

**DIAGNÓSTICO DE ESTRATEGIAS DE BIORECUPERACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS CON PESTICIDAS ORGANOCORADOS PARA SU
REINCORPORACIÓN AL CICLO PRODUCTIVO AGRÍCOLA EN EL
MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR, EN EL MARCO DE LA GESTIÓN
AMBIENTAL PÚBLICA.**

MARTHA JHOANA ESTÉVEZ GÓMEZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DEL AMBIENTE
BUCARAMANGA
JULIO DE 2015**

**DIAGNÓSTICO DE ESTRATEGIAS DE BIORECUPERACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS CON PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS PARA SU
REINCORPORACIÓN AL CICLO PRODUCTIVO AGRÍCOLA EN EL
MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR, EN EL MARCO DE LA GESTIÓN
AMBIENTAL PÚBLICA.**

MARTHA JHOANA ESTÉVEZ GÓMEZ

**Proyecto de grado como requisito para optar al título de Especialista en
Gerencia del Ambiente**

**Directora:
PhD. MARIA KOPYTKO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DEL AMBIENTE
BUCARAMANGA
JULIO DE 2015**

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Julio de 2015

Dedicado a Dios y a mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, quien me dio la oportunidad de poder formarme como profesional en Ingeniera Ambiental y ahora como Especialista, quien me llenó de sabiduría para cumplir otra meta más y me bendijo en cada paso que di en esta gran experiencia.

Gracias a Él, por darme unos padres ejemplares que me formaron en valores y han sido mí modelo a seguir, quienes siempre han puesto su confianza en mí y me han apoyado incondicionalmente. Ellos son el motor de mi vida, la razón de seguirlos llenando de alegría y orgullo.

A mi hermana, quien siempre ha sido mi compañía en los buenos y malos momentos, quien me comprende y me aconseja, con quien he crecido como persona y quien me llena de orgullo.

A Joseph Cubides, la persona con quien compartí grandes experiencias, quien fue mi compañía, y me brindó su apoyo.

A la PhD. María Kopytko, quien ha sido mi guía en este proceso, gracias por sus enseñanzas, conocimientos, su apoyo incondicional, su disponibilidad en todo momento, y por la confianza que siempre depositó en mí.

A la Universidad Pontificia Bolivariana y todo su cuerpo de docentes, quienes contribuyeron en mi formación profesional y personal, gracias a sus conocimientos y experiencias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. MARCO LEGAL.....	17
5. ANTECEDENTES	19
5.1 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR PESTICIDAS ORGANOCORADOS EN EL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR.....	19
5.2 ANTECEDENTES DE LA DINÁMICA DEL SECTOR AGRÍCOLA EN EL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR.	26
6. ESTADO DEL ARTE DE ESTRATEGIAS PARA LA BIORECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PESTICIDAS ORGANOCORADOS.....	28
7. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS MÁS IDÓNEAS PARA LA BIORECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS Y SU REINCORPORACIÓN AL CICLO PRODUCTIVO AGRÍCOLA EN EL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR, EN COHERENCIA CON LO ESTABLECIDO EN EL PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2012-2015, PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y EL PLAN DE ACCIÓN CORPOCESAR 2012 – 2015.	35
8. CONCLUSIONES.....	46
9. BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normativa ambiental sobre pesticidas en Colombia.....	17
Tabla 2. Situación ambiental de la zona contaminada por pesticidas.....	22
Tabla 3. Área de influencia directa por los pesticidas enterrados en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar.....	25
Tabla 4. Cultivos permanentes y transitorios, Agustín Codazzi 2010.	27
Tabla 5. Resumen de antecedentes de biodegradación de pesticidas organoclorados....	33
Tabla 6. Costos de tratamientos para remediación de suelos	38
Tabla 7. Programas y proyectos de interés, Plan de Acción 2012 - 2015.....	40
Tabla 8. Programas, objetivos y estrategias de interés, Plan de Desarrollo Municipal Agustín Codazzi 2012 – 2015.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización municipio de Agustín Codazzi, Cesar.	19
Figura 2. Localización de los apiques, estudio CORPOCESAR	21
Figura 3. Localización de enterramientos de agroquímicos.....	25
Figura 4. Mapa usos del Suelo Agustín Codazzi, Cesar.	43
Figura 5. Mapa usos del Suelo Agustín Codazzi, Cesar.	43

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DIAGNÓSTICO DE ESTRATEGIAS DE BIORECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PESTICIDAS ORGANOCORADOS PARA SU REINCORPORACIÓN AL CICLO PRODUCTIVO AGRÍCOLA EN EL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR, EN EL MARCO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL PÚBLICA

AUTOR(ES): Martha Jhoana Estévez Gómez

FACULTAD: Esp. en Gerencia del Ambiente

DIRECTOR(A): Maria Kopytko

RESUMEN

Este estudio evaluó el diagnóstico de las estrategias de biorecuperación de suelos contaminados con pesticidas organoclorados para su reincorporación al ciclo productivo agrícola en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, en el marco de la gestión ambiental pública. Se estableció una metodología en donde se examinaron los antecedentes de la problemática de contaminación de suelos por pesticidas organoclorados y la dinámica del sector agrícola en el municipio. Posteriormente se revisó el estado del arte de las estrategias para la biorecuperación de suelos contaminados por pesticidas organoclorados, con el fin de analizar y evaluar sus eficiencias.

Finalmente y debido al gran interés que presenta el municipio por fortalecer el sector agrícola, ampliar la capacidad productiva e impulsar su economía, descrito en los diferentes planes de gestión, se propone la biorecuperación de los terrenos contaminados, producto de los entierros de agroquímicos en la época de la bonanza y que se encuentran en abandono, como una estrategia más idónea para satisfacer los requerimientos de áreas para cultivo y corregir el impacto ambiental ocasionado.

PALABRAS

CLAVES:

Gestión ambiental, biorremediación, suelos contaminados, impacto ambiental, productividad

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DIAGNOSIS OF STRATEGIES BIOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH ORGANOCHLORINE PESTICIDES FOR THEIR REINCORPORATION TO AGRICULTURAL PRODUCTIVE CYCLE IN THE MUNICIPALITY OF AGUSTÍN CODAZZI CESAR, IN THE CONTEXT OF PUBLIC ENVIRONMENTAL MANAGEMENT.

AUTHOR(S): Martha Jhoana Estévez Gómez

FACULTY: Esp. en Gerencia del Ambiente

DIRECTOR: Maria Kopytko

ABSTRACT

This study evaluated the diagnosis of strategies bioremediation of soils contaminated with organochlorine pesticides for their reincorporation to agricultural productive cycle in the municipality of Agustín Codazzi Cesar, in the framework of public environmental management. Established a methodology in which the background to the problem of soil contamination by organochlorine pesticides and the dynamics of the agricultural sector in the municipality were examined. Subsequently, the state of the art strategies for bioremediation of soils contaminated by organochlorine pesticides, in order to analyze and evaluate their efficiency was reviewed.

Finally, due to the great attractiveness of the municipality to strengthen the agricultural sector, expand production capacity and boost its economy, described in various management plans, it propose the bioremediation of contaminated sites, as a more suitable strategy to meet areas for cultivation requirements and correct the environmental impact caused.

KEYWORDS:

Environmental management, bioremediation, contaminated soils, environmental impact, productivity

INTRODUCCIÓN

Los Pesticidas Organoclorados forman parte de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP's) debido a su estabilidad, lenta biodegradación y bioacumulación en los tejidos grasos. La introducción de compuestos agroquímicos para la eliminación de plagas de cultivos en las últimas décadas, ha generado un grupo de contaminantes tendientes a persistir en el ambiente. Los pesticidas organoclorados como el DDT, Toxafeno, Aldrín, Endrín, entre otros, han causado revuelo mundial desde que se tuvo conocimiento de sus efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente; tanto así que en 1997 el Concejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) inició negociaciones con el Foro Intergubernamental de Seguridad Química (FISQ) con el fin de reducir los riesgos que generaban estos compuestos, mediante el establecimiento de la primera lista de los doce Contaminantes Orgánicos Persistentes.

En Colombia aún quedan secuelas del uso inadecuado de los pesticidas durante las décadas de 1960 a 1980, cuando el municipio de Agustín Codazzi fue catalogado como el principal productor y exportador de algodón del país (Barrios, 2013). Luego de la decadencia de la bonanza algodonera, se generó la contaminación de la zona con los restos de pesticidas y demás agroquímicos sobrantes, lo cual desató un incremento en los casos de cáncer, enfermedades congénitas y mortalidad debido a la inadecuada disposición de los mismos. Sin embargo, no se ha efectuado ninguna alternativa de solución para remediar el impacto causado por este evento.

Dadas las consecuencias en el medio ambiente y en la salud humana que ha traído consigo la contaminación de terrenos a gran escala, como efecto directo del desarrollo de nuestra sociedad; surge la necesidad de evaluar y proponer métodos de biorremediación de suelos para su restauración, los cuales suponen un tratamiento económico y eficiente, desde el punto de vista ambiental.

