
| República Democrática del Congo | 950,00    | 990,00    | 1.150,00  | 1.150,00  | 1.150,00  |
| Honduras                        | 618,60    | 668,79    | 735,80    | 740,00    | 1.135,00  |

*Fuente: www.google.com*

Sin embargo, entre los principales países exportadores de palma están Malasia, Indonesia y Países Bajos con un total de casi 140 millones de toneladas. Como puede observarse Nigeria no aparece como principal exportador a pesar de ser el tercer productor mundial.

**Tabla 4: Principales países exportadores de Palma de aceite (miles de toneladas)**

| PAISES       | 2000      | 2001      | 2002      | 2003      | 2004      |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Malasia      | 43.670,83 | 51.319,49 | 53.745,94 | 62.253,56 | 67.706,82 |
| Indonesia    | 23.293,60 | 26.618,73 | 33.415,47 | 33.541,03 | 50.085,88 |
| Países Bajos | 1.703,44  | 2.002,56  | 2.074,48  | 2.833,89  | 5.056,23  |
| Colombia     | 501,27    | 478,43    | 480,22    | 657,39    | 1.192,26  |
| Alemania     | 506,43    | 505,11    | 552,29    | 683,92    | 1.182,29  |
| Tailandia    | 317,78    | 1.582,50  | 850,83    | 1.322,53  | 987,11    |
| Costa Rica   | 456,56    | 366,75    | 374,23    | 652,81    | 938,39    |
| Bélgica      | 280,16    | 243,55    | 162,65    | 125,62    | 475,69    |
| Honduras     | 213,53    | 233,21    | 377,43    | 372,64    | 368,98    |
| Guatemala    | 262,68    | 330,69    | 329,07    | 401,51    | 367,73    |

*Fuente: www.google.com*

#### **2.4.2. Proceso Agroindustrial**

El procesamiento de los frutos de la palma de aceite se lleva a cabo en la planta de beneficio o planta extractora. Allí se desarrolla el proceso de extracción del aceite crudo de palma y de las almendras o palmiste. El proceso consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos, macerarlos, extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante. De las almendras se obtienen dos productos: el aceite y la torta de palmiste que sirve para alimentos animal.

Al fraccionar el aceite de palma se obtienen también dos productos: la oleína y la estearina de palma. La primera es líquida en climas cálidos y se puede mezclar con cualquier aceite vegetal; la segunda es la fracción más sólida y sirve para producir grasas, principalmente margarinas y jabones. Las propiedades de cada una de las porciones del aceite de palma explican su versatilidad, así como sus numerosas aplicaciones.



**Imagen 7: Racimo y fruto de palma africana.**

*Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)*

### **2.4.3. Importancia de la palma de aceite**

El aceite de palma africana representa alrededor del 25 % de la producción de aceites vegetales en el mundo y es considerado como el segundo aceite más ampliamente producido, sólo superado por el aceite de soja. A pesar de ello, dentro de las plantas oleaginosas, es la de mayor rendimiento en toneladas métricas de aceite por hectárea, en comparación con otras oleaginosas, tiene un rendimiento por hectárea varias veces superior. Es así que para producir lo que mismo que una hectárea de palma, se necesitan sembrar 10 y 9 has de soja y girasol, respectivamente.

La habilidad más destacada en la palma de aceite es la de tomar energía solar y transformarla en aceite vegetal, tarda entre 2 y 3 años para empezar a producir fruto y puede hacerlo durante más de 25 años, por eso su gran extensión en el mundo. Países como Malasia e Indonesia representan el 85% de la producción mundial y el 95% de las exportaciones mundiales de aceite de palma y son los pioneros en el aprovechamiento del cultivo de la palma de aceite.

### **2.4.4. Usos y Aplicaciones**

Por su composición, el aceite de palma es el segundo aceite más consumido en el mundo y puede usarse en diversas preparaciones, se emplea para elaborar productos alimenticios, así mismo sirve de manera especial en la fabricación de productos oleoquímicos como los ácidos grasos, esteres grasos, alcoholes grasos, compuestos de nitrógeno graso y glicerol, elementos esenciales en la producción de jabones, detergentes, lubricantes para pintura, barnices, gomas y tinta.



**Imagen 8: Biodiesel.**

*Fuente: [www.google.com](http://www.google.com)*

En los últimos tiempos ha tomado fuerza su uso como biocombustible, es así como el biodiesel es la nueva alternativa para el empleo del aceite de palma como materia prima de otros productos.

Este aceite es uno de los múltiples derivados vegetales que pueden transformarse en agro combustibles de primera generación. Estos combustibles son fabricados en su mayoría a partir de recursos alimenticios como soja, colza, maíz, caña de azúcar o girasol.

Está previsto que la demanda del aceite de palma se duplique hasta 2030 y se triplique hasta 2050, pues su rendimiento promedio es de 3,5 toneladas/hectárea/año, y para la fabricación de agro diesel, 1 tonelada de aceite es equivalente a 0,9 tonelada de diesel.

La demanda de agro combustibles viene en gran parte de los países del Norte, particularmente de EE.UU. y de la Unión Europea que aprobó el objetivo de incorporar antes de 2020 un 10% de agro combustibles en el total utilizado en el transporte. La UE no tiene superficie cultivable suficiente, con lo que la mayor parte de las materias primas necesarias deberán ser importadas.

#### **2.4.5. Políticas Nacionales**

Por su parte, el ex ministro de Agricultura y desarrollo rural enfatizó que "Colombia ha encontrado un enorme yacimiento energético. No está en el subsuelo, sino por encima de este, se encuentra en toda la agricultura y principalmente en el cultivo de la palma de aceite".

##### **Programa Nacional de Biodiesel**

El gobierno, para viabilizar el modelo productivo de agro combustibles, promovió la conformación de la mesa nacional de biocombustibles por gremios, gobierno y otros sectores, lo que permitió que en el año 2006 se estructurara y pusiera en marcha el Programa nacional de biodiesel, que a su vez, estructuró y ajustó la normatividad jurídica y técnica; estableció arreglos institucionales, acciones en materia de campañas de promoción y educación sobre el nuevo producto, y principalmente ofertó incentivos económicos; lo que atrajo un grupo representativo de inversionistas, a quienes les interesa el desarrollo de proyectos de plantas de biodiesel en las zonas palmeras, que actualmente ya se encuentran en operación.

##### **Marco Jurídico: Ley 939 de 2004**

- Plantea el inicio del programa de incorporación de aceite de palma al diesel que se consume en el país: enero de 2008 un porcentaje de Incorporación: 5%, en 2008 y 2009 del 10%.
- Incentivos tributarios: Exención de impuestos IVA, global.
- Proyección de la capacidad instalada de producción de biodiesel:
  - o 2007: 86.000 toneladas/año 26,0 millones de galones/año.
  - o 2008: 410.000 toneladas/año 124,3 millones de galones/año.
  - o 2009: 200.000 toneladas/año 60,6 millones de galones/año.
  - o Total: 696.000 toneladas /año 211,0 millones de galones/año.

#### **2.4.6. Aspectos Ambientales del Cultivo de Palma de Aceite**

Las palmas de aceite adultas conforman verdaderos paisajes forestales donde cohabitan numerosas especies de flora y fauna, así se crean microclimas y ambientes favorables para la sostenibilidad de los cultivos y el bienestar de las poblaciones que habitan alrededor de ellas.

Por fijar cantidades considerables de gas carbónico mediante la fotosíntesis, esta planta contribuye a mitigar el calentamiento global además todas las partes de la palma se utilizan, por lo tanto no hay desperdicios que contaminen.

Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas, la palma de aceite es la más eficiente en la conversión de energía y su siembra previene la erosión.

En Colombia la palma de aceite se establece sin necesidad de talar bosques nativos, pues ocupa territorios que antes eran utilizados para otras actividades agropecuarias, gracias además la gran adaptabilidad de este cultivo a los diferentes tipos de suelos.

Para evitar el uso de plaguicidas químicos, los palmicultores colombianos han venido implementando técnicas de control biológico, comprometiéndose con el medio ambiente y adoptando una gestión de buenas prácticas que les permitan asegurar la competitividad frente a los estándares internacionales y estar atentos a la sostenibilidad del planeta.

Por otra parte son varias las investigaciones a nivel nacional y mundial que se han realizado en relación con los impactos ambientales de la palma aceitera sembrada como monocultivo en grandes extensiones, cultivo al que se le ha denominado desierto "verde". De acuerdo con las realizadas por el Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, los impactos provocados por los

monocultivos forestales, como es el caso del cultivo de la palma aceitera, son analizados sobre el agua, el suelo, la flora, la fauna y el paisaje, en tanto en el segundo se tratan los efectos sociales y económicos. Es así como los suelos, en donde se establecen este tipo de cultivos, cambian sus características empobreciéndose y perdiendo su capacidad agronómica.

Actualmente, el cultivo de la palma de aceite está asociado a diversos problemas sociales y ambientales, que no son causados por la plantación en sí, sino por su modo de implantación. En este sentido, el boom del aceite de palma a nivel mundial tiene serias repercusiones sobre los bosques tropicales, sus habitantes y su biodiversidad, como son la tala de bosques, el envenenamiento de suelos, agua y aire por medio de venenos agrícolas, así como conflictos de tierra y empobrecimiento de las poblaciones afectadas son algunas de las consecuencias.

Las plantaciones de palma aceitera se están implantando principalmente en las regiones tropicales, y países como Indonesia ha sufrido en los últimos años de gigantescos incendios forestales, causados por grandes empresas palmicultoras, que prefirieron quemar extensas áreas antes que utilizar tierras ya destinadas a la agricultura.

En Colombia, Ecuador y Brasil, algunas plantaciones se expanden a expensas de las selvas y territorios de poblaciones indígenas y comunidades afro descendientes, siendo este un factor socio ambiental crítico a nivel internacional para los países crecientemente orientados a la producción de biodiesel.

El procesamiento de aceite de palma produce grandes cantidades de desperdicios sólidos, en la forma de hojas, racimos vacíos, fibras, cáscaras y residuos de la extracción. Los racimos contienen muchos alimentos recuperables, que normalmente se desechan. Las fibras, cáscaras y otros residuos se queman como

combustible, para producir vapor; no obstante esta quema incontrolada de desechos causa contaminación atmosférica.

Por su parte, los desperdicios líquidos se producen en los esterilizadores y clarificador de aceite. Las causas principales de contaminación son la demanda de oxígeno bioquímico y químico, los sólidos en suspensión, el aceite y la grasa, el nitrógeno y la ceniza orgánica.

### 3. DESARROLLO

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA CENTRAL SICARARE S.A. Características Generales de la central Sicarare

Las características generales de la Central Sicarare S.A., incluye el análisis litográfico y de aguas subterráneas de toda la empresa, para ello se tomaron muestras en puntos aleatorios consiguiéndose resultados similares para todos los puntos testeados.

Los datos del análisis litográfico y de aguas subterráneas que se describen a continuación son tomados del Informe Definitivo de la empresa contratada por la Central Sicarare S.A. para esta labor GIESE Pozos e Ingeniería EU.

##### Perfil litográfico

En base a las curvas de los registros, correlacionándolas con la litología y analizando en función de las muestras obtenidas durante la perforación, se elabora el perfil que se lo describe a continuación:

**Tabla 5: Perfil litográfico.**

| PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm) |    | DESCRIPCION                           |
|----------------------------|----|---------------------------------------|
| 0                          | 12 | Arcilla Marrón                        |
| 12                         | 17 | Arena Rojiza                          |
| 17                         | 20 | Arcilla Arenosa                       |
| 20                         | 22 | Arena con Lente de Arcilla            |
| 22                         | 30 | Arena con Grava Gruesa                |
| 30                         | 34 | Arena con Grava Gruesa y Poca Arcilla |
| 34                         | 44 | Arcilla y Arcilla con Piedra          |
| 44                         | 45 | Arena Gruesa                          |
| 45                         | 47 | Arena con Grava                       |
| 47                         | 51 | Arcilla                               |

| PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm) |    | DESCRIPCION                       |
|----------------------------|----|-----------------------------------|
| 51                         | 58 | Arena con Lentes de Arcilla       |
| 58                         | 62 | Arcilla Arenosa                   |
| 62                         | 65 | Arena                             |
| 65                         | 70 | Arena con Arcilla y Arcilla Mixto |
| 70                         | 81 | Arena con Arcilla y Piedra        |
| 81                         | 87 | Arena Arcillosa                   |

*Fuente: GIESE Pozos e Ingeniería EU*

## Características del agua subterránea

### Prueba de Bombeo:

La prueba de bombeo se realizó con un caudal constante de 68 litros por segundo. Para este proceso utilizó una bomba con motor eléctrico, propios de la empresa. Se incluyeron análisis por Jacob y Theis que arrojan los datos de la transmisibilidad, constante hidráulica y la capacidad específica del pozo. La prueba de bombeo tuvo una duración de 24 horas en las cuales se registraron todos los datos necesarios para encontrar las características hidráulicas del pozo.

**Tabla 6: Prueba de bombeo.**

| POZO N°1 | POZO 23 – PORORÓ                  | CANTIDAD | UNIDAD  |
|----------|-----------------------------------|----------|---------|
|          | Nivel estático de agua            | 3,55     | Metros  |
|          | Nivel de bombeo estabilizado      | 18,89    | Metros  |
|          | Abatimiento máximo registrado     | 18,89    | Mts.    |
|          | Abatimiento máximo a utilizar     | 30       | Mts.    |
|          | Tiempo de bombeo                  | 1440     | Min     |
|          |                                   | 24       | Horas   |
|          | Caudal aforado                    | 68       | LPS     |
|          | Espesor del acuífero              | 87,45    | Mts.    |
|          | Ubicación de la bomba             | 48       | Mts.    |
|          | Capacidad específica              | 3,6      | LPS/Mts |
|          | Transmisibilidad por método Theis | 545      | M2/Día  |

| POZO N°1 | POZO 23 – PORORÓ                              |  | CANTIDAD | UNIDAD |
|----------|-----------------------------------------------|--|----------|--------|
|          | Transmisibilidad por método Jacob             |  | 756      | M2/Día |
|          | Transmisibilidad promedio                     |  | 645,5    | M2/Día |
|          | Coeficiente de almacenamiento                 |  | 0,28     | 1/M    |
|          | Conductividad hidráulica                      |  | 5,88     | M/Día  |
|          | Porcentaje de abatimiento en prueba de bombeo |  | 21,6     | %      |
|          | CAUDAL A UTILIZAR PARA EL POZO                |  | 108      | LPS    |
|          |                                               |  | 1711     | GPM    |

Fuente: GIESE Pozos e Ingeniería EU

**Tabla 7: Análisis de características de hidráulicas por método de Theis y Jacob**

| CAUDAL DE AFORO  | 68                | LPS          | FECHA            | 03-jul-11 | POZO 23 | POZO TAMACA  |                      |               |
|------------------|-------------------|--------------|------------------|-----------|---------|--------------|----------------------|---------------|
|                  | 1077              | GPM          |                  |           |         | recuperación | Sr vs t'             |               |
| EQUIPO DE BOMBEO |                   |              |                  |           |         |              |                      | s' vs t/t'    |
| AFORADO POR      | LENIN SIERRA      |              |                  |           |         | Bombeo       | s vs t               |               |
| CALCULADO POR    | EMMANUEL IGLESIAS |              |                  |           |         |              |                      |               |
| BOMBEO           |                   |              | RECUPERACION     |           |         |              |                      |               |
| TIEMPO           | NIVEL DE AGUA     | ABATI-MIENTO | TIEMPO ACUMULADO | t'        | t/t'    | NIVEL AGUA   | ABATIMIENTO RESIDUAL | RECUPERA-CION |
| Min              | m.                | m.           | Min              | Min       |         | M            | m                    | M             |
| t                |                   | s            |                  | t'        | t/t'    |              | s'                   | Sr            |
| 0                | 3,55              |              |                  |           |         |              |                      |               |
| 1                | 13,94             | 10,39        | 600              | 0         |         | 18,89        | 15,34                | 0,00          |
| 2                | 14,2              | 10,65        | 601              | 1         | 601,0   | 8,84         | 5,29                 | 10,05         |
| 3                | 14,4              | 10,85        | 602              | 2         | 301,0   | 8,19         | 4,64                 | 10,70         |
| 4                | 14,45             | 10,90        | 603              | 3         | 201,0   | 7,64         | 4,09                 | 11,25         |
| 5                | 14,65             | 11,10        | 604              | 4         | 151,0   | 7,36         | 3,81                 | 11,53         |
| 6                | 14,85             | 11,30        | 605              | 5         | 121,0   | 7,16         | 3,61                 | 11,73         |
| 7                | 15                | 11,45        | 606              | 6         | 101,0   | 6,9          | 3,35                 | 11,99         |
| 8                | 15,14             | 11,59        | 607              | 7         | 86,7    | 6,74         | 3,19                 | 12,15         |
| 9                | 15,24             | 11,69        | 608              | 8         | 76,0    | 6,63         | 3,08                 | 12,26         |
| 10               | 15,35             | 11,80        | 609              | 9         | 67,7    | 6,52         | 2,97                 | 12,37         |

Fuente: GIESE Pozos e Ingeniería EU

En conclusión las aguas subterráneas se encuentran con buena calidad y con caudal optimo para el sistema de riego que actualmente tiene la Central Sicarare, las afectaciones por los contaminantes de la zona no ha llegado a los niveles freáticos del suelo.