Por esta razón, en el presente estudio se revisó el estado del arte de los tratamientos biológicos para la remediación de suelos contaminados con pesticidas organoclorados, y se determinaron las mejores alternativas de recuperación para los suelos contaminados del municipio de Agustín Codazzi para reincorporarlos al ciclo productivo agrícola, teniendo en cuenta las prioridades para la región y lo establecido en los planes departamentales y municipales.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el diagnóstico de las estrategias de biorecuperación de suelos contaminados con pesticidas organoclorados para su reincorporación al ciclo productivo agrícola en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, en el marco de la gestión ambiental pública.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Examinar los antecedentes de la problemática de contaminación de suelos por pesticidas organoclorados, y la dinámica del sector agrícola en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar.
- Establecer el estado del arte de las estrategias para la biorecuperación de los suelos contaminados con pesticidas organoclorados.
- Determinar las estrategias más idóneas para la biorecuperación de los suelos contaminados y su reincorporación al ciclo productivo agrícola en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, en coherencia con lo establecido en el Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015, Plan Básico de Ordenamiento Territorial y el Plan de Acción Corpocesar 2012 – 2015.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia ha vivido un proceso acelerado de transformación de sus hábitats y ecosistemas naturales, principalmente durante el siglo XX, a causa de factores relacionados con su búsqueda del progreso y el desarrollo.

En el departamento del Cesar, como en el resto del país, ha primado durante muchas décadas la ejecución de políticas inapropiadas de ocupación y utilización del territorio, que agudizaron problemas de colonización y ampliación de la frontera agrícola, y que en la mayoría de los casos ha conducido a generar procesos productivos poco sostenibles debido al deterioro, fraccionamiento y pérdida de los ecosistemas naturales.

A mediados de los años 70 y con 60.000 hectáreas de campo forradas de blanco, el Municipio de Agustín Codazzi se convirtió en el principal productor de algodón del país. Pero llegó la crisis y todo el dinamismo económico se vino a pique, debido principalmente a problemáticas relacionadas con el fenómeno de El Niño, la apertura de la economía, el recrudecimiento de la violencia y la aparición de cultivos ilegales a pocos kilómetros de allí.

El proceso empleado hasta los años 90, correspondía a una agricultura extensiva, determinada por la utilización indiscriminada de insumos químicos para el desarrollo de los monocultivos. Todo esto produjo pérdidas económicas y en especie, también generó la contaminación de la zona y la afectación a la salud pública del municipio, con el incremento de casos de cáncer, enfermedades congénitas y alzas en los índices de morbilidad y mortalidad, debido a la inadecuada disposición de los pesticidas y demás agroquímicos sobrantes.

Los estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Cesar revelan que durante la crisis algodonera, muchos de los pesticidas organoclorados fueron enterrados en gran parte del terreno adyacente a las zonas de cultivo (CORPOCESAR, 1997). Actualmente, gran parte del territorio en cuestión, se encuentra en abandono y olvido por parte del municipio. Además, a lo largo de los años, nuevas generaciones se han asentado en sitios aledaños de los que aún no se conoce el grado de afectación que pudieron o pueden estar presentando, como consecuencia de este acontecimiento.

A pesar de esto, el municipio de Agustín Codazzi se ha consolidado en el departamento del Cesar, como un centro productivo por excelencia. La capacidad productiva del suelo del municipio es la razón fundamental para que dentro de este territorio, converjan los subsectores agrícolas de Palma Africana, Algodón, Cacao, Café, Caña de Azúcar, entre otros; además de proyectarse como la capital agroenergética de Colombia, debido a que en el municipio está ubicada la primera planta de biodiesel de Colombia. No obstante, se genera una demanda de territorio a ser destinado a estas actividades productivas, por lo que la descontaminación de los suelos representa una gran oportunidad para satisfacer esta necesidad.

3. JUSTIFICACIÓN

La Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) en su Plan de Gestión Ambiental Regional señala gran impacto ambiental en los suelos, generado por la inadecuada disposición de residuos sólidos tóxicos, como son los pesticidas organoclorados. Estos impactos se ratifican en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Agustín Codazzi, punteando a la necesidad de mitigar los riesgos asociados al entierro de agroquímicos en el sur de la cabecera municipal.

En el Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 “*Codazzi es Diferente*”, se manifiesta la visión de convertir el Municipio de Agustín Codazzi en un gran Centro Agroindustrial, con un enfoque de reactivación de campo, brindando la oportunidad de poner en marcha un modelo integral de desarrollo sostenible. Además de convertir a Codazzi en un municipio productivo y competitivo, a través de estrategias de desarrollo económico que propendan por el aprovechamiento de los recursos humanos, físicos, tecnológicos y financieros.

Por lo tanto, para hacer realidad esta visión sin poner en riesgo la seguridad alimentaria de la región, es necesario realizar la descontaminación y recuperación de los suelos degradados por pesticidas organoclorados en el municipio, para su aprovechamiento y reincorporación en las cadenas productivas de la zona.

Diversas investigaciones destacan la gran persistencia de los pesticidas organoclorados en el suelo, debido a su estabilidad estructural, lenta degradación y bioacumulación en los tejidos grasos. Lo anterior genera una necesidad de buscar alternativas de bajo costo y eficientes, para minimizar las concentraciones residuales de estos compuestos en el suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta importante profundizar los conocimientos en las técnicas de biorremediación idóneas para recuperar suelos contaminados con pesticidas organoclorados, para poder tomar decisiones acertadas en la determinación de las estrategias más convenientes y adecuadas para descontaminar los suelos del municipio de Agustín Codazzi, a fin de reincorporarlos en las cadenas productivas de la región y corregir el impacto negativo causado al ambiente, en el marco de la gestión ambiental pública. De esta forma resultará posible dinamizar la economía y garantizar el uso del suelo descontaminado, el cual será cultivado por familias campesinas, generando empleos directos e indirectos.

Por otro lado, la descontaminación de los suelos permitirá dar solución a una problemática de la región, que ha traído consigo afectaciones en la salud de sus habitantes, mejorando la calidad de vida y bienestar.

4. MARCO LEGAL

El Gobierno de Colombia ha establecido una serie de normas en lo que refiere a la prevención y control de la contaminación ambiental debido a la manipulación de plaguicidas, y establece regulaciones para su adecuado manejo en el marco de la gestión integral. Por lo tanto se reconoce su toxicidad y la persistencia en el ambiente. Este marco legal se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Normativa ambiental sobre pesticidas en Colombia

NORMA	OBJETO
Constitución política de Colombia 1991	<i>Artículo 79. “Toda persona tiene derecho a un ambiente sano”.</i>
Ley 23 de 1973	<i>“Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones”.</i>
Decreto Ley 2811 de 1974	<i>“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.</i>
Ley 9 de 1979	<i>“Por la cual se dictan Medidas Sanitarias”.</i> <i>Plaguicidas: Artículos 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144.</i>
Decreto 1843 de 1991	<i>“Por el cual se reglamentan parcialmente los títulos III, V, VI, VII y XI de la ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas.”</i>
Resolución 3079 de 1995	<i>“Por la cual se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, de abonos o fertilizantes, acondicionadores de suelo y plaguicidas.”</i>
Ley 99 de 1993	<i>“Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se reformó el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los</i>

NORMA	OBJETO
	recursos naturales renovables, se organizó el Sistema Nacional Ambiental y se dictaron otras disposiciones”. Artículo 31 (numeral 17) <i>asigna las funciones a las Corporaciones Autónomas Regionales, CAR, con respecto a la evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, aire, suelo y demás recursos naturales.</i>
Decreto 1298 de 1994	“ <i>Por el cual se expide el Estatuto Orgánico del Sistema General de Seguridad Social en Salud.</i> <i>Capitulo II. Sustancias potencialmente tóxicas. Plaguicidas: Artículos 458, 462, 464, 465, 466.</i> ”
Ley 388 de 1997	“ <i>Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones.</i> Sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y ordenamiento territorial. En uno de sus objetivos plantea <i>promover el ordenamiento territorial, el uso equitativo y racional del suelo y la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural, localizado en un determinado ámbito territorial</i>
Decreto 1443 de 2004	“ <i>Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos, y se toman otras determinaciones.</i> ”
Decreto 4741 de 2005	“ <i>Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.</i> ”
Decreto 4368 de 2006	“ <i>Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto No. 1843 de 1991, sobre aplicación aérea de plaguicidas.</i> ”

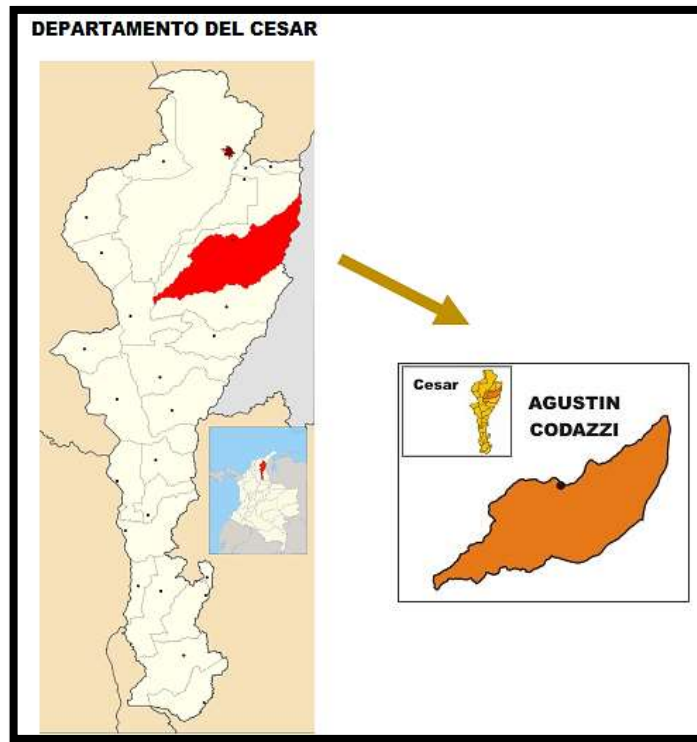
Fuente: minambiente.gov.co; alcaldiabogota.gov.co; ica.gov.co

5. ANTECEDENTES

5.1 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA DE CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR PESTICIDAS ORGANOCORADOS EN EL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR.