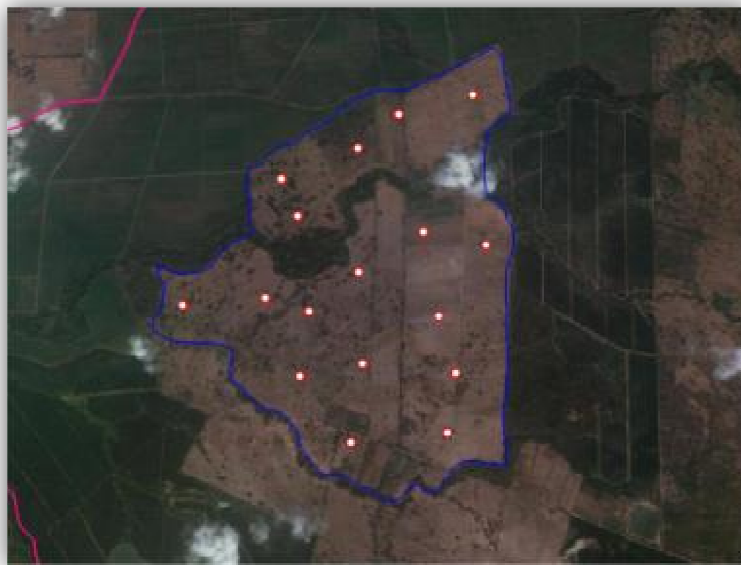
### **Características Específicas de los Terrenos de la Central Sicarare**

Para la caracterización del suelo se realizaron análisis con el objetivo de obtener información confiable sobre el suelo de acuerdo a los parámetros de referencia. Aunque las muestras se colectan para obtener información respecto al cuerpo de suelo más grande es decir, todo el emplazamiento; tales muestras podrán ser o no representativas de la misma, dependiendo de cómo hayan sido seleccionadas y colectadas.

- **Técnica de Muestreo:** la técnica de muestreo a emplear es el muestreo sistemático o de rejilla es un método mediante el cual los puntos de muestreo seleccionados se ubican a distancias uniformes entre sí, a fin de brindar total cobertura a una población específica de suelo. Este muestreo permitirá conocer al detalle las condiciones del suelo en las zonas caracterizadas de esta industria como foco de contaminación de alto riesgo o con tendencia entre otras factores a derrames de químicos líquidos o con deposición aérea de contaminantes, este método es útil para documentar probables gradientes de concentración y se emplea a menudo en los programas de monitoreo.

La empresa Central Sicarare adopta este sistema por que posee el mayor numero relativo de muestras, porque tiene la menor desviación relativa y porque la selección de los puntos de muestreo se basa en un patrón consistente no aleatorio o en un estudio previo.

Se muestreo en sitios de control, ya que estos son importantes para entender el valor de la información de muestreo. Se selecciono lugares que tengan características comunes con las áreas contaminadas, con excepción de la fuente de contaminación. Los sitios del entorno se muestrean cercanamente a la época y al lugar de muestreo del sitio contaminado. Los sitios de control se emplean para demostrar si el sitio afectado está contaminado y/o si es verdaderamente distinto al entorno del área. Siempre es necesario algún tipo de sitio del entorno para establecer una comparación científica válida entre los sitios que se sospecha contienen contaminantes ambientales y las muestras que contengan niveles por debajo de los detectables o medibles o niveles de contaminantes aceptablemente bajos.



**Imagen 9: Puntos de muestreo de lotes Tamacá.**

*Fuente: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com)*

Finalmente se realizó el análisis teniendo en cuenta los siguientes datos de Muestreo:

- o Localización de las muestras;
- o Recipientes – tipo, número y tamaño;
- o Etiquetas;
- o Otros equipos de campo (mapas, lapiceros, cinta, cuadernos, etc.);
- o Tipos de dispositivos de muestreo;
- o Volumen de la muestra;
- o Procedimientos de la cadena de custodia;
- o Recipientes para el almacenaje.
- o Los planes de transporte hasta el laboratorio analítico.

- Tipos recipientes para cada Muestra y técnica de Análisis:

En la siguiente tabla se definen los parámetros analizados, el tipo de análisis, la referencia para análisis según la EPA, el tipo de fuente para realizar el desarrollo de la técnica, el tipo de recipiente donde se deber recolectar, transportar y conservar la muestra con el objetivo de evitar alteración y finalmente el tiempo de conserva.

**Tabla 8: Técnica de muestreo de suelos.**

| PARAMETRO                      | METODOS ANALÍTICOS     | REFERENCIA US EPA       | FUENTE | RECIPIENTE | TIPO DE CONSERVA | OBSERVACIÓN            |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------|--------|------------|------------------|------------------------|
| Ph                             | Electrométrico         | 9040 <sup>a</sup>       | 1      | P, G       | 14 días          | Parámetros Generales   |
| Conductividad                  | Electrométrico         | 9050 <sup>a</sup>       | 1      | P, G       | 14 días          |                        |
| Relación de adsorción de sodio | Colorimétrico, cálculo | SM3113B or SM3120B      | 2      | P, G       | 14 días          |                        |
| Cromo (+6)                     | Colorimétrico          | 7196                    | 1      | P, G       | 48 horas         | Parámetros Inorgánicos |
| Cromo (total)                  | AA / ICP / AES         | 3113B/3120B/6010        | 2,1    | P, G       | 48 horas         |                        |
| Azufre (elemental)             | Horno Leco / AA        | Leco/3113B              | 2      | P, G       | 6 meses          |                        |
| Fenoles no Clorinados          | HR / GC, LS MS         | 8270B                   | 1      | G, T       | 7 días           | Compuestos Fenólicos   |
| Cloro fenoles                  | HR / GC, LS / MS       | 8270B                   | 1      | G, T       | 7 días           |                        |
| Benceno                        | GC, MS                 | 8240B/8260 <sup>a</sup> | 1      | G, T       | 7 días           | Hidrocarburos          |
| PCBs                           | GC, ECD                | 3550B/3630C/8082        | 1      | G, T       | 7 días           |                        |
| Tolueno                        | GC, MS                 | 8240B/8260 <sup>a</sup> | 1      | G, T       | 7 días           |                        |

*Fuente: EPA*

| ABREVIATURAS TIPOS DE MÉTODOS ANALÍTICOS RECOMENDADOS (COLUMNA 2) |
|-------------------------------------------------------------------|
| AA – Espectrofotómetro de adsorción atómica                       |
| AES – Espectroscopio de emisión atómica                           |
| ECD – Detector de captura de electrones                           |
| ICP – Plasma inductivamente acoplada                              |
| GC – Cromatografía de Gas                                         |
| HR – Alta Resolución                                              |
| LS – Baja resolución                                              |
| MS – Espectrometría de masas                                      |

| ABREVIATURA TIPOS DE RECIPIENTES |
|----------------------------------|
| P – Polietileno                  |
| T – Tapa revestida de teflón     |
| G – Vidrio                       |

Se eligen estos tipos de envases por las siguientes características:

- o Envases de Polietileno:
  - Alta rigidez y dureza.
  - Altísima resistencia a los esfuerzos permanentes.
  - Superficie barnizable.
  - Gran indeformabilidad al calor.
  - Muy buenas características eléctricas y dieléctricas.
  - Alta resistencia a los agentes químicos y estabilidad a la intemperie.
  - Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad.
  
- o Envases de Vidrio:
  - Impermeabilidad y hermeticidad.
  - Transparencia.
  - Inercia química.
  - Neutralidad con el contenido.
  - Moldeabilidad.
  - Versatilidad de formas.
  - Compatibilidad en microondas.
  - Facilidad de recuperación y reciclado.
  - Envases preformados.

- Peso y volumen en vacío.
  - Conductividad térmica.
- o Envases de Teflón
- Alta temperatura de utilización 260°C.
  - Aguante a casi todos los productos químicos.
  - Bajo coeficiente de rozamiento.

### **Análisis de las zonas no cultivadas**

La central Sicarare es una empresa en constante expansión y de crecimiento en la región, por lo tanto su funcionamiento ha incentivado que se compren las fincas aledañas a su territorio, con el objetivo de incrementar las plantaciones de palma. Aunque la empresa realiza estudios económicos de factibilidad previos, algunas fincas durante décadas han producido innumerable tipo de cultivos con técnicas no respetuosas para la sostenibilidad y preservación del suelo; lo que ha ocasionado que este no se encuentre apto para el desarrollo de la palma y presente compuestos dañinos para el suelo como las sales y otros elementos que deterioran la micro bio diversidad del suelo.

Es por eso que se referencia a continuación las zonas que según los análisis demuestran afectación para el desarrollo del cultivo de la palma y del suelo. Estos análisis se realizaron para los lotes no cultivados descritos en la imagen tomada de la central Sicarare, específicamente de las siguientes zonas:

- Zona 1: Lotes Tamacá.
- Zona 2: Lotes Pororó.
- Zona 3: Lotes La Esperanza
- Zona 4: Lotes La Montaña.



**Imagen 10: Lotes no cultivados de la Central Sicarare S.A.**

Fuente: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com)

**Tabla 9: Dimensiones del terreno.**

| ZONA                                   | TERRENOS NO CULTIVADOS (ha) | PORCENTUAL    |
|----------------------------------------|-----------------------------|---------------|
| Tamacá                                 | 228                         | 4,56%         |
| Pororó                                 | 92                          | 1,84%         |
| La Esperanza                           | 185                         | 3,70%         |
| La Montaña                             | 114                         | 2,28%         |
| <b>Total Terrenos No Cultivados</b>    | <b>619</b>                  | <b>12,38%</b> |
|                                        |                             |               |
| Extensión Total de la Central Sicarare | 5000                        | 100,00%       |

Fuente: Central Sicarare

Para estos análisis, se determina de acuerdo al requerimiento de las palmas, las categorías de:

Bajo (B): El compuesto esta en deficientes proporciones para el desarrollo de la palma.

Medio (M): El compuesto esta en optimas proporciones para el desarrollo de la palma.

Alto (A): El compuesto esta en altas proporciones para el desarrollo de la palma.

### 3.1.1. Zona 1: Lotes Tamacá

**Tabla 10: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes Tamacá.**

| SUPALMA          |            |                     |     |                    |                    |           |                       |           |             |
|------------------|------------|---------------------|-----|--------------------|--------------------|-----------|-----------------------|-----------|-------------|
| Finca/Plantación |            | Palmas Tamacá       |     |                    | Fecha de Muestreo  |           | 20-jun-11             |           | Informe No: |
| Municipio        |            | Codazzi             |     |                    | Fecha de Registro  |           | 08-jul-11             |           | 7168        |
| Departamento     |            | Cesar               |     |                    | Fecha de Entrega   |           | 09-ago-11             |           | Definitivo  |
| Código:          |            | S1-2645             |     | S1-2646            | S1-2647            |           | S1-2648               |           |             |
| Identificación:  |            | M1 TAMACA 4 0-15 cm |     | M2 LA FE 8 0-15 cm | M3 LA FE 1 0-15 cm |           | M4 PALMARES 2 0-15 cm |           |             |
| Análisis         | Unidades   | Resultado           | Cal | Resultado          | Cal                | Resultado | Cal                   | Resultado | Cal         |
| Textura          |            | F – An              |     | F                  |                    | F         |                       | F         |             |
| Arena            | %          | 63,0                |     | 40,0               |                    | 31,0      |                       | 48,0      |             |
| Arcilla          | %          | 7,72                |     | 20,7               |                    | 23,7      |                       | 12,7      |             |
| Limo             | %          | 29,3                |     | 39,3               |                    | 45,3      |                       | 39,3      |             |
| pH               | Unidades   | 6,23                | A   | 6,68               | A                  | 7,43      | A                     | 5,29      | A           |
| C.E.             | dS/m       | 0,13                |     | 0,80               |                    | 0,60      |                       | N.D.      |             |
| Acidez Inter     | cmol(+)/kg | N.D.                |     | N.D.               |                    | N.D.      |                       | 0,02      |             |
| C.I.C.           | cmol(+)/kg | 5,58                | B   | 9,77               | B                  | 13,4      | M                     | 6,16      | B           |
| C. Orgánico      | %          | 0,72                | B   | 0,44               | B                  | 0,72      | B                     | 0,69      | B           |
| M. Orgánica      | %          | 1,24                | B   | 0,76               | B                  | 1,24      | B                     | 1,19      | B           |
| Potasio          | cmol(+)/kg | 0,17                | B   | 0,14               | B                  | 0,26      | M                     | 0,18      | B           |
| Calcio           | cmol(+)/kg | 4,33                |     | 7,52               |                    | 11,5      |                       | 4,44      |             |
| Magnesio         | cmol(+)/kg | 0,71                |     | 2,14               |                    | 3,14      |                       | 0,98      |             |
| Sodio            | cmol(+)/kg | 0,04                |     | 0,60               |                    | 0,47      |                       | 0,03      |             |
| Aluminio         | cmol(+)/kg | N.D.                |     | N.D.               |                    | N.D.      |                       | I.L.D.    |             |
| Silicio          | mg/kg Si   | N.D.                |     | N.D.               |                    | N.D.      |                       | N.D.      |             |
| Fósforo          | mg/kg P    | 44,6                | A   | 28,9               | A                  | 40,4      | A                     | 6,14      | B           |
| Azufre           | mg/kg S    | 6,33                | M   | 77,6               | M                  | 27,5      | M                     | 37,7      | M           |
| Boro             | mg/kg B    | 0,44                | M   | 0,41               | M                  | 0,34      | M                     | 0,19      | B           |
| Hierro           | mg/kg Fe   | 38,7                | A   | 27,3               | M                  | 22,1      | M                     | 45,7      | A           |
| Cobre            | mg/kg Cu   | 0,54                | M   | 2,22               | A                  | 1,40      | M                     | 0,96      | M           |

| SUPALMA                                                      |            |               |                                 |      |   |                        |   |                  |   |
|--------------------------------------------------------------|------------|---------------|---------------------------------|------|---|------------------------|---|------------------|---|
| Manganeso                                                    | mg/kg Mn   | 14,7          | A                               | 37,3 | A | 69,3                   | A | 18,3             | A |
| Zinc                                                         | mg/kg Zn   | 2,58          | A                               | 1,41 | M | 6,55                   | A | 1,56             | M |
| CALCULOS SECUNDARIOS                                         |            |               |                                 |      |   |                        |   |                  |   |
| CICE                                                         | cmol(+)/kg | 5,25          |                                 | 10,4 |   | 15,3                   |   | 5,63             |   |
| Suma Bases                                                   | cmol(+)/kg | 5,25          |                                 | 10,4 |   | 15,3                   |   | 5,63             |   |
| Sat de Bases                                                 | %          | 100           |                                 | 100  |   | 100                    |   | 100              |   |
| Sat K                                                        | %          | 3,24          | M                               | 1,35 | B | 1,69                   | B | 3,20             | M |
| Sat Ca                                                       | %          | 82,5          | A                               | 72,3 | A | 74,8                   | A | 78,9             | A |
| Sat Mg                                                       | %          | 13,5          | M                               | 20,6 | A | 20,5                   | A | 17,4             | M |
| Sat Na                                                       | %          | 0,76          | B                               | 5,77 | B | 3,06                   | B | 0,53             | B |
| Sat Al                                                       | %          | N.D.          |                                 | N.D. |   | N.D.                   |   | N.D.             |   |
| Ca:Mg                                                        |            | 6,10          | A                               | 3,51 |   | 3,65                   |   | 4,53             | A |
| K:Mg                                                         |            | 0,24          | B                               | 0,07 | B | 0,08                   | B | 0,18             | B |
| (Ca+Mg)/K                                                    |            | 29,6          |                                 | 69,0 |   | 56,2                   |   | 30,1             |   |
| Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. |            | Convenciones: |                                 |      |   |                        |   | Responsable:     |   |
|                                                              |            | Cal:          | Calificación Agronómica         |      |   |                        |   |                  |   |
|                                                              |            | N.D.:         | No Determinado                  |      |   | No Aplica              |   | Coordinador LAFS |   |
|                                                              |            | ILD:          | Inferior al límite de Detección |      |   | Análisis en repetición |   |                  |   |

Fuente: Supalma

### Conclusiones:

- Suelos Salinos – Sódicos.
- pH neutros en Tamacá, tendencia Alcalina.
- Baja Conductividad Eléctrica en general
- CIC de medias a bajas.
- Muy baja Materia Orgánica en todos
- Bajas Saturaciones de Potasio por alta Saturación de Calcio.
- Contenido medio de Azufre en general
- Contenidos medios de Potasio.
- Suelos Salinizados.

### **Recomendaciones experto consultor**

- Manejar Drenajes en lotes bajos para bajar alcalinidad (lavar excesos de Calcio).
- Importante suplementar Azufre en general (Fuentes de Fertilizantes con Sulfatos).
- Revisar tema Yeso, sólo para parches Sódicos comprobados, manejo general preferible con Azufre Elemental en granulometría muy fina.
- Fertilizantes; dosificar el fertilizado.
- Establecer estrategias para los suelos Salino–Sódicos.

### **Efectos de la salinidad**

La salinidad del suelo puede producirse como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre, actividades agrarias como el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad, cuando se han empleado aguas conteniendo sales sin el debido control, o bien cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación.

Así mismo, el empleo de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, más allá de las necesidades de los cultivos, es otra de las causas que provocan situaciones de altas concentraciones de sales, que contaminan los acuíferos y como consecuencia los suelos que reciben estas aguas.

Estas situaciones son muy típicas de zonas más o menos áridas sometidas a una actividad agrícola muy intensa, como la que se ha implementado históricamente en los terrenos que hoy en día pertenecen a la central Sicarare S.A., donde se presenta una vegetación escasa y con frecuentes claros.

Entre los efectos directos se cuenta la disminución de la absorción del agua por las raíces, ya que al haber una concentración alta de sales en el suelo la planta tiene que utilizar más energía para absorber el agua necesaria. En condiciones extremas de salinidad las plantas no pueden absorber el agua necesaria, lo que causa su marchitamiento.

Toxicidad por iones específicos, ya que al absorber agua que contiene iones de sales perjudiciales (como sodio, cloruros, etc.) se pueden presentar consecuencias visuales como, como puntas y bordes de las hojas quemadas y deformación de los frutos.