El municipio de Agustín Codazzi se encuentra ubicado al norte del departamento del Cesar a 45 minutos de la capital del departamento, Valledupar, a una distancia de 60 Km (Figura 1). Tiene una extensión total de 1739 Km², de los cuales corresponden al área urbana 5.49 Km² y al área rural 1733.51 Km², con una altitud de la cabecera municipal de 131 m.s.n.m. y una temperatura media de 28°C. El municipio posee diversidad de climas debido a que parte de su territorio la conforma la serranía del Perijá. Limita por el norte con el municipio de La Paz y San Diego, por el sur con el municipio de Becerril, por el occidente con el municipio de El Paso y por el oriente con la serranía del Perijá, que sirve de límite natural entre Colombia y Venezuela.

Figura 1. Localización municipio de Agustín Codazzi, Cesar.



Fuente: <https://www.agustincodazzi-cesar.gov.co>

El municipio de Agustín Codazzi se ha consolidado en el departamento del Cesar, como un centro productivo por excelencia, dada la fertilidad de sus suelos.

En los años 50 se crearon las condiciones para la producción algodonera en el municipio. A partir de 1953 llegaron los primeros tractores; se canalizaron los recursos a través de la Caja Agraria y el Banco Comercial Antioqueño; se iniciaron las primeras empresas de fumigación aérea, y se instaló el comité de la Federación Nacional de Algodoneros para el desmote de la fibra (Will et al, 1996).

Instalada la infraestructura requerida, se expande el cultivo en tierras vírgenes de gran fertilidad, que en algunas ocasiones llegaron a producir hasta tres toneladas métricas por hectárea (Corpocesar, 1997).

Así pues, en 1960 el municipio de Agustín Codazzi se convirtió en el primer productor nacional de algodón, al cultivar 20.980 hectáreas (Soler y Prieto, 1982), llegando a 60.000 hectáreas en 1975.

Sin embargo, durante la bonanza algodonera, los beneficios económicos quedaron de manos de unos cuantos y las grandes inversiones se hicieron en otros centros urbanos, tales como Valledupar, Barranquilla, Bucaramanga, entre otros; por lo que Codazzi no tuvo el desarrollo social esperado, a pesar que durante este periodo se hicieron obras importantes como la construcción del hospital, el primer colegio oficial, el Palacio Municipal y centros de recreación. Además, no hubo un desarrollo agroindustrial ni modernización de la explotación agrícola en el municipio.

La crisis algodonera se inició como consecuencia de la crisis del petróleo en 1973, que trajo como consecuencia directa el aumento de los precios de los agroquímicos derivados del petróleo. La crisis profundizó debido a las problemáticas relacionadas con el fenómeno de El Niño, la apertura de la economía, el recrudecimiento de la violencia, el conflicto interno del país, y la aparición de cultivos ilegales.

En Agustín Codazzi la incidencia de este deterioro por el precio de los agroquímicos y el exceso de fumigaciones, que pasaron de 4.36 galones/hectárea en 1976 a 13.7 galones/hectárea en 1977, llevó a muchos agricultores a utilizar métodos desesperados como fue el empleo de fumigación con detergentes domésticos (por ser fabricados con fosfatos). Lo anterior condujo a bajar las siembras a su nivel mínimo de los últimos 25 años (Corpocesar et al, 1997).

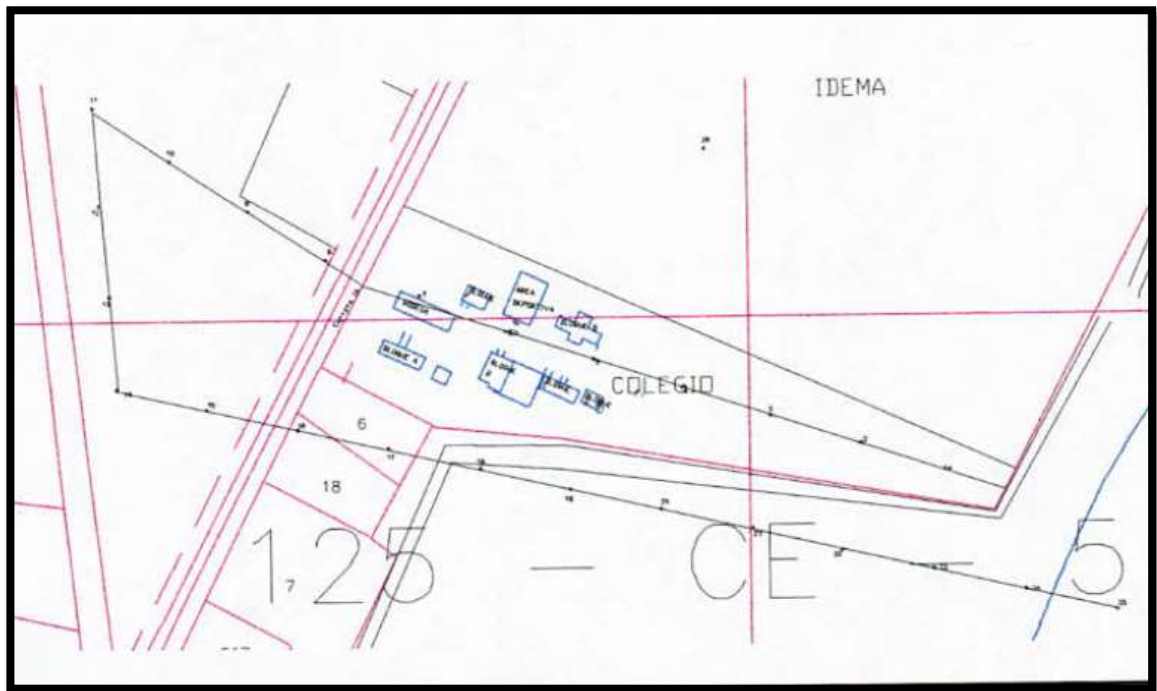
La extensión de los cultivos de algodón desde 1950 hasta la crisis, hizo que se destruyeran grandes extensiones de la capa vegetal, y la aplicación indiscriminada de millones de litros de agroquímicos causó la desaparición de valiosas especies de flora y fauna.

La forma de deshacerse de la gran cantidad de residuos de agroquímicos usados en todas las épocas de cosecha, y los remanentes una vez terminada la época de recolección, fue a través de enterramientos en zonas aledañas, debido a la prohibición de su aprovechamiento en otras labores o por el vencimiento de sus características como plaguicidas.

La Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar), Geosísmica y Ambiente, y la Secretaría de Agricultura del Cesar en el período de 1990 a 1994, realizaron estudios donde revelaron que muchos de los agroquímicos (principalmente pesticidas organoclorados) fueron enterrados en gran parte del terreno aledaño a las zonas de cultivo (Corpocesar, 1997).

En el estudio desarrollado por Corpocesar (1997) se realizaron 29 apiques para la toma de muestras de suelo y su respectivo análisis, teniendo en cuenta los datos obtenidos en los sondeos geoelectrónicos que se realizaron previamente en el área de interés suministrada por CORPOCESAR (Figura 2). Se realizó el muestreo en el área que corresponde al antiguo colegio agropecuario de Codazzi con 34.071 m² y CORAL (Corporación Regional de Algodoneros) con 80.800 m², para un total de 114.871 m².

Figura 2. Localización de los apiques, estudio CORPOCESAR



Fuente: CORPOCESAR *et al*, 1997

La situación ambiental de la zona que presentó índices de contaminación por pesticidas se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Situación ambiental de la zona contaminada por pesticidas

Componente del ecosistema	Parámetro	Descripción del estado actual	Causa
BIOTICO	Bosque	Escasa vegetación protectora en quebradas y caños. Presencia de especies secundarias de poco valor comercial. Uso de leña proveniente de los rastrojos y bosques secundarios.	Actividades agropecuarias intensivas. Tala selectiva de especies de alto valor sin reposición de las mismas. Maquinización intensiva y procesos erosivos resultado de prácticas culturales como la tala y la quema.
	Pastizales	Sabanas naturales constituidas por herbáceas y arbustivas con escasos nutrientes.	Debido al uso actual para ganadería y prácticas agrícolas tradicionales.
	Fauna	Población disminuida, migración hacia zonas menos intervenidas.	Alto grado de intervención antrópica.
ABIOTICO	Suelos	Suelos limo-arenosos de origen aluvial, destinados a la ganadería extensiva, pequeños cultivos. Localmente contaminados con agroquímicos en los sectores del enterramiento.	Baja cantidad y calidad de los nutrientes, poca tecnificación de cultivos, deforestación. Disposición indebida de agroquímicos.
	Erosión	Erosión pluvial por arrastre de material en suelos desprotegidos.	Lluvias intensas, deforestación, sobrepastoreo.
	Estabilidad	Inestabilidad a los largo de los cauces por desbordamientos en invierno, riesgo de deslizamientos.	Inundaciones periódicas, baja consolidación en materiales aluviales. Avenidas de los ríos.

Componente del ecosistema	Parámetro	Descripción del estado actual	Causa
	Clima	Temperaturas superiores a 27°C y precipitaciones alrededor de 1.400 mm anuales.	Debido a la localización geográfica, baja retención e infiltración alta por escasa cobertura vegetal.
	Hidrología	Caudales permanentes en los cauces principales con inundación en las partes bajas, pequeños caños de invierno. Calidad de las aguas aceptable aunque con presencia de agroquímicos en un sector del Arroyo el Pozón y el acuífero superficial.	Actividades ganaderas, tala de vegetación protectora, falta de acueductos veredales. Disposición indebida de agroquímicos.
SOCIAL	Educación	Satisface en gran medida la demanda que existe en primaria y secundaria, especialmente en las cabeceras municipales, pero hay escasos de personal docente. Hay una alta tasa de deserción escolar.	Deficiente aplicación del programa Escuela Nueva, de capacitación docente y material didáctico. En los niveles inferiores la deserción se debe a las enfermedades en infantes, empleo de los menores en las labores agrícolas y falta de vías veredales.
	Salud	Hospital regional Agustín Codazzi, centros de salud; altas tasas de mortalidad y morbilidad.	Altas tasas de morbilidad por deficiencias sanitarias, falta de agua potable, alcantarillado, contaminación ambiental, ausencia de capacitación y prevención a nivel comunitario, poca cobertura del servicio médico.
	Servicios	Ausencia de acueductos veredales, alcantarillado, electrificación rural,	Deficiente gestión interinstitucional, carencia de partidas

Componente del ecosistema	Parámetro	Descripción del estado actual	Causa
		servicio de aseo, vías de acceso, viviendas de interés social.	presupuestales suficientes, problemas de orden público.
	Empleo	No hay pequeños cultivadores por falta de créditos; en la zona urbana, cargos públicos, comercio informal y transporte público.	Pocas fuentes de trabajo y remuneración aceptable en el campo, hacinamiento en las cabeceras.
	Productividad	Bajos niveles de producción agrícola, desaparición de los cultivos de algodón comercialización ineficaz de los productos y cultivos de subsistencia, sobrepastoreo, pesca artesanal, comercialización limitada de tipo detallista.	La apertura económica desestimuló la agricultura del algodón, sometimiento de los pobladores a los precios de los intermediarios y falta de organización comercial, carencia de centros de acopio, incipiente manejo de suelos y pastos, falta de mantenimiento de las vías.

Fuente: CORPOCESAR *et al*, 1997

Finalmente, el estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar), Geosísmica y Ambiente, y la Secretaría de Agricultura del Cesar en el período de 1990 a 1994, concluye que la contaminación se encuentra repartida en toda el área de estudio y los niveles máximos se encuentran localizados en la antigua estación de servicio (donde se encontró un entierro o botadero de material en la época de la bonanza), y en la zona correspondiente al apique No.2 la cual está cerca de un entierro secundario. Además, se detectaron tres (3) sitios dentro del antiguo colegio en los cuales hay evidencia de enterramiento, y otro en la casa al lado de la Corporación Regional de Algodoneros CORAL (Figura 3). La contaminación encontrada está dada principalmente por pesticidas organoclorados y corresponde a los compuestos DDT y sus metabolitos, Endosulfan α y β , Hexaclorobenceno, Toxafeno, entre otros.

Figura 3. Localización de enterramientos de agroquímicos.



Fuente: CORPOCESAR *et al*, 1997

El área de influencia directa por los pesticidas enterrados que fue evaluada en el estudio realizado por CORPOCESAR, y que corresponde a los sitios en donde se encontraron enterramientos se describen en la tabla 3 y se ilustran en el Anexo I.

Tabla 3. Área de influencia directa por los pesticidas enterrados en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar

COORDENADA	DESCRIPCIÓN
1.599.889 m N 1.092145 m E	Parte final del antiguo colegio "Enterramiento primario"
1.599.938 m N 1.091.789 m E	Parte delantera del antiguo colegio
1.599.900 m N 1.092.075 m E	Parte intermedia del antiguo colegio
1.600.459 m N 1.091.905 m E	Instalaciones de la casa contigua a la Corporación Regional de Algodoneros - CORAL
1.599.097 m N 1.092.769 m E	Antigua estación de servicio para vehículos

Fuente: CORPOCESAR *et al*, 1997

5.2 ANTECEDENTES DE LA DINÁMICA DEL SECTOR AGRÍCOLA EN EL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR.

La agricultura representa una de las actividades económicas más importantes del departamento del Cesar, su aporte al PIB departamental en el año 2011 (Planeación Departamental – Sistemas de Información, 2011) es de 14.7% y al PIB Nacional es de 0.24% (Plan de Acción CORPOCESAR 2012-2015).

Agustín Codazzi ha sido recordado por las grandes extensiones de tierra cultivadas de algodón, llegando a ser reconocida a nivel nacional como la Capital Blanca de Colombia, debido a su gran producción de fibra de algodón, aportando interesantes divisas al Producto Interno Bruto departamental y nacional. Hoy ha cambiado el panorama, se pasó de sembrar 60.000 hectáreas en 1975, a sembrar sólo 1.400 hectáreas en 2011.

Sin embargo, Agustín Codazzi tiene una visión de convertirse en un Gran Centro Agroindustrial, proyectándose como la Capital Agro-Energética de Colombia, debido a que en su jurisdicción se encuentra ubicada la primera Planta de Biodiesel de Colombia y una de las primeras de Latinoamérica, con una capacidad de producción de 50.000 litros/día, la cual se alimenta de la producción de 20.000 hectáreas de Palma de Aceite, cultivándose en Codazzi unas 6.327 hectáreas. Así mismo, dentro de la vocación agrícola es el primer municipio en siembra de Café en la Costa Atlántica, con más de 5.543 hectáreas cultivadas, las cuales produjeron en el año 2010, 2.641 toneladas del grano. También se cultivan importantes áreas de Cacao, Maíz y Arroz. Por otra parte, se destaca el potencial horti-frutícola y cultivos de pancoger existente en la Serranía del Perijá, donde se tiene productos como La Mora, Lulo, Tomate de Árbol, Aguacate, Frijol, Malanga, Yuca, Plátano, entre otros (Plan de Desarrollo Municipal, 2012 – 2015).

A pesar de las fortalezas que presentan los suelos del municipio para desarrollar la agricultura, se está lejos de ser competitivo, debido a la poca tecnificación de los cultivos, especialmente en el acceso a la infraestructura y el recurso hídrico, ya que indiferentemente que existan unos instrumentos financieros, para los pequeños y medianos productores resulta una ilusión alcanzarlos. La crisis del sector aumenta, debido a la falta de programas de capacitación, asesoría y acompañamiento al productor en la formulación de proyectos, acceso a créditos y diversificación de cultivos para poner en marcha un modelo integral de desarrollo sostenible, trayendo como consecuencia el desplazamiento de los campesinos a los centros urbanos, dejando espacios en las áreas rurales, para que actúen y traten de reagruparse los grupos al margen de la ley (Plan de Desarrollo Municipal, 2012 – 2015).

La tabla 4 muestra la información de los principales cultivos permanentes y transitorios que se desarrollan en el territorio.

Tabla 4. Cultivos permanentes y transitorios, Agustín Codazzi 2010.

CULTIVOS PERMANENTES						
CULTIVOS	AREA SEMBRADA (ha)	TOTAL DPTO	AREA COSECHADA (ha)	TOTAL DPTO	PRODUCCIÓN (t) 2010	TOTAL DPTO
Aguacate	40	2.065	40	1.657	320	11.478
Cacao	701	7.362	701	6.291	491	3.741
Café	5.543	23.283	5.282	22.490	2.641	13.276
Lulo	30	99	30	99	240	703
Mango	40	595	40	595	400	5.720
Mora	73	122	70	207	700	1.510
Palma de Aceite	6.327	49.498	2.992	35.623	11.669	130.800
Plátano	70	3.574	70	2.985	560	16.842
Tomate de Árbol	60	264	60	264	540	1.865
Total cultivos Permanentes	12.884		9.285		17.561	
CULTIVOS TRANSITORIOS – SEMESTRE A DE 2010						
Arroz de Riego	120	10.846	80	9.522	400	50.648
Frijol	160		60		36	
Maíz Tradicional	1,5	18.306	1.200	11.801	1.200	21.486
Total cultivos Transitorios	281,5	29.152	1.340	21.323	1.636	72.134
CULTIVOS TRANSITORIOS – SEMESTRE B DE 2010						
Algodón	874	3.932	874	3.931	2.185	8.964
Maíz Tradicional	280	20.681	280	16.463	560	22.926
Total cultivos Transitorios	1.154		1.154		2.745	
CULTIVOS ANUALES						
Yuca	100	6.278	50	4.941	600	46.045
Malanga	8	946	8	936	80	7.845
Total cultivos Anuales	108	7.224	58	5.866	680	53.890

Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Empresarial – Evaluaciones agropecuarias

6. ESTADO DEL ARTE DE ESTRATEGIAS PARA LA BIORECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS.

La transformación biológica de contaminantes, o biorecuperación, permite eliminar compuestos inorgánicos y orgánicos mediante la acción de los microorganismos. El tiempo requerido para la degradación es función de las características del suelo, la temperatura y la presencia de los nutrientes necesarios para el crecimiento microbiano. La mayoría de los microorganismos utiliza el oxígeno para oxidar y biodegradar la materia orgánica (biodegradación aerobia); otros emplean nitratos, sulfatos, metano u otros aceptadores de electrones (biodegradación anaerobia) (Eweis *et al.*, 1999).