Por su parte, los efectos indirectos que se evidencian son entre otros, in desequilibrio en los contenidos de sales en el suelo puede ocasionar una competencia perjudicial entre los elementos, lo que origina una interferencia de los nutrientes esenciales. Esta condición se conoce como “Antagonismo”, es decir, el exceso de un ión limita la absorción de otros iones.

En suelos con altos contenidos de sodio, este desplaza el calcio y el magnesio. Como resultado la agregación de las partículas se reduce y el suelo se dispersa. El daño en la estructura del suelo reduce la disponibilidad de oxigenación, limitando el crecimiento de las plantas. Un suelo sódico cuando esta mojado tiende a sellarse, se disminuye su permeabilidad drásticamente, y por ende la capacidad de infiltración del agua. Cuando está seco un suelo sódico tiende a compactarse y esto puede originar un daño en las raíces de las plantas.

Los suelos salino-sódicos son susceptibles a la erosión, generando pérdida del suelo y de los nutrientes.

### **Efectos de la alcalinización en suelos**

La alcalinización produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan, los agregados estructurales se destruyen, las arcillas y los ácidos húmicos se iluvian y se acumulan en el horizonte B, formándose así un horizonte de acumulación de arcillas sódicas, es decir, que se origina un horizonte nátrico (si la intensidad de la iluviación es suficiente).

En los suelos sódicos, el sodio causa la toxicidad, la cual podemos centrar en tres vías distintas: el efecto nocivo del sodio activo para el metabolismo y nutrición de las plantas; la toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones; y la elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos (Simón, 1996).

### **Características de suelos sódico-salinos**

- Alta concentración de sales solubles.
- Estructura algo dispersa.
- Permeabilidad algo afectada.
- Aireación algo afectada.
- Relación de Adsorción de Sodio (RAS) alto.
- Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) alto.
- Carbonato de Sodio Residual (CSR) mayor de 1.5 mm.
- Lavado de sales provoca sodicación.

### 3.1.2. Zona 2: Lotes Pororó

**Tabla 11: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes Pororó.**

| SUPALMA          |            |                      |     |                    |     |                    |     |                      |     |                      |     |
|------------------|------------|----------------------|-----|--------------------|-----|--------------------|-----|----------------------|-----|----------------------|-----|
| Finca/Plantación |            | PORORO               |     |                    |     | Fecha de Muestreo  |     | 26-jul-11            |     | Informe No:          |     |
| Municipio        |            | CODAZZI              |     |                    |     | Fecha de Registro  |     | 03-ago-11            |     | 7204                 |     |
| Departamento     |            | CESAR                |     |                    |     | Fecha de Entrega   |     | 12-ago-11            |     |                      |     |
| Código:          |            | S1-2801              |     | S1-2802            |     | S1-2803            |     | S1-2804              |     | S1-2805              |     |
| Identificación:  |            | M1 PORORO 13 0-15 cm |     | M2 CACAO 3 0-15 cm |     | M3 CACAO 1 0-15 cm |     | M4 PORORO 15 0-15 cm |     | M4 PORORO 26 0-15 cm |     |
| Análisis         | Unidades   | Resultado            | Cal | Resultado          | Cal | Resultado          | Cal | Resultado            | Cal | Resultado            | Cal |
| Textura          |            | F                    |     | F - Ac             |     | F - Ac             |     | F                    |     | F - Ac – L           |     |
| Arena            | %          | 27,5                 |     | 26,5               |     | 26,5               |     | 35,5                 |     | 20,5                 |     |
| Arcilla          | %          | 26,5                 |     | 34,5               |     | 34,5               |     | 23,5                 |     | 36,5                 |     |
| Limo             | %          | 46,0                 |     | 39,0               |     | 39,0               |     | 41,0                 |     | 43,0                 |     |
| pH               | Unidades   | 6,85                 | A   | 6,83               | A   | 6,99               | A   | 6,78                 | A   | 7,10                 | A   |
| C.E.             | dS/m       | 0,25                 |     | 0,93               |     | 0,90               |     | 0,24                 |     | 0,46                 |     |
| Acidez Inter     | cmol(+)/kg | N.D.                 |     | N.D.               |     | N.D.               |     | N.D.                 |     | N.D.                 |     |
| C.I.C.           | cmol(+)/kg | 11,1                 | M   | 11,7               | M   | 12,4               | M   | 10,1                 | M   | 25,9                 | A   |
| C. Orgánico      | %          | 0,63                 | B   | 0,75               | B   | 0,81               | B   | 0,65                 | B   | 0,82                 | B   |
| M. Orgánica      | %          | 1,09                 | B   | 1,29               | B   | 1,40               | B   | 1,12                 | B   | 1,41                 | B   |
| Potasio          | cmol(+)/kg | 0,27                 | M   | 0,23               | M   | 0,23               | M   | 0,24                 | M   | 0,35                 | M   |
| Calcio           | cmol(+)/kg | 8,93                 |     | 10,3               |     | 11,2               |     | 7,32                 |     | 11,4                 |     |
| Magnesio         | cmol(+)/kg | 1,75                 |     | 2,19               |     | 2,07               |     | 1,88                 |     | 2,81                 |     |
| Sodio            | cmol(+)/kg | 0,11                 |     | 0,43               |     | 0,33               |     | 0,11                 |     | 0,22                 |     |
| Aluminio         | cmol(+)/kg | N.D.                 |     | N.D.               |     | N.D.               |     | N.D.                 |     | N.D.                 |     |
| Silicio          | mg/kg Si   | N.D.                 |     | N.D.               |     | N.D.               |     | N.D.                 |     | N.D.                 |     |
| Fósforo          | mg/kg P    | 23,7                 | A   | 14,3               | B   | 15,9               | M   | 18,2                 | M   | 26,3                 | A   |
| Azufre           | mg/kg S    | 9.24                 | B   | 87,9               | B   | 95,0               | B   | 11,4                 | B   | 10,7                 | B   |
| Boro             | mg/kg B    | 0,12                 | B   | 0,51               | A   | 0,52               | A   | 0,56                 | A   | 0,50                 | M   |
| Hierro           | mg/kg Fe   | 14,9                 | B   | 48,3               | A   | 53,5               | A   | 28,4                 | M   | 28,3                 | M   |
| Cobre            | mg/kg Cu   | 1,51                 | A   | 2,18               | A   | 2,63               | A   | 2,12                 | A   | 2,40                 | A   |
| Manganeso        | mg/kg Mn   | 23,5                 | A   | 44,5               | A   | 59,6               | A   | 47,0                 | A   | 61,4                 | A   |
| Zinc             | mg/kg Zn   | 1,88                 | M   | 1,52               | M   | 1,60               | M   | 1,97                 | M   | 2,33                 | A   |

| SUPALMA                                                             |            |               |   |                                 |   |                        |   |                  |   |      |   |
|---------------------------------------------------------------------|------------|---------------|---|---------------------------------|---|------------------------|---|------------------|---|------|---|
| CALCULOS SECUNDARIOS                                                |            |               |   |                                 |   |                        |   |                  |   |      |   |
| CICE                                                                | cmol(+)/kg | 11,1          |   | 13,2                            |   | 13,8                   |   | 9,55             |   | 14,7 |   |
| Suma Bases                                                          | cmol(+)/kg | 11,1          |   | 13,2                            |   | 13,8                   |   | 9,55             |   | 14,7 |   |
| Sat de Bases                                                        | %          | 100           |   | 100                             |   | 100                    |   | 100              |   | 100  |   |
| Sat K                                                               | %          | 2,44          | B | 1,75                            | B | 1,66                   | B | 2,51             | B | 2,38 | B |
| Sat Ca                                                              | %          | 80,7          | A | 78,3                            | A | 81,0                   | A | 76,6             | A | 77,1 | A |
| Sat Mg                                                              | %          | 15,8          | M | 16,7                            | M | 15,0                   | M | 19,7             | M | 19,1 | M |
| Sat Na                                                              | %          | 0,99          | B | 3,27                            | B | 2,39                   | B | 1,15             | B | 1,49 | B |
| Sat Al                                                              | %          | N.D.          |   | N.D.                            |   | N.D.                   |   | N.D.             |   | N.D. |   |
| Ca:Mg                                                               |            | 5,10          | A | 4,70                            | A | 5,41                   | A | 3,89             |   | 4,04 | A |
| K:Mg                                                                |            | 0,15          | B | 0,11                            | B | 0,11                   | B | 0,13             | B | 0,12 | B |
| (Ca+Mg)/K                                                           |            | 39,6          |   | 54,3                            |   | 57,7                   |   | 38,3             |   | 40,5 |   |
| <i>Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.</i> |            | Convenciones: |   |                                 |   |                        |   | Responsable:     |   |      |   |
|                                                                     |            | Cal:          |   | Calificación Agronómica         |   |                        |   | Coordinador LAFS |   |      |   |
|                                                                     |            | N.D.:         |   | No Determinado                  |   | No Aplica              |   |                  |   |      |   |
|                                                                     |            | ILD:          |   | Inferior al límite de Detección |   | Análisis en repetición |   |                  |   |      |   |

*Fuente: Supalma*

### Conclusiones:

- Baja Saturación de sodio en general.
- Predomina baja relación Calcio / Magnesio.
- Bajas Saturaciones de potasio.
- Medios a Bajos contenidos de Hierro en general.
- Zinc con valores bajos.
- Bajos Contenido de Materia Orgánica.

### Recomendaciones experto consultor:

- Fertilizantes, mucho más que en Tamacá, realizar enmienda orgánica.
- Importante suplementar Azufre en general (Fuentes de Fertilizantes con Sulfatos).

### 3.1.3. Zona 3: Lotes La Esperanza

**Tabla 12: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes La Esperanza.**

| SUPALMA          |            |                      |     |                       |           |
|------------------|------------|----------------------|-----|-----------------------|-----------|
| Finca/Plantación |            | La Esperanza         |     | Fecha de Muestreo     | 28-jul-11 |
| Municipio        |            | CODAZZI              |     | Fecha de Registro     | 07-ago-11 |
| Departamento     |            | CESAR                |     | Fecha de Entrega      | 23-ago-11 |
| Código:          |            | S1-2806              |     | S1-2807               |           |
| Identificación:  |            | M4 Montaña 2 0-15 cm |     | M4 Montaña 11 0-15 cm |           |
| Análisis         | Unidades   | Resultado            | Cal | Resultado             | Cal       |
| Textura          |            | F - Ac - L           |     | F                     |           |
| Arena            | %          | 17,5                 |     | 37,5                  |           |
| Arcilla          | %          | 34,5                 |     | 21,5                  |           |
| Limo             | %          | 48,0                 |     | 41,0                  |           |
| pH               | Unidades   | 6,55                 | A   | 6,89                  | A         |
| C.E.             | dS/m       | 0,95                 |     | 1,48                  |           |
| Acidez Inter     | cmol(+)/kg | N.D.                 |     | N.D.                  |           |
| C.I.C.           | cmol(+)/kg | 14,6                 | M   | 9,18                  | B         |
| C. Orgánico      | %          | 0,88                 | B   | 0,67                  | B         |
| M. Orgánica      | %          | 1,52                 | B   | 1,16                  | B         |
| Potasio          | cmol(+)/kg | 0,22                 | M   | 0,57                  | A         |
| Calcio           | cmol(+)/kg | 12,0                 |     | 4,15                  |           |
| Magnesio         | cmol(+)/kg | 2,41                 |     | 2,03                  |           |
| Sodio            | cmol(+)/kg | 0,40                 |     | 0,15                  |           |
| Aluminio         | cmol(+)/kg | N.D.                 |     | N.D.                  |           |
| Silicio          | mg/kg Si   | N.D.                 |     | N.D.                  |           |
| Fósforo          | mg/kg P    | 45,0                 | A   | 36,3                  | A         |
| Azufre           | mg/kg S    | 86,7                 | A   | 30,8                  | A         |
| Boro             | mg/kg B    | 0,42                 | M   | 0,69                  | A         |
| Hierro           | mg/kg Fe   | 36,9                 | A   | 21,1                  | M         |
| Cobre            | mg/kg Cu   | 2,83                 | A   | 1,45                  | M         |
| Manganeso        | mg/kg Mn   | 61,0                 | A   | 30,3                  | A         |
| Zinc             | mg/kg Zn   | 2,24                 | A   | 1,95                  | M         |

| SUPALMA                                                             |            |               |                                 |                        |                  |
|---------------------------------------------------------------------|------------|---------------|---------------------------------|------------------------|------------------|
| CICE                                                                | cmol(+)/kg | 15,0          |                                 | 6,90                   |                  |
| Suma Bases                                                          | cmol(+)/kg | 15,0          |                                 | 6,90                   |                  |
| Sat de Bases                                                        | %          | 100           |                                 | 100                    |                  |
| Sat K                                                               | %          | 1,47          | B                               | 8,26                   | A                |
| Sat Ca                                                              | %          | 79,8          | A                               | 60,1                   | A                |
| Sat Mg                                                              | %          | 16,1          | M                               | 29,4                   | A                |
| Sat Na                                                              | %          | 2,67          | B                               | 2,17                   | B                |
| Sat Al                                                              | %          | N.D.          |                                 | N.D.                   |                  |
| Ca:Mg                                                               |            | 4,97          | A                               | 2,04                   |                  |
| K:Mg                                                                |            | 0,09          | B                               | 0,28                   | B                |
| (Ca+Mg)/K                                                           |            | 65,4          |                                 | 10,8                   |                  |
| <i>Prohibida la reproducción total o parcial de este documento.</i> |            | Convenciones: |                                 | Responsable:           |                  |
|                                                                     |            | Cal:          | Calificación Agronómica         |                        |                  |
|                                                                     |            | N.D.:         | No Determinado                  | No Aplica              | Coordinador LAFS |
|                                                                     |            | ILD:          | Inferior al límite de Detección | Análisis en repetición |                  |

*Fuente: Supalma*

### Conclusiones:

- Nitrógeno. Predominan valores bajos. Medio sólo en algunos lotes. No es problema.
- Fósforo. Medio en la mayoría de lotes
- Potasio. Valores medios a altos en la mayoría de lotes.
- Magnesio. Predominan valores medios a altos.
- Calcio. Valores medios a altos.
- Azufre. Predominan valores bajos. Se aprecia en campo.
- Boro. Predominan valores bajos
- Relación N/K. Predominan valores bajos.
- Relación Ca/B. Es predominantemente alta

- Saturaciones de K, Ca y Mg. Predomina alta Saturación de Potasio. Muy baja Saturación de Magnesio por alta de Calcio y Potasio

**Recomendaciones experto consultor:**

- Solo se recomienda realizar enmienda con materia orgánica bien sea mediante la aplicación de lodos o compost.

**3.1.4. Zona 4: Lotes La Montaña Incluye Basurero**

**Tabla 13: Información definitivo de los resultados de laboratorios Lotes La Montaña.**

| SUPALMA          |          |                      |           |
|------------------|----------|----------------------|-----------|
| Finca/Plantación |          | Basurero             | 28-jul-11 |
| Municipio        |          | CODAZZI              | 07-ago-11 |
| Departamento     |          | CESAR                | 23-ago-11 |
| Código:          |          | Basurero             |           |
| Identificación:  |          | M4 Montaña 2 0-15 cm |           |
| Análisis         | Unidades | Resultado            | Cal       |
| Textura          | **       | FA                   |           |
| Arena            | %        | 54%                  |           |
| Limo             | %        | 34%                  |           |
| Arcilla          | %        | 12%                  |           |
| pH               | unidades | 7,6                  | M         |
| Ac. Inter        | meq/100g | ND                   | *         |
| C. E.            | dS/m     | 1,9                  | B         |
| C. I. C.         | meq/100g | 12                   | M         |
| C. I. C. E.      | meq/100g | ND                   | *         |
| C. Orgáni        | %        | 2,10%                | B         |
| M. Orgáni        | %        | ND                   | *         |
| N total          | %        | ND                   | *         |
| NO3              | ppm      | ND                   | *         |
| NH4              | ppm      | ND                   | *         |
| Potasio          | meq/100g | 1,5                  |           |

| SUPALMA  |          |      |   |
|----------|----------|------|---|
| Calcio   | meq/100g | 22,2 |   |
| Magnesio | meq/100g | 1,1  |   |
| Sodio    | meq/100g | 0,32 |   |
| Aluminio | meq/100g | ND   |   |
| Silicio  | ppm      | ND   |   |
| Fósforo  | ppm      | 483  | A |
| Azufre   | ppm      | 144  | A |
| Boro     | ppm      | 1,5  |   |
| Hierro   | ppm      | 103  |   |
| Cobre    | ppm      | 81,9 | A |
| Mn       | ppm      | 9,7  | A |
| Zinc     | ppm      | 44,2 | A |

*Fuente: Supalma*

### **Conclusiones:**

Suelos con presencia de contaminantes difusos, la prueba solo indica el nivel de los compuestos con respecto a la producción de palma, pero por tratarse de una zona que contiene el antiguo basurero, es de esperar la presencia de otros elementos altamente peligrosos.

### **Recomendaciones experto consultor:**

Se recomienda hacer análisis exhaustivos para encontrar los niveles de los compuestos que se encuentran en esos terrenos, estos análisis son específicos y presentan un costo elevado.

### **3.1.5. Síntesis de la Caracterización de los Suelos**

- Los lotes de Tamacá presentan problemas de salinización y/o alcalinización, a raíz de las malas prácticas culturales históricamente

empleadas, por lo tanto este proyecto se centra en generar la mejor alternativa para el tratamiento y recuperación de estos suelos. Apoyado por las recomendaciones que hace el experto consultor, donde expresa que esta zona tiene viabilidad de recuperarse, siempre y cuando se elija la estrategia adecuada para el tratamiento de estos suelos Salino–Sódicos.