Algunos de los contaminantes como los pesticidas organoclorados inhiben el crecimiento de los microorganismos, por lo cual hacen difícil su biodegradación. Sin embargo durante largo tiempo de permanencia de estos componentes en el suelo se desarrolla la adaptación de los microorganismos a este tipo de sustancia y la posibilidad de su uso como la fuente de carbono primario. Esto conlleva a un crecimiento microbiano y el proceso de biodegradación consecuente. (Timmis and Pieper, 1999)

Los compuestos halogenados son contaminantes comunes del suelo, aguas subterráneas y sitios de eliminación de residuos peligrosos. Estos compuestos son generalmente más resistentes al ataque microbiano y tienden a permanecer en el ambiente. Los átomos halogenados de la molécula, incrementan los estados de oxidación del carbono y los procesos aerobios son energéticamente menos favorables para compuestos altamente halogenados. Por lo tanto, la degradación anaerobia resulta más conveniente, ya que cuantos más halógenos tenga sustituido la molécula más fácil se produce una deshalogenación reductiva en ambientes reductores (Eweis *et al.*, 1999).

Rittmann y McCarty (2001) afirman que los productos aromáticos muy clorados, pueden deshalogenarse por reducción a productos menos halogenados. Mientras que los productos aromáticos ligeramente halogenados pueden ser biodegradados de forma aerobia por medio de reacciones de oxigenación. Por lo tanto, se puede lograr una degradación completa de los compuestos organoclorados a través de condiciones anaeróbicas y aeróbicas secuenciales.

Lacayo M (2005), desarrolló una tecnología de bajo costo para la degradación del Toxafeno utilizando microorganismos. Para lograr la degradación utilizó dos enfoques: dechloración anaeróbica y el uso de dos oxidantes fuertes a partir de hongos (peroxidasa / lacasa). El proceso de degradación del Toxafeno se realizó mediante un reactor anaerobio – aerobio secuencial, y tuvo una duración de 357 días. La concentración total del Toxafeno luego de 269 días se redujo en un 98%, obteniéndose la mayor remoción desde el reactor anaerobio. Sin embargo, desde el día 42 del tratamiento se encontró reducción del 87% del Toxafeno, y una remoción más lenta hasta el final del mismo. Se identificó la bacteria *Enterobacter sp.*, especie anaerobia facultativa (Gram negativa) capaz de degradar el Toxafeno.

Briceño A, y Buenahora M (2006) desarrollaron una metodología que involucra el estudio microbiológico inicial del suelo; aislamiento e identificación de los microorganismos autóctonos. En este estudio se involucraron suelos utilizados para cultivos de cebolla en Berlín, contaminados con plaguicidas como el Manzate y el Elosal. Luego de la identificación de los microorganismos resistentes a estos contaminantes, hicieron pruebas de compatibilidad para establecer los consorcios a estudiar, se realizó la bioaumentación de cada uno y se realizaron tres inoculaciones cada 8 días a las biopilas: biopila 1(control), biopila 2 (consorcio 1) y biopila 3 (consorcio 2). Se encontraron cuatro cepas bacterianas de tipo Gram negativas, no fermentadoras, implicadas en procesos de biodegradación según bibliografía reportada.

Betancur (2013), evaluó la biorremediación de un suelo con amplio historial de contaminación con DDT mediante estrategias de bioestimulación y adición de surfactante. Monitoreó la concentración de DDT y sus metabolitos de dechloración reductiva, DDD y DDE por cromatografía de gases durante el proceso de remediación. La concentración de DDT se redujo en 79% con respecto a la concentración inicial mediante el tratamiento de adición de surfactante luego de 8 semanas de tratamiento, con el tratamiento por bioestimulación la concentración de DDT se redujo en 94.3%, siendo más efectivo. De igual manera las concentraciones de los metabolitos DDE y DDD fueron reducidas en 97.59% y 99.65% respectivamente. En cuanto al aislamiento de bacterias se identificaron cepas de *Bacillus thuringiensis*, *Flavobacterium sp.*, *Cupriavidus*, *Variovorax soli*, *Phenylobacterium sp.*, *Lysobacter sp.*, entre otras. Algunas de estas cepas como *Cupriavidus sp.* y *Phenylobacterium sp.*, han sido identificadas en previas investigaciones como degradadoras de pesticidas y compuestos organoclorados.

Baczynski., *et al.* (2009) analizaron la biodegradación anaeróbica de plaguicidas organoclorados en suelos contaminados, y la importancia de la temperatura. Se realizaron pruebas a 12, 22 y 30° C en condiciones anaerobias. Los contaminantes organoclorados se eliminaron con bastante eficacia a todas las temperaturas, sin embargo, su tasa de eliminación aumentó a mayor temperatura. Se reportaron las mayores remociones al inicio de la biodegradación, y se mantuvieron casi constantes hasta el final del experimento.

Madigan y McCarty, (2009) indicaron que las *Pseudomonas* son organismos ecológicamente importantes tanto en el agua como en el suelo y son probablemente responsables de la degradación de numerosos compuestos solubles derivados del material vegetal y animal en ambientes aerobios. Así mismo, son microorganismos capaces de degradar numerosos compuestos xenobióticos (de origen sintético) como pesticidas y otros productos químicos tóxicos, por lo cual se les considera importantes agentes medioambientales de biorremediación.

Atlas y Bartha, (2001) reportaron a través de trabajo de Kellog *et al.*, 1981, la capacidad de la *Pseudomona Burkholderia cepacia*, para alimentarse del herbicida 2,4,5-T, a partir de un estudio que revela la desaparición de este compuesto y el crecimiento simultáneo de la *Burkholderia* en el suelo.

Lacayo., *et al.* (2005) aislaron la cepa *Enterobacter sp* (bacteria gram negativa, anaerobia facultativa) de un suelo contaminado con toxafeno en Nicaragua, mediante estudios filogenéticos y taxonómicos; evidenciando que era capaz de degradar el toxafeno, cuando se complementa como única fuente de carbono en el medio en condiciones anaeróbicas. Observaron una lenta degradación de los componentes clorados del suelo por la cepa, durante los primeros 20 días.

Kamanavalli y Ninnekar (2005), aislaron una cepa bacteriana de un suelo agrícola contaminado con pesticidas y fue identificada como *Pseudomona sp*. La bacteria demostró degradar el DDT hasta formar ácido 4-clorobenzoico, como un metabolito estable.

Nezha., *et al.*, (2013), reportan que la eliminación de pesticidas como el DDT, en suelos agrícolas contaminados, resulta exitosa mediante adición de bacterias aisladas del mismo suelo como *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Stenotrophomonas*. Así mismo, indican que otras bacterias responsables en la degradación de compuestos organoclorados son principalmente cepas gram negativas y pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Ralstonia*, *Achromobaacter*,

Sphingomonas y *Comamonas*; otras gram positivas, como *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Microbacterium*.

Tomasini (2011), recopila de la literatura que las especies *Shinogobium* y *Novoshingomonas*, bacterias Gram-negativas, toleran y degradan Pentaclorofenoles. Bacterias del género *Pseudomonas* y *Sphingomonas* pueden degradarlo por vía aeróbica. Además, los herbicidas del grupo n-clorofenoxi-propiónico, compuestos halogenados, son degradados por las enzimas oxigenasas producidas por la bacteria *Delftia acidovorans*. Otros compuestos organoclorados son los bifenilos policlorados (BPC) que tienen un amplio uso industrial, y pueden ser degradados hasta clorobenzoato mediante la acción de las bacterias como *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Aeromonas*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Bacillus* y *Streptomyces*.

Sims J. L., *et al.* 1991, han llevado a cabo investigaciones en la degradación de compuestos halogenados a través de la técnica Reducción/Oxidación; y en estos estudios afirmaron que en la etapa reductora se da un proceso de deshalogenación de la molécula clorada, el cual le otorga una característica menos tóxica.

Hägglom., *et al.* 2003, concluyeron acerca de la importancia de garantizar unas condiciones reductivas para que se realice el proceso de deshalogenación, las cuales se pueden generar mediante metanogénesis. Ellos consideran que un paso crucial en la degradación de organoclorados es el rompimiento del enlace carbono-halógeno y que este se hace efectivo mediante una fuente de reducción (metano) que actúa sobre la molécula, cual asume el rol de aceptor de electrones.

Kong., *et al.* 2013., consiguieron altas tasas de degradación de endosulfán (87,5% de α -endosulfán y 83,9% de β -endosulfán, determinado por cromatografía de gases) en 5 días, utilizando *Alcaligenes fecalis* aislada de lodos activados, utilizando un pH inicial de 7,0 y una temperatura de incubación de 40° C.

Harish y Bala, 2012., informaron que cepas de especies de *Bacillus* (aisladas de suelos contaminados) lograron degradar el 70% de la molécula de endosulfán en 21 días.

Nawab., *et al.* 2003, reportaron una alta degradación de Lindano, utilizando diferentes especies de *Pseudomonas* aisladas del mismo suelo contaminado.

Frencha, T. W., *et al.* 2002, demostraron la capacidad de la *Burkholderia cepacia* para degradar Tricloroetileno de los adsorbentes usados para atrapar este compuesto en los rellenos sanitarios.

Xiaomin, L., *et al.* 2015, identificaron la presencia de *Aeromonas sp.*, en un suelo contaminado con Pentaclorofenol, y concluyeron que estas bacterias optimizaron el proceso de degradación aplicando estas cepas a dicho suelo.

Li., *et al.* 2009, demostraron que las enzimas segregadas por *Achromobacter Xylooxidans*, metabolizaron endosulfán en condiciones oxidativas.

Las especies de *Bacillus sp.*, tienen la capacidad de sobrevivir en ambientes adversos de contaminación a través de la formación de endosporas. Además contribuye en el ciclo de nutrientes bajo condiciones aerobias (EPA, 1997).

Matsumura., *et al.* (1968) evidenciaron la ruptura del Dieldrín en el suelo a partir de la *Pseudomonas sp.* La cepa bacteriana se aisló de una muestra de suelo contaminado del patio de la fábrica de Dieldrin de Shell Chemical Company cerca de Denver, Colorado.

Patil., *et al.* (1970) mostraron que veinte cultivos microbianos que habían mostrado su potencial para degradar el Dieldrin, fueron capaces de degradar el Endrin y el DDT (*Trichoderma viriade*, *Pseudomonas sp.*, *Micrococcus sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Bacillus sp.*). Sin embargo el Aldrín fue degradado por 13 de ellos que incluyen *Pseudomonas sp.*, *Micrococcus sp.*, *Trichoderma viriade*, *Bacillus sp.*

Fries., *et al.* (1969) indicaron que en condiciones reductoras, la deoloración reductiva es el principal mecanismo para la conversión microbiana tanto del *o,p'*-DDT y *p,p'*-DDT isómeros de DDT a DDD.

Wedmeyer (1966) usó inhibidores metabólicos, junto con cambios en el pH y la temperatura, encontrando que las enzimas de *Aerobacter aerogenes* estuvieron involucrados en el metabolismo de DDT.

Con el fin de predecir algunos de los factores que influyen en la capacidad de biodegradación de DDT por *Sphingobacterium sp.*, Fang., *et al.* (2010), estudiaron la biodegradación a diferentes temperaturas, pH, concentraciones de DDT y, con y fuente adicional de carbono. Los resultados de la experiencia mostraron que las tasas de degradación eran proporcionales a las concentraciones de *p, p'*-DDT, *o, p'*-DDT, *p, p'*-DDD y *p, p'*-DDE que iban de 1 a 50 mg.L⁻¹. La capacidad de

Sphingobacterium sp para degradar DDT, era un tanto inhibida por DDT a un nivel de hasta 50 mg.L⁻¹. Según los autores, esto puede ser debido al hecho de que DDT a alta concentración son tóxicos para *Sphingobacterium* sp e inhiben su potencial de degradación. El experimento también se probó para diferentes pHs, destacando que una condición neutral es favorable para la degradación de DDT por *Sphingobacterium* sp., mientras mayor o menor pH inhibe la degradación. La influencia de la temperatura revela que a 30° C es la temperatura óptima para la biodegradación de DDT por un *Sphingobacterium* sp. En última instancia, se demuestra que la presencia de glucosa genera la degradación más rápida de DDT.

La tabla 5 presenta un resumen de los microorganismos responsables de la biodegradación de pesticidas organoclorados y que se reportan en los antecedentes antes descritos.

Tabla 5. Resumen de antecedentes de biodegradación de pesticidas organoclorados.

Pesticida	Microorganismos	Referencia
DDT	<i>Bacillus thuringiensis</i>	(Betancourt, 2013)
	<i>Flavobacterium</i> sp.	(Betancourt, 2013)
	<i>Cuprivadius,</i>	(Betancourt, 2013)
	<i>Variovorax soli Phenylobacterium</i>	(Betancourt, 2013)
	sp. <i>Lysobacter</i> sp.	(Betancourt, 2013)
	<i>Pseudomonas</i> sp.	(Betancourt, 2013)
	<i>Aerobacter aerogenes</i>	(Kamanavalli et al, 2005)
	<i>Trichoderma viridae</i>	(Wedemeyer, 1966)
	<i>Pseudomonas</i> sp.	(Patil et al., 1970)
	<i>Micrococcus</i> sp.	(Patil et al., 1970)
	<i>Arthrobacter</i> sp.	(Patil et al., 1970)
	<i>Bacillus</i> sp.	(Patil et al., 1970)
<i>Sphingobacterium</i> sp.	(Fang et al., 2010)	
Lindano	<i>Pseudomonas</i> sp.	(Nawab et al., 2003)
DDE	<i>Bacillus thuringiensis,</i>	(Betancourt, 2013)
	<i>Flavobacterium</i> sp.	(Betancourt, 2013)
	<i>Cuprivadius,</i>	(Betancourt, 2013)
	<i>Variovorax soli, Phenylobacterium</i>	(Betancourt, 2013)
	sp., <i>Lysobacter</i> sp	(Betancourt, 2013)
	<i>Bacillus</i>	(Nezha et al., 2013)
	<i>Staphylococcus Stenotrophomonas</i>	(Nezha et al., 2013)
		(Nezha et al., 2013)

Pesticida	Microorganismos	Referencia
DDD	<i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>Flavobacterium sp.</i> , <i>Cuprivadius</i> , <i>Variovorax soli</i> , <i>Phenylobacterium</i> <i>sp.</i> , <i>Lysobacter sp</i>	(Betancourt, 2013) (Betancourt, 2013) (Betancourt, 2013) (Betancourt, 2013) (Betancourt, 2013) (Betancourt, 2013)
Toxafeno	<i>Enterobacter sp</i>	(Lacayo, 2005)
Aldrín	<i>Trichoderma viridae</i> <i>Pseudomonas sp.</i> <i>Micrococcus sp.</i> <i>Bacillus sp.</i>	(Patil et al., 1970) (Patil et al., 1970) (Patil et al., 1970) (Patil et al., 1970)
Endrín	<i>Micrococcus sp.</i> <i>Arthrobacter sp.</i> <i>Bacillus sp.</i>	(Patil et al., 1970) (Patil et al., 1970) (Patil et al., 1970)
Dieldrín	<i>Pseudomonas sp.</i>	(Matsumura et al., 1968)
Pentaclorofenol	<i>Shinogobium</i> <i>Novoshingomona</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Sphingomonas</i> <i>Aeromonas sp.</i>	(Tomasini, 2011) (Tomasini, 2011) (Tomasini, 2011) (Tomasini, 2011) (Xiaomin et al., 2015)
Tricloroetileno	<i>Burkholderia cepacia</i>	(Frencha et al., 2002)
Endulsofán	<i>Alcaligenes fecalis</i> <i>Bacillus sp.</i> <i>Achromobacter Xylosoxidans</i>	(Kong et al., 2013) (Harish y Bala, 2012) (Li et al., 2009)

Fuente: Autora

7. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS MÁS IDÓNEAS PARA LA BIORECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS Y SU REINCORPORACIÓN AL CICLO PRODUCTIVO AGRÍCOLA EN EL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR, EN COHERENCIA CON LO ESTABLECIDO EN EL PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2012-2015, PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y EL PLAN DE ACCIÓN CORPOCESAR 2012 – 2015.

Los suelos en cercanías del municipio de Agustín Codazzi son suelos de planicie de pie de monte aluvial (abanicos), con un relieve plano a levemente inclinados y poco evolucionados. Son suelos ácidos y se caracterizan por presentar arcillas de colores grises y rojos con contenido de hierro y magnesio que impiden la penetración de las raíces, limitando su uso.

En las últimas décadas, el Valle del Río Cesar ha sido sometido a un uso agrícola intenso, resultando en la intensificación de procesos erosivos que naturalmente sucedían y en la ocurrencia de otros por causas antrópicas. Los principales usos del suelo son para la ganadería y cultivos de arroz, algodón, sorgo, maíz, plátano, palma africana y frutales.

El suelo contaminado con pesticidas organoclorados que fue evaluado por la Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar), Geosísmica y Ambiente, y la Secretaría de Agricultura del Cesar en el período de 1990 a 1994, reveló predominancias de partículas limosas que lo hace impermeable. La velocidad de infiltración resultó baja, por lo que existe una retención de agua alta y se producen encharcamientos. Además presenta un pH neutro, bajo contenido de material orgánico, altos contenidos de fósforo aprovechable, hierro, y calcio intercambiable; bajo contenido de potasio y magnesio intercambiable. No presenta problemas de toxicidad por sales o aluminio (Corpocesar *et al.* 1997).

A partir de las propiedades fisicoquímicas del suelo se puede establecer el manejo necesario para su óptimo tratamiento, identificar sus requerimientos y determinar las mejores prácticas de uso.

La literatura reportada en el capítulo anterior muestra el gran potencial de los microorganismos en la degradación de los pesticidas organoclorados. Por lo tanto, la biorremediación resulta un método muy eficiente desde el punto de vista ambiental, elimina los contaminantes de interés y no requiere una inversión elevada.