- La analítica de suelos para los lotes Pororó y La Esperanza muestran en general parámetros aceptables para el establecimiento y desarrollo de la palma de aceite. Sin embargo muestra un déficit en el contenido de materia orgánica, disminuyendo así su capacidad productiva. Por tal razón y de acuerdo a las recomendaciones del consultor contratado por la Central Sicarare S.A., es viable incorporar un programa de fertilización en el cual se pueden incluir enmiendas orgánicas, como es un compost elaborado a partir de los residuos orgánicos del mantenimiento silvicultural de las palmas y los residuos domésticos generados en la central, enriquecidos por los lodos orgánicos de la DPA Nestlé Colombia Ltda.
- De acuerdo a los resultados analíticos realizados en los lotes La Montaña, los suelos presentan alta concentración de componentes no aptos para el desarrollo agrícola de la palma de aceite.

Estos resultados son orientados netamente a la producción, por lo que se recomienda realizar análisis exhaustivos para determinar el grado de contaminación real del suelo, específicamente para los lotes del Basurero, ya que con la información disponible hasta el momento, no es posible recomendar una alternativa para su recuperación, en concordancia con lo manifestado por el experto consultor contratado por la Central Sicarare S.A., que además sugiere que estos análisis específicos tienen un elevado costo (ver apartado 4.1.4).

**Tabla 14: Síntesis de caracterización de los suelos no cultivados.**

| ZONA | LOTES        | ÁREA (ha) | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                  | PLAN DE ACCIÓN                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|--------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Tamacá       | 228       | Suelos con tendencias salino - sódico, aunque anteriormente fueron estabilizados con yeso, persiste este inconveniente el cual no permite el desarrollo y crecimiento de los cultivos de palma en esta zona. | Analizar y revisar la bibliografía y experiencias similares en otras zonas, para proponer la mejor alternativa disponible desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, que permita la producción óptima de palma.                       |
| 2    | Pororó       | 92        | Bajo contenido orgánico y de nutrientes.                                                                                                                                                                     | Fertilizar los lotes. Entre otras opciones se podría emplear lodos, podas vegetales y los residuos domésticos orgánicos, para realizar un compost que permita enriquecer los suelos a un bajo costo.                                               |
| 3    | La Esperanza | 185       |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 4    | La Montaña   | 114       | Suelos sin suficiente información específica para determinar sus características por poseer un antiguo vertedero, valores excesivamente altos para la siembra de palma u otros cultivos.                     | Realizar análisis de laboratorio específicos para la determinación del tipo de elementos potencialmente contaminantes presentes en el suelo, dependiendo de los resultados determinar la alternativa de tratamiento más adecuada para estos lotes. |

*Fuente: Supalma*

### **3.2. MEJORES TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DISPONIBLES PARA SUELOS SALINO-SÓDICOS**

Las diferentes tecnologías para la descontaminación de suelos se pueden clasificar según varios criterios, en función de los objetivos en técnicas de saneamiento, confinamiento o contención; en función de la naturaleza, en procesos fisicoquímicos, biológicos, térmicos o mixtos; así como en función de la forma de aplicación, en tecnologías *in situ* o *ex situ*.

Hoy en día, podemos encontrar varias técnicas para la recuperación de suelos salino-sódicos. La elección de una u otra técnica depende entre otros factores, de la eficacia, el costo económico y el tiempo empleado en cada tratamiento.

En el caso de suelos salino-sódicos como los presentes en la zona de Tamacá, se pueden emplear enmiendas con tratamientos físicos y químicos, estando encaminados a mejorar la estructura del suelo. Generalmente se deben combinar dos o más de los siguientes métodos:

- Aplicación de yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ).
- Lavado del suelo, con el drenaje y evacuación de la solución resultante.
- Aplicaciones de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo.
- Atenuación natural del suelo.

En la siguiente tabla se describen las ventajas e inconvenientes de cada tratamiento disponible de acuerdo a este caso particular de contaminación:

**Tabla 15: Mejores técnicas disponibles para el tratamiento de los suelos salino-sódicos<sup>4</sup>**

| TÉCNICA            | LUGAR DE APLICACIÓN | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                            | COSTOS                                                                          | TIEMPO DE EJECUCIÓN                        | VENTAJAS                                                                                                          | DESVENTAJAS                                                                                            |
|--------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                     |                                                                                                                                                        | PESOS (\$)                                                                      |                                            |                                                                                                                   |                                                                                                        |
| Lavado de suelos   | In situ             | Extracción de los contaminantes del suelo por la aplicación de agua o disolución acuosa de disolventes orgánicos, ácidos o bases                       | Entre \$96.000 y \$240.000 /m <sup>3</sup> de suelo (en condiciones favorables) | De moderado a largo, incluso a varios años | Aplicable a un amplio número de contaminantes                                                                     | Requiere una adecuada gestión de la solución resultante y extraída del suelo                           |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            | Demostrada efectividad en eliminación de sales                                                                    | No recomendable en suelos arcillosos                                                                   |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            | El proceso permite la eliminación de los contaminantes extraídos del suelos                                       | Los aditivos se adhieren a las partículas del suelo                                                    |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            |                                                                                                                   | Los contaminantes no se destruyen                                                                      |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            | Es una solución simple, de fácil aplicación y costo bajo                                                          | Se puede contaminar el suelo circundante                                                               |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            |                                                                                                                   | En ocasiones, requiere complementar el tratamiento con otros procedimientos                            |
| Atenuación natural | In situ             | La contaminación del suelo tiende a decrecer con el tiempo por procesos que sufren los contaminantes como volatilización, degradación, biodegradación, | Técnica de muy bajo costo                                                       | Tratamiento a largo plazo                  | Se aplica principalmente para tratar compuestos BTEX, hidrocarburos clorados, pesticidas y compuestos inorgánicos | Requiere alta densidad de pozos de inyección de agua para su propagación                               |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            |                                                                                                                   | El éxito depende de las características geológicas, hidrológicas y microbiológicas de la zona afectada |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            |                                                                                                                   | Es necesario realizar un monitoreo constante durante todo el proceso                                   |
|                    |                     |                                                                                                                                                        |                                                                                 |                                            |                                                                                                                   | Tratamiento muy lento                                                                                  |

<sup>4</sup> Guía Sobre Suelos Contaminados, Gobierno De Aragón. Descontaminación De Suelos, Facultad De Ciencias, Universidad De Granada

| TÉCNICA                       | LUGAR DE APLICACIÓN | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                  | COSTOS                                                          | TIEMPO DE EJECUCIÓN                   | VENTAJAS                                                                                       | DESVENTAJAS                                          |
|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                               |                     |                                                                                                                                                              | PESOS (\$)                                                      |                                       |                                                                                                |                                                      |
|                               |                     | dilución, sorción, etc.                                                                                                                                      |                                                                 |                                       | Usado cuando la excavación de tierras resulta muy costoso                                      | Poco efectivo en zonas de baja permeabilidad         |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Puede provocar la adsorción o asimilación de compuestos inorgánicos en micro o macroorganismos | Posible emisión de ruido y vapores                   |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       |                                                                                                | Baja eficiencia en suelos de baja humedad            |
| Aplicación de lodos orgánicos | In situ             | Aplicación de lodos generados en depuradora, ricos en materia orgánica y nutrientes los cuales permiten el lavado de sales y mejoran la fertilidad del suelo | Bajo, los costos se traducen en labores de preparación y mezcla | Mediano a largo plazo (de 1 a 5 años) | Se aprovecha un residuo que se lleva a vertedero                                               | Presenta riesgo de pérdidas y movilización de N y P  |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Reconocida como la mejor opción medioambiental para este residuo                               |                                                      |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Ricos en materia orgánica y nutrientes                                                         |                                                      |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Su incorporación mejora la estructura del suelo y aumenta la CIC                               |                                                      |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Estimulan la actividad microbiana                                                              | Resultados de tratamientos poco conocidos            |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Permite un mayor y mas rápido desarrollo de las plantas                                        |                                                      |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | No presenta cantidades detectables de contaminantes                                            |                                                      |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Supone un ahorro en la compra de abonos orgánicos (estiércol y compost) y minerales            |                                                      |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Aplicación directa en mezcla sobre el suelo                                                    | La aplicación debe hacerse en proporciones adecuadas |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Su aplicación tiene poca tendencia estacional y limita la dispersión de contaminantes          |                                                      |
|                               |                     |                                                                                                                                                              |                                                                 |                                       | Aumento de la actividad fosfatásica y del fósforo asimilable                                   |                                                      |

Fuente: Guía Sobre Suelos Contaminados, Gobierno De Aragón.  
Descontaminación De Suelos, Facultad De Ciencias, Universidad De Granada

Una vez descritos los diferentes tratamientos disponibles (lavado de suelos, aplicación de lodos orgánicos y atenuación natural), se puede realizar una selección de la técnica o técnicas más viables a implementar, de acuerdo a la contaminación por alcalinización presente en los lotes Tamacá de la Central Sicarare S.A. Dicha selección debe tomar en cuenta criterios como las características de los suelos, el grado de contaminación, la eficacia del tratamiento, el costo económico, el tiempo empleado, la alteración del sustrato, entre otros.

Luego de analizar las ventajas y desventajas de los tratamientos frente a este caso puntual de contaminación y aprovechando que en los lotes de la zona de Tamacá, se ha realizado la aplicación de yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ) que permite intercambiar el  $\text{Na}^+$  por el  $\text{Ca}^{2+}$  y promueve el lavado del suelo. Se determina que la mejor enmienda para la recuperación de estos suelos salino-sódicos consta de los siguientes tratamientos:

- Realizar un lavado del suelo, mediante la aplicación de una solución acuosa de carácter básico, los residuos allí resultantes se drenan mediante canales para su posterior gestión.
- Una vez desalcalinizado el suelo, se procede a la aplicación de lodos orgánicos (en proporción al suelo) para aportar nutrientes y mejorar su estructura, pues está demostrado que la adición de lodos orgánicos a suelos salino-sódicos acelera el lavado de sodio, disminuye el porcentaje de sodio intercambiable y la conductividad eléctrica, e incrementa la infiltración, la capacidad de retención de agua, la estabilidad estructural<sup>5</sup>, la biomasa del suelo y diversas actividades enzimáticas<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> El-Shakweer et al., 1998

<sup>6</sup> Liang et al., 2003b; Tejada and González, 2005

Es importante resaltar las cualidades de los lodos orgánicos generados en la PTAR de la fábrica DPA Nestlé Colombia Ltda., estos se caracterizan por ser ricos en nutrientes (nitrógeno y fósforo), gran contenido de materia orgánica, no presentan metales pesados, grasas y aceites, poseen una humedad del 85% y un pH de 7,6. Además su aprovechamiento resulta una gran oportunidad de valorar un residuo que actualmente se está desechando.

A pesar que estas técnicas demandan un mediano a largo plazo de ejecución, su implementación no altera las propiedades del suelo, no involucra las aguas subterráneas, su costo de implementación es relativamente bajo y son compatibles con las características del suelo a tratar.

### **3.2.1. Generación de Lodos Orgánicos**

La fábrica DPA Nestlé Colombia Ltda. es una industria láctea que se encarga de transformar la leche líquida en leche en polvo, producto de esta actividad se generan las aguas residuales que son tratadas en su PTAR. Este tratamiento consiste en un sistema biológico oxigenado de fangos activos, que al final del proceso deja el agua tratada y un lodo rico en nutrientes y carga orgánica que es descartado como residuo asimilable a urbano por sus características.

A continuación se describe el proceso depurador de las aguas residuales en la fábrica:

#### **A. LINEA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

- 1)** Tanque de Neutralización: Se neutralizan las aguas residuales provenientes del proceso, se estabiliza en un rango de 5,5 y 8,0 de pH.
- 2)** Canaleta Parshall: Se realizan las medidas de control de proceso, tales como caudal. Temperatura, turbidez y pH.

- 3) Estación de Bombeo: Se bombea el agua residual hacia la cota más alta del proceso de la PTAR, para que comience su depuración.
- 4) Tanque de recibo: Se reciben las aguas residuales para garantizar una lámina de agua constante para el proceso.
- 5) DAF: Flotador – Decantador por aire: Se inyecta aire y floculantes para generar un floc específico de grasa, que se retira mediante barredor automático. Esta grasa es totalmente procedente de la leche y se mezcla con el lodo residual final.
- 6) Tanque de Homogenización: Se Homogenizan las cargas orgánicas y los caudales dependiendo de las variables de proceso en planta. Indirectamente amortigua la temperatura para que esta este en 30 °C promedio, posee un agitador que acelera el homogenizado.
- 7) Aireadores 1&2: Es el punto más importante del tratamiento posee los lodos activados los cuales degradan la materia orgánica procedente de las aguas residuales, estos lodos tienen unas características específicas para el tratamiento biológico, son módulos de 2 etapas en donde la primera tiene un diseño para operar a 0,2 ppm de O<sub>2</sub> disuelto y la segunda a 1,0 ppm de O<sub>2</sub> disuelto una temperatura balanceada de 23°C y un color marrón oscuro y sin espuma superficial lo que indica las buenas condiciones del proceso. Los lodos se reproducen exponencialmente por lo tanto según las condiciones de proceso se hace un descarte de lodos por exceso. El balance se hace dependiendo de la relación F/M (alimento y microorganismo) esta debe conservarse en 0,4 a dimensional, el cálculo se realiza midiendo la concentración de carga orgánica presente en el agua residual Vs la concentración de lodos presente en los aireadores, cuando hay mas lodos que carga orgánica se descarta hasta que la relación sea 0,4 este es un estándar recomendado por la empresa fabricante.
- 8) Sedimentador – Clarificador: Es una estructura cónica donde los lodos por diferencia de densidad se descartan para clarificar el agua ya tratada, los lodos se descartan por la parte de abajo para su post tratamiento; mientras

que el agua depurada se vierte sin clorar, al alcantarillado del municipio de Valledupar.

- 9) Canal de aforo y salida: Es el punto de revisión de calidad de agua, en donde se analizan los parámetros finales de vertimiento, generalmente los valores deben estar promedio de temperatura cercana a los 30°C, la remoción de carga orgánica están alrededor del 90%, y el color se encuentra transparente cristalino.
- 10) Vertimiento Alcantarillado Municipal: El vertimiento se realiza de forma continua con un caudal promedio de 1,4 l/s.

## **B. LINEA DE TRATAMIENTO DE LODOS**

- 1) Recirculación de Lodos: Los lodos son recirculados dependiendo de la relación F/M en donde se desvía directamente a los aireadores.
- 2) Estación de Derivación de Lodos: esta estructura se utiliza para desviar los lodos a su tratamiento final dentro de la fábrica, dependiendo de las condiciones del proceso se adecua que línea seguir, en caso de emergencia también es empleado para desviar directamente al tanque de homogenización cuya capacidad amortigua 3 veces la capacidad de la Depuradora.
- 3) Tanque Espesador de Lodos: este tanque recibe las grasas provenientes del DAF y del Decantador o clarificador, su función es espesar los lodos a través de la acción de gravedad. Una vez los lodos se encuentran pre-deshidratados se toma la decisión dependiendo de la capacidad de producción en fábrica que tratamiento final se da:
  - a. Centrifuga mecánica: Se utiliza una centrifuga de tornillo sin fin que por efecto de la fuerza y velocidad de la centrifugada separa los lodos secos del agua. Tiene una capacidad de 1,5 m<sup>3</sup> de lodo residual por hora de funcionamiento.

- Retiro Mecánico de Lodos: después que los lodos son centrifugados estos decantan directamente a un tanque montacargas que luego es llevado al relleno sanitario de la ciudad de Valledupar.
- b. Lechos de Secado: Se utilizan 4 módulos de secado, que tienen una capacidad de secado de 80 m<sup>3</sup> de lodos / semana. Depende directamente de la acción solar y la temperatura ambiente, está provisto de un lecho filtrante de arena y grava para realizar la depuración final de la humedad que tengan estos lodos.
- Retiro Manual de Lodos: Una vez se han “secado los lodos” estos se retiran de forma manual empleando palas y rastrillos manuales, se depositan en sacos y se llevan al relleno sanitario.
- 4) Disposición a relleno: En el relleno sanitario se disponen como cualquier otro residuo urbano de la ciudad de Valledupar, no se utiliza para compost ya que las instalaciones del relleno no cuentan con esta opción.

### C. PRODUCCIÓN DE LODOS

- Concentración de lodos en Cld = ppm = (mg/lit) = (gr/m<sup>3</sup>)

$$Cld = 18.000 \frac{gr}{m^3}$$

- Caudal lodos de drenaje Qld (  $\frac{m^3}{mes}$  )

$$Qld = 800 \frac{m^3}{mes}$$

- Producción de lodos deshidratados Pld = Cld \* Qld

$$Pld = 18.000 \frac{gr}{m^3} * 800 \frac{m^3}{mes}$$

$$Pld = 14'400.000 \frac{m^3}{mes} = 14,4 \frac{Ton}{mes}$$

### D. ANÁLISIS LEGAL Y RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS LODOS

En el marco de la gestión integral de los residuos o desechos tóxicos en Colombia, el Decreto 4741 de 2005 “Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral” punto 7 del Anexo C, se establecen las características que hacen a un residuo peligroso por ser tóxico:

Se considera residuo o desecho tóxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos o desechos que se clasifican de acuerdo con los criterios de toxicidad (efectos agudos, retardados o crónicos y eco tóxicos) definidos a continuación y para los cuales, según sea necesario, las autoridades competentes establecerán los límites de control correspondiente:

- Dosis letal media oral (DL50) para ratas menor o igual a 200 mg/kg para sólidos y menor o igual a 500 mg/kg para líquidos, de peso corporal.
- Dosis letal media dérmica (DL50) para ratas menor o igual de 1000 mg/kg de peso corporal.
- Concentración letal media inhalatoria (CL50) para ratas menor o igual a 10 mg/l.
- Alto potencial de irritación ocular, respiratoria y cutánea, capacidad corrosiva sobre tejidos vivos.
- Susceptibilidad de bioacumulación y biomagnificación en los seres vivos y en las cadenas tróficas.
- Carcinogenicidad, mutagenecidad y teratogenecidad.
- Neurotoxicidad, inmunotoxicidad u otros efectos retardados.
- Toxicidad para organismos superiores y microorganismos terrestres y acuáticos,
- Otros que las autoridades competentes definan como criterios de riesgo de toxicidad humana o para el ambiente.

Además, se considera residuo o desecho tóxico aquel que, al realizársele una prueba de lixiviación para característica de toxicidad (conocida como prueba TCLP), contiene uno o más de las sustancias, elementos o compuestos que se presentan en la Tabla 16 en concentraciones superiores a los niveles máximos permisibles en el lixiviado establecidos en dicha tabla.

**Tabla 16: Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP**

**7**

| CONTAMINANTE | UNIDAD | NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE EN EL LIXIVIADO |
|--------------|--------|-----------------------------------------|
| Arsénico     | mg/l   | 5,0                                     |
| Bario        | mg/l   | 100,0                                   |
| Cadmio       | mg/l   | 1,0                                     |
| Cromo        | mg/l   | 5,0                                     |
| Plomo        | mg/l   | 5,0                                     |
| Mercurio     | mg/l   | 0,2                                     |
| Selenio      | mg/l   | 1,0                                     |
| Plata        | mg/l   | 5,0                                     |

*Fuente: Tabla 3, punto 7 Anexo C, del Decreto 4741 de 2005.*

Según el reporte de ensayo N° 1109-607-5 (ver Anexo B), el cual arroja resultados fisicoquímicos de los lodos generados en la estación depuradora de DPA Nestlé Colombia Ltda., estos no se consideran un residuo peligroso tóxico ya que presentan valores dentro de los límites permisibles por el Decreto 4741 de 2005, como se observa en la Tabla 17:

**Tabla 17: Comparación con los límites permisibles legales.**

| CONTAMINANTE | UNIDADES | RESULTADO | VALORES DE REFERENCIA (mg/l) |
|--------------|----------|-----------|------------------------------|
| Arsénico     | mg/kg    | <0,0005   | 5,0                          |
| Bario        | mg/kg    | <0,2      | 100,0                        |
| Cadmio       | mg/kg    | <0,016    | 1,0                          |

<sup>7</sup> Datos extraídos de la tabla 3, punto 7 Anexo C, del Decreto 4741 de 2005.

| CONTAMINANTE | UNIDADES | RESULTADO | VALORES DE REFERENCIA (mg/l) |
|--------------|----------|-----------|------------------------------|
| Cromo        | mg/kg    | 1,86      | 5,0                          |
| Plomo        | mg/kg    | <0,10     | 5,0                          |
| Mercurio     | mg/kg    | <0,0003   | 0,2                          |
| Selenio      | mg/kg    | <0,0010   | 1,0                          |
| Plata        | mg/kg    | <0,08     | 5,0                          |

*Fuente: Reporte de ensayo N° 1109-607-5 (ver Anexo B).*

Por otra parte al carecer en Colombia de una legislación propia para el uso de lodos de depuradoras en la adecuación de suelos, se tomará como referencia el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la Utilización de los Lodos de Depuración en el Sector Agrario, que traspone la Directiva del Consejo 86/278/CEE, de 12 de junio de 1986 y que tiene como objeto compaginar la producción de lodos de depuración y su utilización agraria en España.

El mencionado Real Decreto en sus Anexos IA (Tabla 18) y IB (Tabla 19) dispone los valores límites de concentración de metales pesados presentes en el suelo y en los lodos de depuración destinados a su utilización agraria, respectivamente.

**Tabla 18: ANEXO IA. Valor límite de concentración de metales pesados en los suelos (mg/kg de materia seca).**

| PARAMETROS | SUELOS CON pH MENOR DE 7 | SUELOS CON pH MAYOR QUE 7 |
|------------|--------------------------|---------------------------|
| CADMIO     | 1                        | 3,0                       |
| COBRE      | 50                       | 210,0                     |
| NIQUEL     | 30                       | 112,0                     |
| PLOMO      | 50                       | 300,0                     |
| ZINC       | 150                      | 450,0                     |
| MERCURIO   | 1                        | 1,5                       |
| CROMO      | 100                      | 150,0                     |

*Fuente: Real Decreto 1310/1990*

**Tabla 19: ANEXO IB. Valor límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a utilización agraria (mg/kg de materia seca).**

| PARAMETROS | SUELOS CON pH MENOR DE 7 | SUELOS CON pH MAYOR DE 7 |
|------------|--------------------------|--------------------------|
| CADMIO     | 20                       | 40                       |
| COBRE      | 1000                     | 1750                     |
| NIQUEL     | 300                      | 400                      |
| PLOMO      | 750                      | 1200                     |
| ZINC       | 2500                     | 4000                     |
| MERCURIO   | 16                       | 25                       |
| CROMO      | 1000                     | 1500                     |

*Fuente: Real Decreto 1310/1990*

Comparando los resultados del análisis fisicoquímico de los lodos de DPA Nestlé Colombia y teniendo en cuenta que los suelos de la Central Sicarare S.A. que se van a recuperar presentan pH mayor a 7, se observa que los niveles de metales pesados presentes en los lodos se encuentran dentro de los límites permisibles que establece el Real Decreto 1310/1990 para su uso en la adecuación de suelos agrícolas, como se detalla en la Tabla 20.

**Tabla 20: Comparación con los límites permisibles en España.**

| PARAMETROS | RESULTADOS (mg/kg) | VALORES DE REFERENCIAS<br>SUELOS CON pH MAYOR DE 7<br>(mg/kg de materia seca) |
|------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| CADMIO     | <0,016             | 40                                                                            |
| COBRE      | --                 | 1750                                                                          |
| NIQUEL     | --                 | 400                                                                           |
| PLOMO      | <0,10              | 1200                                                                          |
| ZINC       | --                 | 4000                                                                          |
| MERCURIO   | <0,0003            | 25                                                                            |
| CROMO      | 1,86               | 1500                                                                          |

*Fuente: La Autora*

De la misma manera comparando el análisis de los suelos de la Central Sicarare S.A., se encuentra que los suelos sólo presentan dos de los metales pesados

(cobre y zinc) regulados por el citado Real Decreto, y estos se encuentran dentro de los límites permitidos para su adecuación con lodos de depuradora.

Por lo anterior se puede concluir que legalmente es viable la utilización de los lodos de la depuradora de DPA Nestlé Colombia, en la recuperación de los suelos contaminados de la Central Sicarare S.A., ya que estos no se consideran un residuo peligroso tóxico y los niveles de metales pesados presentes en ellos no genera riesgo para los suelos, el agua, la cubierta vegetal y la salud humana.

### **3.3.PROPUUESTA PARA LA APLICACIÓN DE LA ENMIENDA SELECCIONADA**

En este apartado se realizarán cálculos tales como el grado de estabilidad de lodos, la dosis máxima y el procedimiento de dosificación, los cuales se basan en el Manual de Aplicación en Actividades Extractivas y Terrenos Marginales de Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Agencia Catalana del Agua<sup>8</sup>, en donde se establece el paso a paso para la aplicación de la enmienda con lodos de depuradora sugeridas en este proyecto.

#### **3.3.1. Lavado del Suelo**

Para la recuperación de suelos salinos es necesario el lavado de las sales, las cuales pueden ser transportadas a horizontes más profundos de los explorados por las raíces de las plantas, o pueden ser evacuadas a otras zonas, por medio de drenes. Las zonas receptoras no deben ser sensibles a la contaminación originada.

---

<sup>8</sup> Manual de Aplicación en Actividades Extractivas y Terrenos Marginales de Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Agencia Catalana del Agua.

El lavado in situ del suelo es de relativamente fácil aplicación para los lotes de la zona de Tamacá, pues han sido enmendados con la aplicación previa de yeso, de esta manera el  $\text{Ca}^{2+}$  liberado no permite que el  $\text{Na}^+$  pase a forma intercambiable. Además de regar, es necesario extraer artificialmente el agua que se ha infiltrado en el suelo para evitar que ascienda el nivel freático de la zona, lo que aportaría nuevas sales al suelo. Para ello se instalan a determinada profundidad del suelo un sistema de drenes (tubos de recogida del agua) que evacua esta agua a unos canales de desagüe.

En la preparación del suelo, se debe conseguir que el movimiento del agua, tanto en profundidad como en superficie, sea lo más uniforme posible, facilitando el drenaje y el desagüe, con labores que eliminen la suela de arado y actúen sobre los límites abruptos entre horizontes. Se evitará la formación de costra superficial, frecuente en estos suelos de elevada concentración de sales y con efectos negativos sobre las plantas.

La técnica de riego empleada influye en la variación del potencial hídrico del suelo, encontrándose las fluctuaciones más amplias en los sistemas de gravedad (por inundación) y de aspersión y manteniéndose casi constante este potencial en los riegos de alta frecuencia (aspersión y goteo). El lavado de sales será mayor con los riegos de gravedad y aspersión y menor en los localizados. A medida que la eficacia del riego calculada para compensar solamente la evapotranspiración, sea más alta, los lavados de sales serán menores, lo cual, tendrá su incidencia en los rendimientos.

### **3.3.2. Preparación de Tierras**

Los lodos de depuradora no se pueden aplicar, en ningún caso, directamente sobre la superficie del suelo sin mezclarlos con tierra, ya que cuando se secan forman terrones compactos, pierden mucha de su capacidad fertilizante y pueden

contaminar el terreno y las aguas de drenaje. Sólo un grupo limitado de plantas puede crecer directamente sobre los cúmulos de lodos, de forma que no conviene que quede una capa de lodos sobre la superficie del terreno sin mezclarlo con la tierra. Además, si el terreno es inclinado, los lodos podrían ser arrastrados por las aguas de lluvia.

La aportación de lodos en la preparación de suelos para regeneración se plantea básicamente como una enmienda orgánica, a diferencia de lo que se acostumbra a considerar en las aplicaciones agrícolas, que es la aportación de nutrientes.

El objetivo es, por lo tanto, incorporar en una única aplicación unos niveles suficientes de materia orgánica que dejen los suelos en buenas condiciones durante muchos años para el desarrollo de la vegetación.

### **3.3.3. Grosor de la Mezcla**

Las mezclas de tierra y lodo pretenden emular los horizontes organominerales naturales, que son la capa más fértil de los suelos. Según las condiciones topográficas y la disponibilidad de tierra, el grosor de suelo variará. Como mínimo, debe aplicarse una capa de tierra de 20 cm de grosor efectivo, de calidad aceptable, para asegurar un desarrollo agronómico. En taludes de más de 30°, es difícil superar este grosor. En zonas planas y en taludes más suaves, es recomendable extender una capa de unos 30-40 cm de mezcla de tierra y lodos.

De todas formas, no conviene superar los 40 cm de grosor de suelo abonado con lodos, sobre todo cuando la mezcla es rica en estos, para evitar problemas de ahogamiento en el interior del suelo que impedirían el desarrollo de las raíces y la actividad de los microorganismos. La descomposición de los lodos en el interior del suelo consume oxígeno, de forma que si el suelo no tiene una porosidad adecuada o la capa de suelo con lodos es demasiado gruesa, el suelo se agota y

da lugar a unas condiciones reductoras que limitan la actividad de los microorganismos y el crecimiento de las plantas.

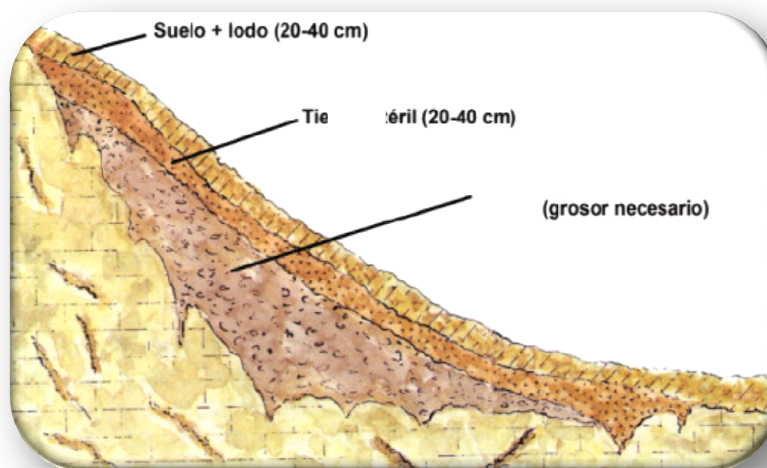
Por las características del lugar se posee tierra y materiales aptos para la restauración, de forma que se sobrepasarían los 40 cm de grosor máximo recomendado de capa de material enmendado con lodos. Es preferible restaurar el terreno disponiendo los materiales en dos o tres capas.

#### **3.3.4. Determinación de la Dosis**

Las directrices que regulan la aplicación de lodos de depuradora en suelos agrícolas no son de obligado cumplimiento en la restauración de terrenos, a menos que este sea el uso final previsto del terreno. De todas formas, mientras no exista una normativa específica, no se utilizarán aquellos lodos que superen los contenidos máximos permitidos de metales pesados establecidos en el Decreto 4741 del Gobierno Colombiano. Asimismo, no se sobrepasarán los valores límite de metales presentes en el suelo, especialmente en la restauración. En cambio, no deben considerarse las limitaciones por aportaciones anuales máximas de metales pesados para estos suelos agrícolas.

La utilización de lodos en la restauración supone una aplicación de dosis relativamente medias, para estas aplicaciones agrícolas, en las que las aportaciones pueden repetirse anualmente. Por lo tanto, la aplicación de lodos calculada para lograr unos niveles adecuados de materia orgánica puede representar una dosis adaptable a las condiciones del terreno, incluso excesiva de los nutrientes mayoritarios durante el primer año, pero nunca debe suponer una incorporación superior a la permitida de los elementos potencialmente tóxicos. Es decir, se puede producir una sobre fertilización en algún nutriente, como el nitrógeno, durante los primeros meses desde la aplicación de los lodos, cuando todavía la vegetación no se ha desarrollado lo suficiente y no puede absorberlo

todo. Este problema debe ser temporal, de forma que cuando la vegetación haya arraigado, pueda utilizar todos estos nutrientes.



**Imagen 11: Disposición de materiales lodo y tierras en el proceso de restauración<sup>9</sup>.**

*Fuente: Manual de Aplicación en Actividades Extractivas y Terrenos Marginales de Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Agencia Catalana del Agua*

En primer lugar debe llevarse a cabo una adecuación geomorfológica, de forma que el área a recuperar no supere la inclinación máxima. Un procedimiento puede consistir en excavaciones controladas para estabilizar taludes y pendientes. También se puede rellenar con estériles hasta conseguir la pendiente deseada. Después se pueden depositar las tierras empezando por las de peor calidad. Finalmente, deben reponerse las mezclas de tierras abonadas con lodos, respetando los grosores previstos.

---

<sup>9</sup> Manual de Aplicación en Actividades Extractivas y Terrenos Marginales de Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Agencia Catalana del Agua

### **3.3.5. Dosis Máxima**

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de la adición de lodos es garantizar un abundante desarrollo de la vegetación durante los primeros estadíos de la restauración mediante el incremento del contenido de materia orgánica y nutriente, de los materiales utilizados para la creación del suelo. La dosis máxima de lodos que deberá aplicarse se determinará según el contenido de materia orgánica preexistente en los materiales, que se pretende utilizar para la creación del suelo y el grado de estabilidad de los lodos.

Esta dosificación también estará condicionada por el contenido en tierra fina y la densidad aparente de los sustratos, ya que el contenido de materia orgánica se expresa respecto a la tierra fina y la cantidad de esta que se encuentra en el volumen de suelo depende de su densidad aparente. En cualquier caso, cuando el contenido de materia orgánica de los materiales de partida sea superior al 2 %, desestimaremos la enmienda, ya que podemos considerar que el suelo o sustrato ya tiene bastante contenido de materia orgánica.

Se ha hecho constar en la bibliografía de revisión, que una parte considerable de la materia orgánica de los lodos es lábil, que se mineraliza rápidamente después de su aplicación, de forma que el contenido de materia orgánica del suelo enmendado también disminuye a partir del momento en que se realizan las mezclas. La velocidad de este proceso de mineralización dependerá del grado de estabilidad de la materia orgánica. Por este motivo, no tiene sentido aplicar lodos poco estabilizados, ya que la rápida descomposición de la materia orgánica, nos alejaría del objetivo de dotar de un contenido mínimo de materia orgánica a los suelos enmendados o nos obligaría a aplicar unas dosis de lodos que incrementarían sustancialmente los riesgos ambientales derivados de aplicarlos. Es por tanto que los lodos ya estabilizados de Nestlé son perfectos para la restauración.

Como recomendación para la Central Sicarare S.A., no se debe superar la dosis de 50 toneladas de lodo deshidratado por hectárea (expresada en materia seca). En relación con el volumen, la proporción máxima que se deberá aplicar será de 1:20 (v/v), es decir, una palada (o volumen) de lodo de depuradora por veinte paladas (o volúmenes) del material que debe enmendarse. De igual forma, tal y como se explica más adelante, nunca se añadirá una dosis de materia orgánica lábil superior a 5 g kg<sup>-1</sup> de tierra fina (0,5 %).

Otro factor que se controla en la dosificación es el contenido de metales pesados en los lodos y en los materiales de partida, lo que condicionará el contenido final de metales en los suelos enmendados con lodos. En caso de que con la dosificación resultante de los cálculos explicados a continuación se superen los niveles de metales máximos para suelos establecidos en el documento de trabajo sobre lodos elaborado por la UE, se debe descartar esta alternativa.

### **3.3.6. Cálculo de la Dosis Máxima de Lodos**

El criterio de cálculo de la dosis máxima de lodos aplicable se basa en el contenido y tipo de materia orgánica de los lodos.