Para llevar a cabo la biorremediación de suelos contaminados se debe reconocer las condiciones ambientales propias de la zona objeto de estudio, las propiedades fisicoquímicas del suelo de la zona a tratar y los recursos humanos, físicos, tecnológicos y financieros necesarios para ello.

Teniendo en cuenta los antecedentes evaluados y la revisión bibliográfica hecha, las estrategias más idóneas para recuperar los suelos del municipio de Agustín Codazzi, Cesar son:

- ✚ En los enterramientos que se encontraron, se recomienda remover los productos allí acopiados y darles un adecuado manejo, a través de su disposición final en rellenos o celdas de seguridad. El manejo de estos residuos deberá hacerse con todos los parámetros y condiciones de seguridad que la normatividad exige. Por lo tanto, el desenterramiento debe tener en cuenta como mínimo lo siguiente:
 - El desenterramiento se debe efectuar en los meses donde la velocidad del viento es menor (febrero, marzo o abril), para evitar la proliferación de partículas contaminantes.
 - Aislar y delimitar las zonas en las cuales se encontró la presencia de productos enterrados.
 - Remover la capa vegetal del área delimitada
 - Realizar valoración médica inicial al personal que realizará las labores. Esto con el fin de detectar que no presente antecedentes de intoxicación.
 - Realizar el desenterramiento con máquina (retroexcavadora), no manual debido a que la exposición a los contaminantes sería mayor.
 - Dotar al personal de trabajo con todos los implementos de seguridad industrial y que sean adecuados al tipo de contaminantes que va a remover (pesticidas).
 - El material extraído deberá embalsarse en recipientes resistentes y sin imperfecciones, y etiquetarse adecuadamente para su transporte hasta el sitio de disposición final.
 - La unidad de transporte que llevará los residuos extraídos hasta su sitio de disposición final, debe contar con todas las condiciones exigidas para evitar la contaminación del medio en su trayecto.

- ✚ Luego de remover los compuestos enterrados se debe realizar la biorrecuperación del suelo afectado mediante una biorremediación “in situ”.
La estrategia de biorremediación más idónea para degradar los compuestos organoclorados del suelo según la revisión bibliográfica estudiada, consiste

en iniciar el tratamiento bajo condiciones anaerobias (reductoras) para remover compuestos altamente clorados, y finalizar en condiciones aerobias (oxidativas) con el fin de degradar los compuestos menos clorados. El tratamiento **anaerobio** “in situ” requiere la adición de donadores de electrones como acetato, metano, entre otros; estimulando así la reducción de nitratos y sulfatos por parte de los organismos que están degradando los compuestos halogenados, pues la literatura asegura que de esta forma se estimulará la deshalogenación reductiva debido a que el compuesto organoclorado actúa como aceptor de electrones y no es una fuente directa de carbono y energía para las bacterias; además se debe cubrir el suelo para evitar el paso de oxígeno al interior de éste. Finalmente, el tratamiento **aerobio** “in situ” se puede realizar mediante tecnología de landfarming con cierta frecuencia para garantizar la oxigenación del terreno.

Es importante evaluar estas técnicas a escala de laboratorio y determinar las eficiencias a diferentes periodos de tiempo, con el fin de replicar en campo los mejores resultados.

Para aplicar el proceso de biorrecuperación en el terreno se plantea:

- Preparar inicialmente el terreno mediante tecnología del landfarming con el fin de soltar los agregados del suelo y facilitar su manipulación y homogeneidad en el tratamiento.
- Determinar de los compuestos organoclorados remanentes en el suelo mediante pruebas de cromatografía de gases y espectrometría de masas.
- Adicionar nutrientes esenciales al suelo para estimular el desarrollo de los microorganismos degradadores de los pesticidas organoclorados. El balance deseado corresponde a una relación C: N: P igual a 100:10:1 (Fuentes, 1999; Blaine, 1993). Además, estimular el terreno con abono con el fin de aumentar el componente orgánico del suelo. Lo anterior, según los requerimientos previamente estudiados.
- Simultáneo a la adición de nutrientes, se inoculará un consorcio bacteriano previamente seleccionado y que correspondan a especies reportadas en la literatura al mostrar potencial para biodegradar los pesticidas organoclorados, y que varían según la fase del tratamiento (anaerobio y aerobio).

La selección del consorcio se hace en laboratorio, donde se aíslan los microorganismos nativos y adaptados al suelo contaminado del municipio, para garantizar la adaptación de estos organismos a las condiciones propias de la zona. Una vez aislados los microorganismos del suelo, se hace su identificación para seleccionar el tipo de bacterias

que se han reportado con mayor potencial para degradar los compuestos organoclorados. Se debe hacer la selección de los consorcios previo a pruebas de compatibilidad de los mismos, y finalmente se recomienda reproducir los microorganismos a escala de laboratorio para su aplicación en el terreno.

- Durante el tratamiento se debe mantener las condiciones óptimas de humedad, dado que la composición microbiana de especies en un suelo depende de la disponibilidad de agua. Se ha reportado que la actividad microbiana procede de manera óptima en la presencia de entre 50 y 70% de la capacidad de campo. Por lo anterior, se debe adicionar agua mediante riego, con una frecuencia y cantidad que garanticen la conservación de una humedad al 60% de la capacidad de campo del suelo.

La aplicación del tratamiento biológico *in situ* supone grandes ventajas frente a otros tratamientos, tanto en términos económicos como ambientales (Tabla 6):

Tabla 6. Costos de tratamientos para remediación de suelos

Tipo de Tratamiento	Costo por m ³	Tiempo requerido (meses)	Costos adicionales	Resultado final
Incineración	\$1'663.200	6 – 9	Energía Transporte	Contaminación atmosférica
Fijación	\$256.500	6 – 9	Transporte Monitoreo a largo tiempo	Lixiviados
Relleno de seguridad	\$515.700	6 – 9	Monitoreo a largo tiempo	Lixiviados Gases
Biorremediación	\$207.900	10 – 14	Acondicionamiento del terreno para su uso en nuevas actividades	Metabolitos de degradación. Suelo descontaminado y aprovechable

Fuente: CORPOCESAR *et al*, 1997

Una vez se realice el proceso de biorecuperación del terreno, se debe analizar su potencial productivo y emprender acciones para su preparación y utilización en las actividades agrícolas de la región.

Es importante destacar las necesidades de impulsar la economía y generar productividad y competitividad en el municipio, no solo con la recuperación de los terrenos contaminados y su reincorporación a las actividades agrícolas, sino con la implementación de proyectos que propendan por el fortalecimiento, la capacitación y tecnificación de la agricultura, así como la promoción de estrategias de comercialización de sus productos.

Por lo tanto, para llevar estas acciones se deben reconocer las prioridades del municipio y los recursos destinados a resolver esta problemática. Además de encontrar cabida en algunos de los diferentes programas establecidos en los planes departamentales y municipales.

En el **Plan de Acción 2012-2015 “Desarrollo Sostenible y participativo para el departamento del Cesar”, de la Corporación Autónoma Regional del Cesar**, se definió un gran Objetivo General para el cumplimiento del Plan de Acción 2012-2015, con el cual se propone, *Generar las condiciones ambientales necesarias para promover un desarrollo sostenible participativo para el departamento del Cesar*, en la perspectiva de darle cumplimiento a los lineamientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y los compromisos pendientes en el Plan de Gestión Ambiental Regional-PGAR del Departamento del Cesar. En este sentido las acciones operativas del Plan de Acción, responde a criterios y lineamientos de carácter nacional (PND 2010-2014), regional (PGAR 2002-2012), departamental (PDD 2012-2015) y local (PDM 2012-2015).

Las líneas estratégicas definidas en el Plan de Acción son: 1) Recurso Hídrico, 2) Ordenamiento Ambiental Territorial, 3) Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, 4) Asuntos Ambientales Sectoriales, 5) Educación Ambiental y Participación y 6) Fortalecimiento Institucional.

Los programas que plantean las estrategias de recuperación de los suelos contaminados del municipio y el apoyo a iniciativas de producción agrícola establecidos en el Plan de Acción, se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Programas y proyectos de interés, Plan de Acción 2012 - 2015

Línea estratégica	Objetivos	Programas	Proyectos	Actividades	Meta 2012 - 2015	Indicador
Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos	Desarrollar acciones puntuales dadas en los planes de manejo ya formulados, que permitirán la conservación y el uso racional de los recursos naturales renovables y la biodiversidad	Desarrollo forestal con fines de restauración, recuperación y aprovechamiento sostenible	Implementación de acciones para la recuperación, restauración y aprovechamiento sostenible del recurso flora.	Implementación de acciones de restauración contenidas en el plan de ordenación forestal POF o en los POMCAS.	3	No de acciones
		Fortalecimiento del conocimiento ambiental ancestral indígena de la región.	Apoyo al diseño e implementación de la estrategia ambiental regional de la Sierra Nevada De Santa Marta y serranía de Perijá y de los motilones con visión ancestral indígena.	Apoyo al desarrollo de proyectos productivos sostenibles para la seguridad alimentaria.	3	No de proyectos