Los lodos de depuradora son portadores de cantidades generalmente altas de materia orgánica total (MOF), de la cual, una parte es fácilmente mineralizable. Esta fracción fácilmente mineralizable es lo que llamamos materia orgánica lábil (MOL), en contraposición a la materia orgánica recalcitrante (MOR), que se mineraliza a un ritmo bastante más lento. Las proporciones relativas de MOL y MOR en el conjunto de la materia orgánica de un lodo (MOF) se expresan mediante su grado de estabilidad (GE), que representa la fracción de MOR respecto a la MOF.

A pesar de que a menudo el GE se expresa en forma de porcentaje, para el caso de la Central Sicarare S.A. utilizaremos en su expresión unitaria, como un índice que puede adquirir valores entre 0 (nada de MOR,  $MOR = 0$ ) y 1 (todo es MOR,  $MOR = 1$ ). Los contenidos de MOL, MOR y MOF se expresan en g kg<sup>-1</sup> de lodo seco. El GE es un índice sin unidades.

El objetivo principal de esta enmienda orgánica es incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y, particularmente, el contenido de materia orgánica estable o recalcitrante.

La dinámica de los nutrientes y las características del suelo enmendado serán muy diferentes según, si la enmienda se realiza con lodo en el que predomine la MOR o bien la MOL, es decir, si se lleva a cabo con un lodo que tenga un GE alto o bajo, respectivamente. Algunos riesgos ambientales asociados al uso de lodos de depuradora, como la sobre fertilización, el incremento en la cantidad y bio disponibilidad de elementos, y sustancias potencialmente tóxicas, aparecen a menudo correlacionados con la cantidad de MOL que se incorpora al suelo.

Con el objetivo de reducir estos riesgos, la cantidad de materia orgánica lábil que se incorpora al suelo o a los sustratos para la restauración, no podrá superar en ningún caso los 5 g de MOL por kg de tierra fina contenida en el sustrato mineral que debe enmendarse. Es decir, nunca incorporaremos al suelo más de un 0,5 % de materia orgánica lábil (sobre tierra fina).

Inicialmente se seleccionan los lotes de la Zona Tamacá de la Central Sicarare S.A., con un área a recuperar de 4 Hectáreas, para el cálculo se extraen los datos necesarios del análisis del informe de Supalma (ver Anexo C).

**Tabla 21: Características básicas del terreno.**

| PARÁMETRO         | UNIDADES          | RESULTADO |
|-------------------|-------------------|-----------|
| pH                | ***               | 7,21      |
| Densidad Aparente | Kg/m <sup>3</sup> | 1,4       |
| Materia Orgánica  | gr/ Kg            | 0,98      |
| T. Fina           | gr/ Kg            | 300       |

*Fuente: Análisis del informe de Supalma (ver Anexo C)*

En cuanto a los lodos es necesario conocer esencialmente su grado de estabilidad y cruzar los valores en la Tabla 23, creado por la universidad de Barcelona para recuperación de suelos.

**Tabla 22: Características básicas del lodo.**

| PARÁMETRO                               | UNIDADES | RESULTADO |
|-----------------------------------------|----------|-----------|
| Proporción Materia Orgánica (Mor)       | gr/ Kg   | 0,72      |
| proporción Materia Orgánica Lábil (Mol) | gr/ Kg   | 1,24      |

*Fuente: Laboratorio homologado Proambiente (ver Anexo B).*

Esta información se extrae del análisis de lodos para la fábrica de DPA Nestlé Colombia Ltda., realizado por el laboratorio homologado Proambiente (ver Anexo B).

Cálculo del grado de estabilidad de los lodos:

$$GE = \frac{MOr}{MOr + Mol} = \frac{0,72}{0,72 + 1,24} = 0,367 \cong 0,4$$

Con el grado de estabilidad GE de los lodos de la fábrica de lácteos DPA Nestlé Colombia Ltda. (0,4) y la cantidad de materia fina del material de suelo de la zona Tamacá de la empresa Central Sicarare S.A., se procede a estimar la proporción de dosis real a suministrar al suelo, para ello se emplea el estudio experimental realizado por la universidad de Barcelona, el cual en síntesis indica los valores en

la horizontal para el grado de estabilidad y en la vertical la cantidad de material fino. El objetivo es cruzar los valores y obtener la proporción como se indica en la Tabla 23:

**Tabla 23: Estimación de la proporción de lodos.**

| PROPORCIÓN DE TIERRA<br>FINA (menor a 2<br>mm) gr/Kg | GRADO DE ESTABILIDAD GE |       |       |       |       |        |        |
|------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|                                                      | ***                     | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7    | 0,8    |
|                                                      | 200                     | 10,71 | 12,50 | 15,00 | 18,75 | 25,00  | 37,50  |
|                                                      | 300                     | 16,07 | 18,75 | 22,50 | 28,13 | 37,50  | 56,25  |
|                                                      | 400                     | 21,43 | 25,00 | 30,00 | 37,50 | 50,00  | 75,00  |
|                                                      | 500                     | 26,79 | 31,25 | 37,50 | 46,88 | 62,50  | 93,75  |
|                                                      | 600                     | 32,14 | 37,50 | 45,00 | 56,25 | 75,00  | 112,50 |
|                                                      | 700                     | 37,50 | 43,75 | 52,50 | 65,63 | 87,50  | 131,25 |
|                                                      | 800                     | 42,86 | 50,00 | 60,00 | 75,00 | 100,00 | 150,00 |
|                                                      | 900                     | 48,21 | 56,25 | 67,50 | 84,38 | 112,50 | 168,75 |
|                                                      | 1000                    | 53,57 | 62,50 | 75,00 | 93,75 | 125,00 | 187,50 |

*Fuente: Universidad de Barcelona*

En la Tabla 23 el color verde indica proporciones óptimas de dosificación, el color rojo indica proporciones elevadas de dosificación, que pondría en riesgo el cultivo a desarrollar.

De acuerdo al análisis se obtiene que la proporción de dosificación de lodos es de 18,75 se redondea al próximo entero mayor (19). De acuerdo a las características tanto del lodo de DPA Nestlé Colombia Ltda., como las del suelo de la Central Sicarare S.A., la dosificación que debe realizarse es de 1:19, por cada parte de lodos se aplican 19 partes de “tierra” propia de la Central Sicarare S.A.

### 3.3.7. Cantidad de Materiales

Con este análisis se calcula el consumo promedio de lodos de DPA Nestlé Colombia Ltda. por cada hectárea a recuperar.

Para obtener la densidad real de la materia orgánica presente en los lodos se somete a calor con una temperatura constante de 105°C.

**Tabla 24: Parámetros materia orgánica.**

| PARÁMETRO                | UNIDADES             | RESULTADO |
|--------------------------|----------------------|-----------|
| Densidad Real (Dr)       | gr / cm <sup>3</sup> | 0,142     |
| Área (A)                 | Hectárea             | 1         |
| Grosor de capa (Gp)      | M                    | 0,3       |
| Dosis de Proporción (Dp) | ***                  | 1:19      |

*Fuente: Universidad de Barcelona*

Se determina el volumen real (Vr):

$$Vr = \left( \frac{A \times Gp}{Dp} \right) = \left( \frac{1 \text{ h} \times 0,3 \text{ m}}{19} \times \frac{10\,000 \text{ m}^2}{1 \text{ h}} \right) \gg Vr = 157,895 \text{ m}^3$$

Con el volumen y la densidad real se calcula la masa de lodos necesarios para la recuperación de los suelos (Mr):

$$Mr = Vr \times Dr = 157,895 \text{ m}^3 \times 0,28 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ Ton} \times (100)^3 \text{ cm}^3}{10^6 \text{ gr} \times 1 \text{ m}^3}$$

$$Mr = 44,198 \text{ Ton}$$

De acuerdo a los cálculos para recuperar una hectárea de terreno de la zona de Tamacá de la Central Sicarare S.A. se necesitan 44,2 toneladas de lodo, lo que de acuerdo con la bibliografía, estaría adecuado ya que no supera el margen de

rendimiento agronómico y ambiental establecido en 50 ton por hectárea a recuperar.

Por otra parte, de acuerdo a los cálculos iniciales la fábrica de lácteos está generando en promedio 14 toneladas de lodos al mes, lo que significaría una solución progresiva. Inicialmente para solventar las 44,2 Ton de requerimiento se necesitan de 3 meses de generación de lodos en la PTAR.

**Tabla 25: Recomendación para el manejo de lodos.**

| RECOMENDACIÓN PARA EL MANEJO DE LODOS |              |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------|--------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lodo Generado                         | Frecuencia   | Transporte | Observación                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3,5 Toneladas semanales               | Cada 15 días | 2 Veces    | El transporte se realiza en la vuelta del camión que lleva los residuos asimilables desde la central Sicarare hasta el relleno sanitario de la ciudad de Valledupar, aprovechando que este vehículo cuenta con los permisos, adecuaciones técnicas y con el espacio para ello. |

*Fuente: La Autora*

### **3.3.8. Procedimiento de Mezclado**

Es muy importante que los lodos queden bien mezclados con la tierra antes de disponerlos sobre el terreno. Cuanto mejor sea la mezcla, más uniforme y rápida será la recuperación, menos problemas de manipulación habrá. Deben evitarse cúmulos puntuales de lodos que podrían ser focos de contaminación. En la mayoría de los casos, se puede utilizar sin problemas la maquinaria disponible en la Central Sicarare S.A. para preparar estas mezclas sin necesidad de realizar ninguna adaptación.

Describiremos a continuación tres procedimientos sencillos para preparar las mezclas de tierra con el lodo que la empresa aplicara según las características de los lotes que sean objeto de restauración, la maquinaria disponible, la accesibilidad al espacio de trabajo, la extensión del terreno para realizar las mezclas, etc. En todos los casos se evitará la manipulación del lodo en zonas sin

ventilación y se priorizarán los trabajos a la intemperie. También debe limpiarse la maquinaria que haya estado en contacto con los lodos o las mezclas de lodos y tierra para eliminar posibles restos de lodo que pudieran haber quedado.

#### **A. Mezcla previa**

Es un procedimiento que consiste en mezclar directamente el lodo con la tierra antes de su transporte y distribución final sobre el terreno que debe restaurarse. Debe disponerse de una zona de la cantera, preferiblemente plana, que permita almacenar temporalmente la tierra y los lodos, que sea accesible a los camiones que transportarán estos materiales, y que tenga suficiente espacio para la maniobra de toda la maquinaria. Debe ser un lugar no inundable que, en caso de lluvia, no quede enfangado, ya que dificultaría el trabajo de las máquinas.

Los acopios de tierra y lodo deben estar muy cercanos para optimizar el rendimiento de las máquinas. Para preparar la mezcla, se cogerán paladas alternativas de tierra y lodos en la proporción volumétrica previamente establecida. Para este caso, debe hacerse una mezcla 1:13, es preferible coger media palada de lodo por cada seis y media de tierra, más que una por cada trece. Cuando la proporción de mezcla es muy baja, es preferible realizar una mezcla inicial más concentrada y después acabar de añadir los volúmenes de tierra que quedan para llegar a la proporción de deseada. De esta forma, se conseguirá agilizar el proceso de mezcla y se obtendrá una mezcla más homogénea. Las paladas se verterán procurando estirar la descarga de forma que facilite la mezcla de los materiales. La mezcla se realizará volteando los materiales hasta conseguir una mezcla homogénea, y se puede apilar en un montón hasta el momento de su transporte al lugar definitivo.

Es conveniente dejar la mezcla unos días en reposo (de cinco a diez días), así la tierra absorbe el exceso de humedad de los lodos de forma que tiende a

equilibrarse la humedad de la mezcla. Esto facilita su manipulación posterior y contribuye a mejorar la homogeneidad de la mezcla.

Una variante de este procedimiento consiste en aprovechar un margen o talud para descargar alternativamente la tierra y los lodos. El talud debe tener buen acceso por la parte superior y por la base, con un desnivel mínimo de 5 m y una pendiente superior a los 30°. No deberían ocuparse más de 300 m<sup>2</sup> de talud en esta operación. Primero se descargarán un par de camiones de tierra por la parte alta del talud. A continuación, y siempre sobre tierra, un camión de lodos procurando mantener la proporción establecida de tierra y lodo. La tierra, en la descarga, debe quedar repartida en el talud. Los lodos tienden a resbalar por la pendiente, por lo que quedan esparcidos sobre la tierra. La pala excavadora se sitúa en la base del talud y va removiendo la tierra y los lodos que caen sobre ella. Una vez mezclados, la misma pala apila la mezcla. Este procedimiento necesita menos espacios que el descrito anteriormente y ahorra tiempo de pala. Es un método recomendable cuando la mezcla se realiza en el momento de recibir los lodos y cuando el suministro de los lodos tiene continuidad en un intervalo de tiempo corto (pocos días), de forma que no obligue a tener la pala mezcladora parada. Si el suministro de lodos es más lento, es preferible acopiarlos previamente para optimizar la utilización de la maquinaria.

En cualquier caso, los lodos no deben estar más de cinco días en los lotes sin ser mezclados con la tierra.

## **B. Mezcla en lecho de tierra**

Para las zonas planas - amplias y si ya se ha recogido toda la tierra necesaria para la restauración de una determinada superficie, una buena forma de recibir los lodos que facilita la mezcla es la preparación de un lecho de tierra.

Toda la tierra se deposita en una zona plana, procurando que los camiones estiren la descarga. Después, con una pala o una niveladora, se aplana la tierra de forma que quede una capa uniforme de unos 40 o 50 cm de grosor. Esta operación debe realizarse en tiempo seco para evitar la formación de lodo y una compactación excesiva. Sobre este lecho de tierra, descargarán los camiones de lodos de depuradora procurando que estos queden bien repartidos y evitando que se superpongan dos descargas. Se puede dejar pasar unos días (tres o cuatro) para que la tierra absorba el exceso de humedad de los lodos y facilite la operación posterior de mezcla. En caso de lluvia, la capa de tierra retendrá los lixiviados que se puedan producir.

A continuación, con una pala excavadora se mezclarán los lodos con la tierra recogiendo por la base del lecho y volteándola sobre los lodos. Se repetirá la operación un par de veces para obtener una buena mezcla que se apilará o se cargará en un camión para transportarla al lugar que deba restaurarse.

Este procedimiento ahorra tiempo de maquinaria, ya que la pala mezcladora no debe ir a buscar alternativamente la tierra y el lodo. Sin embargo, requiere una mayor superficie para preparar las mezclas y es más difícil de calcular correctamente la proporción de lodos y tierra. En este caso, es importante que el grosor del lecho de tierra sea conocido y uniforme, de forma que se sepa la cantidad total de tierra que mezclaremos con los lodos. Los lodos deben quedar bien distribuidos sobre el lecho de tierra y las cantidades aportadas no deben superar las previstas según las características del suelo.

### **C. Aplicación directa y mezcla sobre el terreno**

Este procedimiento se utiliza para los terrenos poco inclinados de la central Sicarare con suficiente grosor de tierra, poco pedregosos y accesibles a la maquinaria agrícola.

Los lodos se distribuyen con un remolque esparcidor de estiércol o maquinaria similar, de forma que queden bien repartidos sobre la superficie del terreno. Justo después de aplicar los lodos, debe labrarse el terreno para incorporarlos al suelo y así reducir los malos olores y las pérdidas de nutrientes. Es importante que queden bien integrados en el suelo, por lo que se recomienda llevar a cabo un par de aradas cruzadas o, si la pedregosidad del terreno lo permite, se puede pasar una fresadora por el mismo. Para este tipo de aplicación, el terreno no debe estar demasiado húmedo.

### **3.3.9. Experiencias Similares**

Para apoyar la viabilidad técnica de la aplicación de lodos en la recuperación de suelos salino-sódicos, se citan experiencias similares en Latinoamérica y con resultados favorables en el empleo de esta alternativa.

- **Evaluación de la recuperación de un suelos salino sódico después de la incorporación de biosólidos y de un tratamiento de hidrotécnico. México, 2002**

Se trabajó con la aplicación de diferentes tratamientos en suelos salino-sódicos, para evaluar su efecto sobre las características físicas y químicas del suelo. Los tratamientos se realizaron en columnas de lixiviación combinando la adición de biosólidos, estabilizados con hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), con la aplicación mensual durante 10 meses (marzo - diciembre) de láminas de lavado.

Con la adición de biosólidos estabilizados y de lodos no tratados, se observó en el suelo un incremento en el contenido de nitrógeno total (NT) y de carbono inorgánico. La capacidad de retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico y las concentraciones totales y disponibles de calcio,

magnesio, cadmio, plomo y cromo, también aumentaron. Con la aplicación mensual del tratamiento hidrotécnico se logró una disminución significativa en el valor de la Conductividad Eléctrica, el porcentaje de sodio intercambiable, la relación de adsorción de sodio y la densidad aparente. Las concentraciones totales y disponibles de boro, sodio y potasio también disminuyeron. Los contenidos de carbono orgánico y de arcilla fueron afectados por este tratamiento.

Con la combinación de ambos tratamientos se obtuvieron suelos no salinos, ligeramente salinos y no sódicos.

- **Valorización de lodos provenientes de tratamiento de aguas servidas como mejorador de suelos degradados. Chile, 2004.**

El Servicio Agrícola y Ganadero del Ministerio de Agricultura solicitó una opinión fundada sobre la perspectiva de uso en agricultura de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Para ello proporcionó documentación, informes e información analítica base de tres temporadas de ensayos realizados con lodos provenientes de las PTAS de Aguas Andinas. Los ensayos se realizaron en las temporadas 2001/2002, 2002/2003 y 2003/2004 en cultivos de maíz de grano, papa, trigo harinero de secano y palto. Estos consistieron en aplicaciones de lodos en dosis de 0, 30, 60 y 90 T / ha además de la fertilización química. Los ensayos se establecieron en campos de agricultores con un diseño experimental totalmente al azar y tres repeticiones. El objetivo de los ensayos fue ver si los lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas mejoraban las propiedades físicas y químicas de los suelos y si esto se expresaba en el rendimiento de los cultivos de trigo, maíz y papa.

Influencia de la aplicación de lodos en la salinidad y sodicidad.

La salinidad aumenta por sobre los valores críticos con la dosis de lodo en relación al tratamiento sin aplicación de lodo. Los análisis de sodio muestran que los lodos, aún en las dosis más altas no generaron problemas de sodicidad en el suelo.

Influencia de la aplicación de lodos en los macronutrientes

**Nitrato:** Hay una clara tendencia al aumento de nitratos con la dosis de lodo en los suelos. Los lodos tienen una relación Carbono-Nitrógeno (C/N) baja y muy similar a aquella existente en la Materia Orgánica del suelo, por ello su aplicación no tiene un costo asociado en nitratos, elemento esencial en la nutrición de las plantas y estrechamente asociado al rendimiento.

**Fósforo:** El contenido de fósforo del suelo aumentó notablemente con las aplicaciones de lodo, al punto que podría representar un ahorro substancial en la fertilización con este nutriente. La rápida descomposición de la Materia Orgánica de los lodos, por su baja relación Carbono-Nitrógeno, hace que los elementos Nitrógeno, Fósforo y Azufre se hagan rápidamente disponibles a las plantas.

### 3.4.RESULTADOS ESPERADOS

Con los tratamientos propuestos se espera disminuir las concentraciones de sales solubles y de sodio intercambiables hasta niveles no perjudiciales para una posterior implementación del cultivo de palma en esos terrenos.

Con el lavado de los suelos se proyecta la eliminación de iones tóxicos para el cultivo de palma, como el sodio. Aunque este proceso podría originar pérdidas de algunos componentes de importancia como el nitrógeno y el fósforo, estas pérdidas podrían solventarse con la aplicación de los lodos orgánicos, que a su

vez mejoran la estructura del suelo protegiéndolo contra la erosión y aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Además se espera que en los suelos se aumente la capacidad de retención de agua, útil en estas zonas caracterizadas por un clima de baja precipitación y alta temperatura, facilitando así el crecimiento de los cultivos.

La aplicación de este tipo de enmiendas orgánicas y debido a su aporte de nutrientes y el bajo costo de implementación podría suponer un ahorro en la compra de abonos orgánicos y fertilizantes para el desarrollo y producción de palma de aceite en la Central Sicarare S.A.

### **3.5.RECOMENDACIONES**

#### **3.5.1. Buenas prácticas agrícolas**

En la mayoría de las regiones agrícolas, ganaderas y forestales de Colombia son comunes las prácticas agrícolas poco sostenibles ambientalmente, lo cual conlleva a la deforestación, degradación de suelos, pérdida y contaminación de las fuentes de agua. Agravado además por la presencia de comunidades con poco conocimiento sobre la conservación y protección del ambiente.

En general la reglamentación colombiana sobre protección y conservación de los recursos naturales, el ordenamiento territorial y producción más limpia, ha sido olvidada por falta de divulgación y la implementación de programas que la hagan viable.

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son un conjunto de recomendaciones técnicas dirigidas a la producción agrícola, encaminadas a asegurar la protección de la higiene, la salud humana y el medio ambiente, mediante la utilización de

métodos ambientales sostenibles e higiénicamente aceptables. Consiste en la *aplicación del conocimiento disponible a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios inocuos y saludables, a la vez que se procuran la viabilidad económica y la estabilidad social*<sup>10</sup>.

Las principales Buenas Prácticas Agrícolas deben estar relacionadas con las distintas etapas y actividades del proceso de producción de la palma de aceite: preparación del terreno, manejo de suelos, cosecha y post-cosecha.

Otra actividad fundamental en la producción agrícola de la palma de aceite es el manejo de plagas y enfermedades, sin embargo para efectos de estas buenas prácticas agrícolas no se profundizarán, ya que la Central Sicarare S.A. cuenta con un programa completo para el manejo de plagas y enfermedades, ejecutado por su departamento de Sanidad.

A continuación se describen las principales BPA que se deben tener en cuenta en el cultivo de la palma de aceite:

- Preparación del terreno

Una vez terminada la adecuación de los lotes, el material vegetal sobrante recolectado no debe ser quemado, ya que esta práctica aumenta los niveles de fragilidad de estos suelos, afecta la biota del mismo y contribuye a los problemas de contaminación del aire. Por el contrario este material se debe disponer sobre los suelos, para que inicie su proceso de descomposición y en forma gradual se vaya incorporando la materia orgánica y los minerales al suelo. También puede servir como materia prima para la producción de abonos orgánicos.

---

<sup>10</sup> FAO 2007

Las prácticas encaminadas a la prevención de procesos de degradación de suelos (erosión, compactación, salinización) deben ser llevadas a cabo por medio de siembras a favor de la pendiente, por medio de cobertura de maleza (utilizando el material sobrante después de la adecuación del terreno), el uso de maquinaria liviana, mínimo de movilidad por los lotes y evitar el manejo del agua de riego con excesiva carga de sales.

Se recomienda realizar además la siembra de pastos tolerantes, adaptados a las condiciones climáticas de la zona, las cuales permitan mejorar las capacidades de infiltración del agua, aumentan la porosidad del suelo y favorecen la fertilidad del suelo.

- Manejo de suelo

El suelo generalmente es considerado como el lugar donde se desarrolla el cultivo, como el medio para el crecimiento y nutrición de las plantas. Sin embargo el suelo es más que eso: como componente de la base productiva, brinda a la actividad económica bienes de consumo y recreativos, como soporte físico de la producción, sirve de receptor de los desechos de las actividades productivas y de consumo, y en términos biológicos, es el sustento de la vida. Las buenas prácticas referidas al manejo de suelo deberán estar encaminadas a mantener, conservar y mejorar estos servicios ambientales que prestan los suelos.

*Estas prácticas incluyen aquellas empleadas para la preparación del suelo, el manejo del agua, y la fertilización, las cuales son determinantes para minimizar el impacto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, la erosión hídrica, la compactación del terreno, el comportamiento inadecuado del agua en cuanto a infiltración y retención de humedad, la disponibilidad de*

*nutrientes y la acumulación de carbono, así como sobre el hábitat favorable a la biota benéfica del suelo*<sup>11</sup>.

La fertilización en el cultivo de palma debe ser tanto orgánica como inorgánica, debe realizarse teniendo en cuenta la disponibilidad de nutrientes del suelo, una vez que estos se encuentran aptos para ser cultivables y además conocer las necesidades del cultivo.

Es así como la utilización de compost es recomendable ya que contribuye a la nutrición de los suelos. La reutilización del material vegetal del cultivo en la elaboración de los abonos es importante para el mantenimiento y mejoramiento de la materia orgánica y los procesos bioquímicos en el suelo.

Para la protección contra la erosión, compactación y sellamiento superficial de los suelos, es conveniente el uso permanente de coberturas vegetales que puedan convivir con los cultivos, como la maleza, ya que estas contribuyen al desarrollo de la fauna benéfica, factor fundamental para incrementar el control biológico de plagas, que permite mejorar la sanidad del cultivo.

### **3.5.2. Buenas prácticas ambientales**

A continuación se presentan algunas buenas prácticas ambientales para el manejo adecuado del suelo:

- Establecimiento de sistemas agroforestales.

Los sistemas de producción agroforestal combinan árboles con cultivos y/o animales para optimizar los recursos y hacer sostenible la producción.

Ventajas y Razones:

---

<sup>11</sup> ICA 2005.

- o Mejora la fertilidad de los suelos.
- o Regula el microclima.
- o Protege los cultivos.
- o Genera biomasa.
- o Regula los recursos hídricos.
- o Protege la fauna.

- Preparación manual del suelo.

Se debe usar herramientas manuales para la preparación de los suelos que eviten una remoción profunda.

Ventajas y Razones:

- o Evita el empleo de maquinaria agrícola para preparar los suelos, lo cual cambia su estructura y produce erosión al dejarlos descubiertos.
- o Permite dejar residuos vegetales sobre el suelo al realizar las limpiezas. Éstos sirven para disminuir la erosión, regular la humedad, devolver nutrientes, mejorar la materia orgánica y aumentar los microorganismos.

- Recolección y manejo de los residuos orgánicos.

Los residuos inorgánicos que se generen como papel, plásticos, metales y vidrios deben almacenarse separadamente en contenedores para su posterior reciclaje o adecuada disposición.

Ventajas y Razones:

- o Evita la contaminación de los suelos y las fuentes de agua con residuos que no se degradan fácilmente.
- o Se evita la quema de residuos, la cual deteriora la calidad de los suelos y del aire.
- o Se promueve el reciclaje.

- Recolección y manejo de residuos peligrosos.

Los residuos peligrosos que se generen como restos de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas y/o envases que hayan contenido los mismos, deben ser almacenados en zonas dispuestas para este fin, los cuales deben estar debidamente señalizados. De igual forma se debe asegurar que estos residuos no entren en contacto con el suelo y las fuentes de agua durante su almacenamiento.

Para el tratamiento y disposición final de estos residuos debe contratarse un gestor externo autorizado para dicha actividad.

Ventajas y Razones:

- o Se previene la contaminación de los suelos y las fuentes de agua con residuos peligrosos, los cuales generan efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana.

- Establecimiento de coberturas nobles asociadas a los cultivos.

Las coberturas nobles están compuestas por plantas herbáceas leguminosas, gramíneas y compuestas.

Ventajas y Razones:

- o Protege el suelo de la erosión hídrica y eólica.
- o Conserva la humedad al evitar que los rayos solares deshidraten la capa vegetal.
- o Mejora la estructura del suelo porque las raíces crecen a diferentes profundidades agregando los sólidos y permitiendo la aireación.
- o Favorece la actividad biológica dentro del suelo.
- o En el caso de las leguminosas, ayuda a la incorporación de nitrógeno por la fijación simbiótica.

- Erradicación

Cuando un cultivo ha cumplido su ciclo productivo y se debe erradicar ya sea para su renovación o finalización del proceso, se deben hacer la consideraciones previas de qué hacer con el material vegetal sobrante. Salvo en casos especiales como presencia de material que haya sido infestado por plagas y/o enfermedades de amplia distribución, se procederá a la disposición de forma subterránea, con aplicación controlada de desinfectantes, y como último recurso en algunos casos se procederá a la erradicación de las partes infestadas por medio de quema controlada. En el resto de los casos se debe evitar la quema del material vegetal. Debido al volumen de la biomasa, se podría contemplar su uso como materia prima para otros procesos, como carbón vegetal, artesanías, material para compostaje, entre otros.

#### **4. CONCLUSIONES**

Se espera que el desarrollo de esta propuesta técnica sirva como un punto de partida para la solución de los problemas de salinidad y demás contaminantes que presenten los suelos en la Central Sicarare S.A., logrando su proyección a los problemas de suelos en la región que se han visto afectados de forma similar a los terrenos analizados en este proyecto.

Este proyecto se convierte en una alternativa viable desde el punto de vista técnico-ambiental para aprovechar los lodos generados en la DPA Nestlé Colombia Ltda., que actualmente se disponen como residuos y pasarían a ser la materia prima de un nuevo proceso productivo, respetando el medio ambiente.

El desarrollo de este proyecto promueve la integración de dos grandes empresas de la zona, creando lazos, aprovechando recursos e información, que permitan la aplicación de técnicas en pro del desarrollo comercial y productivo en la región.

Desde el punto de vista económico, esta propuesta se convierte en la alternativa más rentable para las partes involucradas. Por un lado la DPA Nestlé Colombia Ltda., reducirá sus gastos operacionales en la gestión de los lodos, ya que no se pagará su disposición a vertedero. Por otro lado la Central Sicarare S.A., adquiere una alternativa de muy bajo costo para recuperar sus suelos no cultivados, ya que la implementación de esta propuesta permitirá incrementar su producción agrícola, y cuenta con toda la infraestructura y el personal capacitado para la implementación de la misma.

La aplicación de las buenas prácticas agrícolas y ambientales recomendadas favorecerá un mejor manejo de los cultivos actuales y futuros, garantizando la preservación del suelo y el desarrollo sostenible de la producción.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Acevedo, 2004. Valorización de lodos provenientes de tratamiento de aguas hervidas como mejorador de suelos degradados. U. de Chile - SAG. 33 pág.

Carlos Dorronsoro Fernández. Descontaminación de suelos. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

Decreto 4741 de 2005. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

La palma de aceite. [www.fedepalma.org/palma.html](http://www.fedepalma.org/palma.html). 8 de febrero de 2012. 16 horas.

Manual de aplicación en actividades extractivas y terrenos marginales. Universidad de Barcelona. 116 pág.

María del Carmen Sabroso González, Ana Pastor Eixarch, 2004. Guía sobre suelos contaminados. Gobierno de Aragón. 109 pág.

Plan de desarrollo territorial de Municipio de Agustín Codazzi.

Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Valledupar.

Plan de manejo ambiental de la fábrica DPA Nestlé Colombia Ltda.

Plan de manejo ambiental de la Central Sicarare S.A.

Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la Utilización de los Lodos de Depuración en el Sector Agrario.

Ricardo Vera Rodríguez, 2009. Contaminación de Suelos y Aguas Subterráneas. EUDE Escuela Europea de Dirección y Empresa.

Rosa Icela Beltrán, 2002. Evaluación de la recuperación de un suelo salino-sódico después de la incorporación de biosólidos y de un tratamiento hidrotécnico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 7 pág.

Ruperto Raigada Zambrano, 2005. Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera. DEVIDA, PRODATU. 104 pág.

Salinidad en cultivos agrícolas. [www.gatfertilizantes.com](http://www.gatfertilizantes.com). 10 marzo de 2012. 21 horas. (Departamento agronómico).

2007. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). 109 pág.

2011. Evaluación del potencial del agua subterránea para riego de los sistemas acuíferos cono aluvial y llanura aluvial de Valledupar, departamento del Cesar. Corpocesar.

## ANEXOS

### Anexo A: Concepto Especialista

*Fernando Munévar M.*

*Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph. D.*

*Consultor en manejo de suelos y nutrición de la palma de aceite*

#### INTERPRETACION DE LOS SUELOS NO CULTIVADOS DE LA CENTRAL SICARARE S.A

##### Resumen de datos seleccionados (\*).

En cada muestra se consignan solamente los datos que se interpretan como limitantes.

| Lote o muestra No                                                                                                             | Textura                | pH   | C.E. | Na   | Sat Na | Presencia de CaCO <sub>3</sub> | S    | Sat K |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------|------|------|--------|--------------------------------|------|-------|
| <b><i>Suelos no aptos para cultivo de palma de aceite por ser salino-sódicos<br/>Someter a recuperación, lotes Tamacá</i></b> |                        |      |      |      |        |                                |      |       |
| 13                                                                                                                            | Arcillo limosa         | 8.0  | 7.6  | 15.2 | 46.3   | +                              | 812  | 0.6   |
| 15                                                                                                                            | Arcillosa              | 8.0  | 10.7 | 18.6 | 47.1   | +                              | 1533 | 1.4   |
| 17                                                                                                                            | Arcillosa              | 8.0  | 10.1 | 19.6 | 47.9   | +                              | 1101 | 1.2   |
| <b><i>Suelos con tendencia a sodificarse lotes Tamacá</i></b>                                                                 |                        |      |      |      |        |                                |      |       |
| 9                                                                                                                             |                        |      |      | 0.58 | 8.6    |                                |      |       |
| 11                                                                                                                            | Franco Arcillo Arenosa |      |      | 0.43 | 5.5    |                                |      |       |
| 16                                                                                                                            | Arcillosa              |      |      | 0.70 | 6.4    |                                |      |       |
| MA                                                                                                                            |                        |      |      | 0.52 | 6.3    |                                |      |       |
| MB                                                                                                                            | Franco Arcillo Limosa  | 0.68 |      | 0.68 | 5.6    |                                |      |       |
| 1,3,5                                                                                                                         |                        |      |      | 0.56 | 8.2    |                                |      |       |

\*Todos los datos expresados en las unidades utilizadas convencionalmente.

##### Interpretación

Se estudiaron los resultados de análisis de 12 muestras de suelos recibidos de Central Sicarare, entre las cuales se identifican tres suelos (lotes 13, 15 y 17) altamente salino-sódicos (primera parte de la tabla) y seis (segunda parte de la tabla) en los cuales hay tenores de saturación de sodio que permiten identificar un riesgo de sodificación.

En el caso de los suelos de los lotes 13, 15 y 17, los parámetros que permiten clasificarlos como *salino sódicos* superan ampliamente los niveles cuantitativos que convencionalmente se utilizan para identificar dichas características. Generalmente se acepta que cuando la conductividad eléctrica (CE) supera el valor de  $2.0 \text{ dSm}^{-1}$ , el suelo es suficientemente salino para limitar el crecimiento y producción de plantas cultivadas, exceptuando aquellas tolerantes a la salinidad. Convencionalmente se considera que un suelo es sódico cuando el nivel de saturación de sodio es igual o superior a 15%. Por otra parte, se cuenta con suficiente experiencia para afirmar que la palma de aceite es una especie susceptible tanto a la salinidad como a la sodicidad (se conocen casos similares al presente en los departamentos de Magdalena y Cesar).

La recuperación de suelos salinos (que no sean simultáneamente sódicos) puede lograrse lavado las sales con agua de buena calidad (sin sales), para lo cual, además de disponer de agua, se requiere de muy buen drenaje interno para la remover de sales. La cantidad de agua para lavar y el tiempo requerido son proporcionales al exceso de sales.

En los suelos sódicos la recuperación implica el desplazamiento del sodio intercambiable del complejo de cambio mediante una enmienda química y su posterior lavado con agua de buena calidad, como en el caso de los suelos salinos. Para que las enmiendas sean efectivas, deben incorporarse al suelo, a la profundidad requerida, mediante labranza. Los altos niveles de sodio en los suelos generan no solamente limitaciones químicas sino que también conllevan un problema físico que a su vez dificulta la recuperación. Dado que el sodio dispersa los coloides del suelo, dicho fenómeno limita severamente la porosidad del suelo y el movimiento vertical del agua, por lo cual el lavado es muy difícil. En el caso de los suelos de los lotes 13, 15 y 17 a las limitaciones anteriores se agrega su condición arcillosa que dificulta la labranza para la incorporación de enmiendas y el drenaje por la baja meso y macroporosidad asociadas a las texturas finas. En los suelos bajo consideración se presenta otra condición limitante para su recuperación como es su alto nivel de azufre disponible (sulfatos), ya que todas las enmiendas conocidas como efectivas para la recuperación de suelos sódicos (yeso, flor de azufre y ácido sulfúrico) portan azufre (las enmiendas citadas actúan desplazando el sodio, no en función del azufre que contienen, sino por su capacidad de liberar los cationes  $\text{Ca}^{++}$  o  $\text{H}^+$ ).

En suma, la alta dificultad técnica y los altos costos que tendría intentar la recuperación los suelos en mención (con el riesgo de no ser efectivos en la recuperación), dan base para sugerir que dichas áreas se consideren no aptas para el cultivo de palma de aceite y se tomen decisiones consecuentes con dicha calificación.

En cuanto a los suelos representados por las muestras 9, 11, 16, MA, MB y 1-3-5, si bien su condición actual no muestra problemas de sales ni sodio, se identifica un riesgo de sodificación, por lo cual se recomienda que de ser cultivados con palma de aceite, se mantengan en muy buena condición de drenaje y se rieguen con agua de muy buena calidad. Por los demás lotes La esperanza y Pororó están aptos para ser cultivados siempre y cuando se realice un abonado previo o fertilización (se recomienda no utilizar fertilizantes de origen químicos).



*Elaborado por Fernando Munévar M.  
Bogotá, 14 de junio de 2009.*

## Anexo B: Análisis de Laboratorio lodos DPA Nestlé



PROAMBIENTE S.A.S. NIT: 902.000.576-1  
CONSULTORÍAS, ASESORÍAS E INTERVENTORÍAS AMBIENTALES  
ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E HIDROBIOLÓGICOS  
TRABAJAMOS EN LAS MATRICES DE AGUA, SUELO, AIRE Y ALIMENTOS



Barranquilla, 2011-11-04

ODS-607

Señores:  
**DPA MANUFACTURING COLOMBIA LTDA.**  
Att: **Sra. Madeline Garcés**  
Carrera 9 N° 6C - 01  
Cesar - Valledupar

**Ref. Resultados de análisis Físicoquímicos a una muestras de lodo de la centrifuga y una muestra de lodo de los lechos de secado.**

Respetada señora,

Enviamos el resultado del análisis de la referencia, practicado a una muestras de lodo de la centrifuga y una muestra de lodo de los lechos de secado, enviadas por ustedes el día 21 de Septiembre del año en curso, las muestras fueron codificadas 1109-607-5 al 1109-607-6.

Cualquier información adicional que se requiera, con gusto la suministraremos.

Anexo: Informe de Cretib y Once

Atentamente,

  
*Lucretia Santander B.*  
**LUCELLY SANTANDER B.**  
Gerente

Carrera 60 No. 70 - 31 Tel.: 3600434 • 3686796 Celular: 3164625083  
e-mail: proambienteltda@hotmail.com  
Barranquilla - Colombia

[www.proambienteltda.com](http://www.proambienteltda.com)



PROAMBIENTE S.A.S. NIT. 802.000.576-1  
CONSULTORÍAS, ASESORÍAS E INTERVENTORÍAS AMBIENTALES  
ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E HIPOBIOLOGICOS  
TRABAJAMOS EN LAS MATRICES DE AGUA, SUELO, AIRE Y ALIMENTOS

**REPORTE DE ENSAYO**  
N° 1109-607-5

**I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE**

|         |            |
|---------|------------|
| ODS No. | 607        |
| Código: | 1109-607-5 |

|                 |                                    |                   |                   |           |                         |
|-----------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------------|
| CLIENTE:        | D.P.A Manufacturing Colombia Ltda. | PLAN DE MUESTREO: | PM-607-431        | NIT/ C.C. | 830,138,568-6           |
| CONTACTO/CARGO: | Ing. Madeleine Garcés              | DIRECCIÓN         | Cra 9 No. 6C - 01 |           |                         |
| DEPARTAMENTO:   | Cesar                              | MUNICIPIO:        | Valledupar        | TELÉFONO: | 5736313 Cel. 3187625202 |

**II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

| CÓDIGO     | NATURALEZA DE LA MUESTRA | IDENTIFICACIÓN        | LUGAR DE MUESTREO                                        | MUESTRA TOMADA POR        | Javith Allen Torres |       |       |
|------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|-------|-------|
| 1109-607-5 | Lodo                     | Lodo de la centrifuga | Lodo de la centrifuga<br>Directo del Tubo de<br>Descarga | FECHA DE MUESTREO         | 2011-09-20          | HORA: | 15:30 |
|            |                          |                       |                                                          | FECHA DE INGRESO MUESTRA  | 2011-09-21          | HORA  | 15:56 |
|            |                          |                       |                                                          | FECHA INICIO DE ENSAYOS   | 2011-09-21          |       |       |
|            |                          |                       |                                                          | FECHA FINALIZ. DE ENSAYOS | 2011-11-04          |       |       |
|            |                          |                       |                                                          | FECHA DE REPORTE          | 2011-11-04          |       |       |

N.A. No aplica

N.I. Información no suministrada

**III. RESULTADOS:**

FÍSICO-QUÍMICOS



MICROBIOLÓGICOS



| ENSAYOS          | UNIDADES | CÓDIGO DE LA MUESTRA | VALORES DE REFERENCIA <sup>1</sup> | TÉCNICA           | MÉTODO    |
|------------------|----------|----------------------|------------------------------------|-------------------|-----------|
|                  |          | 1109-607-5           |                                    |                   |           |
| Grasas y Aceites | %        | 0,38                 | —                                  | Gravimétrico      | SM 5520 D |
| Arsénico         | mg/Kg    | < 0,0005             | 5,0                                | Absorción Atómica | SM 3114 C |
| Bario            | mg/Kg    | < 0,2                | 100                                | Absorción Atómica | SM 3111 B |
| Cadmio           | mg/Kg    | < 0,016              | 1,0                                | Absorción Atómica | SM 3111 B |
| Cromo            | mg/Kg    | 1,86                 | 5,0                                | Absorción Atómica | SM 3111 B |
| Piomo            | mg/Kg    | < 0,10               | 5,0                                | Absorción Atómica | SM 3111 B |
| Mercurio         | mg/Kg    | < 0,0003             | 0,2                                | Absorción Atómica | SM 3114 C |
| Selenio          | mg/Kg    | < 0,0010             | 1,0                                | Absorción Atómica | SM 3114 C |
| Plata            | mg/Kg    | < 0,08               | 5,0                                | Absorción Atómica | SM 3111 B |

<sup>1</sup> Decreto 4741 tabla 3 concentraciones máximas de contaminantes para la prueba del TCLP.

OBSERVACIONES: La muestra analizada presentó resultados dentro de los valores máximos aceptables establecidos en el Decreto de referencia.



CAMPO ELIAS CASELLES  
Jefe Lab. Físicoquímico

Fin del Informe

Informe válido solo para la(s) muestra(s) analizada(s). La reproducción total o parcial de este informe debe hacerse con autorización de Proambiente S.A.S.

Pág 1 de 1

Carrera 60 No. 70 - 31 Tel.: 3600434 • 3686796 Celular: 3164625083  
e-mail: proambienteltida@hotmail.com  
Barranquilla - Colombia

www.proambienteltida.com



PROAMBIENTE S.A.S. NIT. 902.200.576-1  
CONSULTORÍAS, ASESORÍAS E INTERVENTORÍAS AMBIENTALES  
ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E HIDROBIOLÓGICOS  
TRABAJAMOS EN LAS MATRICES DE AGUA, SUELO, AIRE Y ALIMENTOS

## REPORTE DE ENSAYO

ODS-607

|                         |                                          |                                       |                        |
|-------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| EMPRESA:                | DPA COLOMBIA LTDA                        | PROCEDIMIENTO DE MUESTREO             | Cuartero               |
| SOLICITANTE             | Ing. MADELEINE GARCES                    | FECHA DE MUESTREO:                    | 2011-09-20             |
| NIT/C.C.                | 830138568-6                              | RECEPCIÓN MUESTRA:                    | 2011-09-21             |
| DIRECCION:              | Cra. 9 # 6C - 01                         | FECHA DE INICIO DE ENSAYO             | 2011-09-21             |
| MUNICIPIO, DEPARTAMENTO | Valledupar Cesar                         | FECHA DE INFORME:                     | 2011-11-04             |
| TELEFONO:               | 5736313                                  | O.D.T.:                               |                        |
| TIPO DE MUESTRA:        | Lodo                                     | FECHA DE FABRICACION                  | N.A.                   |
| CARACTERISTICAS;        | Sólido de color marón con textura limosa | REFERENCIA, IDENTIFICACIÓN O REGISTRO | LODO DE LA CENTRIFUGA. |
| NUMERO DE MUESTRAS:     | Una (1)                                  | EMISIÓN INFORME                       | LUCELLY SANTANDER B.   |

NA: No Aplica

### RESULTADOS:

| PARÁMETROS               | CÓDIGO<br>1109-607-5                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| pH (solución 1:1 P/V)    | 7,61                                                                                                                                                                                                                       |
| Humedad (%)              | 85,2                                                                                                                                                                                                                       |
| Grasa (%) en base seca   | 0,38                                                                                                                                                                                                                       |
| Arsénico (mg/kg)         | < 0,0005                                                                                                                                                                                                                   |
| Bario (mg/kg)            | < 0,2                                                                                                                                                                                                                      |
| Cadmio (mg/kg)           | < 0,016                                                                                                                                                                                                                    |
| Cromo (mg/kg)            | 1,86                                                                                                                                                                                                                       |
| Plomo (mg/kg)            | < 0,10                                                                                                                                                                                                                     |
| Mercurio (mg/kg)         | < 0,0003                                                                                                                                                                                                                   |
| Selenio (mg/kg)          | < 0,0010                                                                                                                                                                                                                   |
| Plata (mg/kg)            | < 0,08                                                                                                                                                                                                                     |
| Prueba de inflamabilidad | Se expuso una cantidad de muestra seca en el soporte (longitud de 25 cm, ancho 2 cm, profundidad 1 cm), se sometió a fuego directo (1000°C) y no presentó llama dentro de lo estipulado para considerarlo como inflamable. |

N.D.: No Detectable

Aprobó

  
LUCELLY SANTANDER B.  
Gerente.

-----Fin del reporte -----

Informe válido solo para la muestra analizada. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe; la reproducción total de este informe debe hacerse con autorización por escrito de Proambiente Limitada. Las técnicas empleadas son las del STM, debido a su alto grado de confiabilidad.

Pág 1 de 5

Carrera 60 No. 70 - 31 Tel.: 3600434 • 3686796 Celular: 3164625083  
e-mail: proambienteltda@hotmail.com  
Barranquilla - Colombia

www.proambienteltda.com

# Anexo C: Análisis de Laboratorio suelos de la central Sicarare.



SUPALMA LTDA.

DIAGNOSTICO DE NUTRICION - ANALISIS DE SUELOS - 2009

Finca: SICARARE

HERRAMIENTA: Análisis

2009 (Laboratorio IGAC)

de Suelos - FEBRERO del

| FINCA  | LOTE              | PRO<br>F | Textur<br>a | Aren<br>a | Lim<br>o | Arcill<br>a | Ph           | C.<br>Orgáni | M.<br>Orgáni | Potasio      | Calcio       | Magnesi<br>o | Sodio        | Fósfor<br>o | Azufr<br>e | Bor<br>o | Hierr<br>o | Cobr<br>e | Mn    | Zin<br>c |
|--------|-------------------|----------|-------------|-----------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|----------|------------|-----------|-------|----------|
|        |                   | CM       |             | %         | %        | %           | unidade<br>s | %            | %            | meq/100<br>g | meq/100<br>g | meq/100<br>g | meq/100<br>g | ppm         | ppm        | ppm      | ppm        | ppm       | ppm   | ppm      |
| Tamacá | Tamacá 07         | 0-30     | F-An        | 65%       | 12%      | 22%         | 6,08         | 0,68%        | 1,17%        | 0,12         | 4,85         | 0,64         | 0,05         | 30,21       | 4,93       | 0,53     | 27,01      | 0,78      | 24,72 | Rep      |
| Tamacá | Descanso 04       | 0-30     | F           | 49%       | 16%      | 35%         | 6,22         | 0,90%        | 0,62%        | 0,17         | 7,32         | 1,19         | 0,08         | 7,85        | 8,07       | 0,81     | 11,35      | 0,86      | 19,44 | 1,16     |
| Tamacá | Palmares 1-3      | 0-30     | F           | 46%       | 15%      | 38%         | 7,70         | 0,81%        | 1,40%        | 0,16         | 16,62        | 0,91         | 0,27         | 54,71       | 15,72      | 0,75     | 8,48       | 0,56      | 35,05 | 1,98     |
| Tamacá | Palmares 5        | 0-30     | F           | 50%       | 11%      | 39%         | 6,49         | 0,63%        | 1,09%        | 0,09         | 4,41         | 0,68         | 0,19         | 47,78       | 9,40       | 0,61     | 45,80      | 1,28      | 24,49 | 1,21     |
| Tamacá | Campogrande 1-3   | 0-30     | F           | 43%       | 16%      | 40%         | 6,54         | 0,98%        | 1,69%        | 0,18         | 8,81         | 1,34         | 0,08         | 26,51       | 6,31       | 0,82     | 18,22      | 1,55      | 34,69 | 3,25     |
| Tamacá | Campogrande 5-7   | 0-30     | Rep         |           |          |             | 6,68         | 0,70%        | 1,16%        | 0,13         | 8,68         | 1,03         | 0,08         | 8,03        | 8,31       | 0,70     | 12,68      | 1,51      | 24,98 | 1,35     |
| Tamacá | Campogrande 9-11  | 0-30     | F-An        | 64%       | 19%      | 17%         | 6,83         | 1,00%        | 1,72%        | 0,17         | 10,57        | 1,43         | 0,11         | 15,90       | 8,51       | 0,70     | 14,09      | 1,64      | 39,12 | 1,81     |
| Tamacá | Campogrande 10-11 | 0-30     | F           | 36%       | 21%      | 43%         | 6,89         | 0,93%        | 1,60%        | 0,18         | 11,29        | 1,65         | 0,07         | 42,84       | 7,55       | 0,87     | 21,78      | 1,97      | 49,76 | 1,92     |
| Tamacá | Descanso 3        | 0-31     | F           | 46%       | 38%      | 16%         | 6,30         |              | 1,26%        | 0,14         | 6,40         | 1,00         | 0,04         | 7,90        | 1,80       | 0,21     | 52,00      | 1,90      | 97,70 | 0,66     |
| Tamacá | La Fe No.1        | 0-32     | F           | 27%       | 47%      | 26%         | 7,40         |              | 1,12%        | 0,24         | 12,70        | 2,80         | 0,41         | 43,80       | 17,80      | 0,23     | 31,40      | 3,70      | 22,40 | 1,10     |
| Tamacá | Palmares 10       | 0-33     | FL          | 27%       | 50%      | 22%         | 6,60         |              | 1,52%        | 0,14         | 7,90         | 1,40         | 0,25         | 34,70       | 10,60      | 0,17     | 39,30      | 1,60      | 19,00 | 1,70     |
| Tamacá | Palmares 6        | 0-34     | FL          | 23%       | 55%      | 22%         | 6,30         |              | 1,57%        | 0,12         | 6,80         | 1,30         | 0,14         | 6,40        | 3,70       | 0,30     | 41,20      | 1,60      | 17,50 | 1,20     |
| Tamacá | Tamacá 10 y 11    | 0-35     | F           | 31%       | 48%      | 20%         | 6,80         |              | 1,29%        | 0,18         | 6,60         | 1,30         | 0,12         | 32,70       | 5,70       | 0,36     | 27,50      | 3,20      | 20,60 | 0,62     |
| Tamacá | Tamacá 12         | 0-36     | FL          | 31%       | 52%      | 16%         | 6,80         |              | 1,12%        | 0,11         | 6,40         | 1,00         | 0,20         | 9,90        | 7,50       | 0,13     | 33,10      | 1,80      | 15,60 | 0,48     |
| Tamacá | Tamacá 13         | 0-37     | FL          | 23%       | 55%      | 22%         | 6,70         |              | 1,05%        | 0,13         | 8,00         | 1,40         | 0,29         | 14,00       | 13,90      | 0,21     | 40,90      | 2,80      | 29,00 | 0,88     |
| Tamacá | Tamacá 14 y 15    | 0-38     | FL          | 29%       | 51%      | 20%         | 7,10         |              | 1,03%        | 0,13         | 6,40         | 1,60         | 0,37         | 8,90        | 18,20      | 0,23     | 33,60      | 2,40      | 20,60 | 0,92     |
| Tamacá | Tamacá 9          | 0-39     | F           | 34%       | 48%      | 18%         | 7,10         |              | 0,98%        | 0,09         | 6,30         | 1,00         | 0,14         | 39,50       | 6,00       | 0,12     | 40,20      | 2,10      | 19,60 | 0,50     |
| Prom   |                   |          |             | 30%       | 49%      | 20%         | 6,79         | #DIV/0!      | 1,22%        | 0,14         | 7,50         | 1,42         | 0,22         | 21,98       | 9,47       | 0,22     | 37,69      | 2,34      | 29,11 | 0,90     |

Fuente: Supalma

|         |                             |
|---------|-----------------------------|
| Escala: | Valores Altos o en Exceso   |
|         | Valores Medios u Óptimos    |
|         | Valores Bajos o Deficientes |