Línea estratégica	Objetivos	Programas	Proyectos	Actividades	Meta 2012 - 2015	Indicador
Asuntos ambientales sectoriales	<p>Hacer presencia en aquellas situaciones donde el accionar socioeconómico entra en conflicto con el medio ambiente y genera impactos ambientales que impidan el normal desarrollo de la oferta de bienes y servicios ambientales en el Departamento. Impulsar y fomentar el uso sostenible de la diversidad biológica y el patrimonio cultural en los procesos de conservación para beneficio económico y social de las regiones.</p>	<p>Implementación de las políticas de desarrollo sostenible.</p>	<p>Implementación de estrategias para la gestión integral de residuos peligrosos.</p>	<p>Inventario de sitios afectados con Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP'S).</p>	30	No de sitios afectados
				<p>Recuperación de áreas afectadas por Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP'S) a través de la implementación de tecnologías limpias y procesos de biorremediación.</p>	1	No de sitios recuperados

Fuente: Plan de Acción CORPOCESAR 2012-2015

Por su parte, en el **Plan Básico de Ordenamiento Territorial, Agustín Codazzi** se revela que un 40% de sus suelos están clasificados para uso agropecuario intensivo, a los que se le suma 11% de suelos para uso agropecuario semintensivo, por lo que su productividad agropecuaria puede considerarse una de sus mayores ventajas comparativas. Sin embargo las actividades agrícolas se han llevado a cabo de forma irresponsable e insostenible, pues en el estudio “*Diagnostico y evaluación del enterramiento de pesticidas en el Municipio de Agustín Codazzi y procesos de descontaminación*” ejecutado por CORPOCESAR en 1996, determinó al sur de la ciudad en predios de Coral y de un antiguo Colegio, las zonas donde se ubican entierros de pesticidas y sus respectivas áreas contaminadas o de posible contaminación, las cuales deben inhabilitarse para usos en donde pueda verse afectada población.

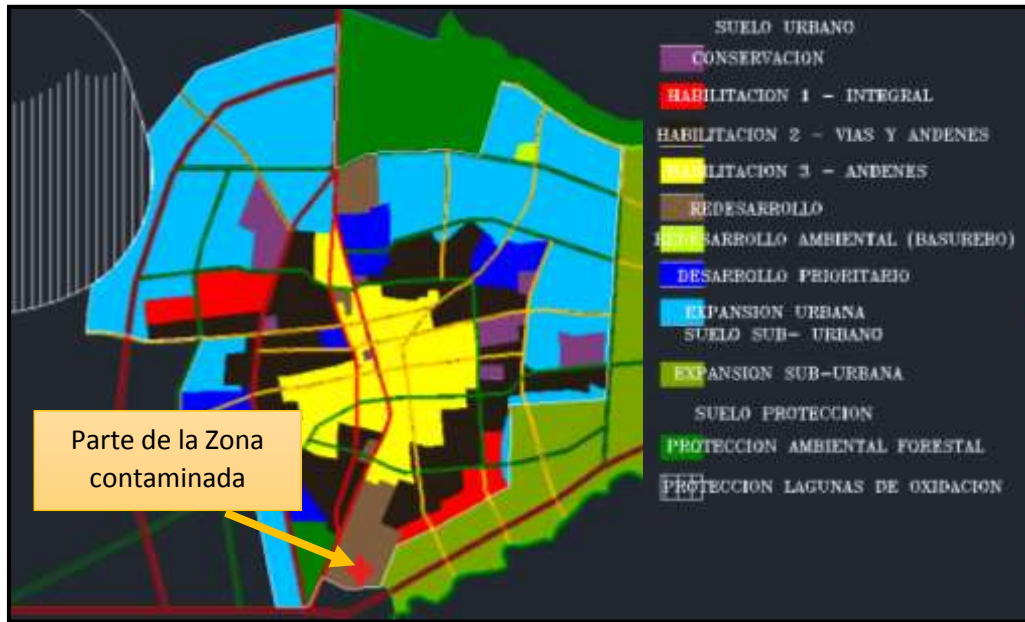
En atención a lo anterior, se proponen cuatro grandes enfoques para orientar el Ordenamiento Territorial del Municipio de Agustín Codazzi. El primer enfoque se constituye el eje principal y está basado en la ***Recuperación de la identidad cultural codacense***. Este soporta el tejido cultural de la comunidad y brinda la estructura a los otros tres enfoques. Los enfoques siguientes están ligados a la reactivación económica del municipio y se orientan a la: ***Reactivación del campo***, la ***Creación de un centro regional agroindustrial y de servicios*** y la ***Mitigación de riesgos***.

Los enfoques de *Reactivación de campo* y *la Creación de un centro regional agroindustrial y de servicios*, representan el apoyo y la oportunidad para la reintegración de los suelos descontaminados a formar parte de las actividades económicas del municipio; pues la producción de bienes agrícolas comerciales y la agroindustria, actividades que por su naturaleza y características requieren extensiones de tierra considerable, altas inversiones en capital de trabajo, maquinaria y equipos y vías de comunicación adecuadas para conectarse con los mercados. La mayor parte de las actividades propias de la economía campesina se realizan en las zonas quebradas y pendientes de la Serranía, en predios de tamaño reducido o minifundios, con tecnologías precarias y prácticas inadecuadas, escasos recursos financieros y carencia de vías, servicios públicos, lo que impide su comunicación con los mercados locales y regionales.

Estos enfoques brindan la oportunidad de poner en marcha un modelo integral de desarrollo sostenible, basado en las ventajas comparativas, la vocación económica y la recuperación de la identidad cultural del municipio.

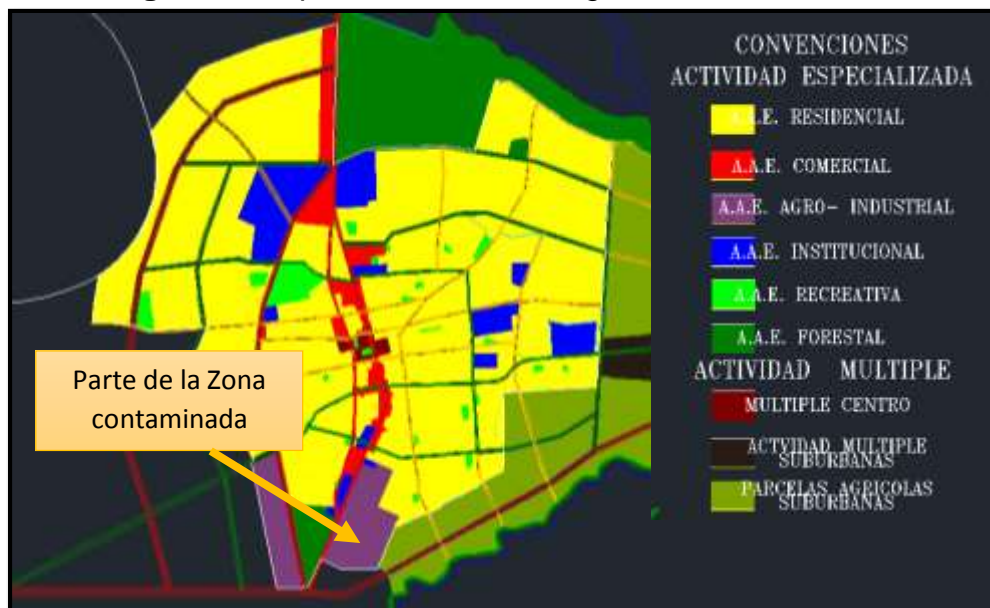
Así mismo, la preocupación por recuperar las zonas afectadas es evidente en los mapas de clasificación y usos del suelo del municipio, establecido en el PBOT. En estos terrenos busca promoverse un Redesarrollo cuya actividad corresponda a la Agroindustria (Figuras 4 y 5); razón por la cual se confirma la necesidad de proponer las estrategias para llevarlo a cabo.

Figura 4. Mapa usos del Suelo Agustín Codazzi, Cesar.



Fuente: Plan Básico de Ordenamiento Territorial Agustín Codazzi

Figura 5. Mapa usos del Suelo Agustín Codazzi, Cesar.



Fuente: Plan Básico de Ordenamiento Territorial Agustín Codazzi

En el **Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) 2002 – 2012** se establecen estrategias que orientan la gestión ambiental del Departamento del Cesar, a partir de 8 líneas de acción encaminadas a mantener las fortalezas, corregir las debilidades, aprovechar las oportunidades y atenuar las amenazas. Las líneas estratégicas son: 1) Conservación y recuperación de todas las Ecorregiones estratégicas en la jurisdicción de CORPOCESAR. 2) Implementar en las Ecorregiones del Dpto., los Planes de Gestión Ambiental Suregional. (PGAS), derivados del PGAR. 3) Gestión del recurso hídrico. 4) Gestión Ambiental en Saneamiento Básico. 5) Promover procesos investigación y actualización tecnológica en las actividades productiva. 6) Convertir a CORPOCESAR en el líder interinstitucional que coordine la correcta implementación y ejecución del PGAR. 7) Promocionar la gestión ambiental urbana en los grandes núcleos poblacionales existentes en el Departamento. 8) Educación e información ambiental.

En el PGAR se describe la necesidad y una oportunidad para la reincorporación de los suelos descontaminados a las actividades agrícolas de la región, mediante el programa titulado *“Efectuar la adopción de procesos de innovación tecnológica en la producción agropecuaria en la Serranía del Perijá, Sierra Nevada de Santa Marta, Valle del Río Cesar y Río Magdalena”*, establecido dentro de la línea estratégica cinco (5). Este programa evidencia la disponibilidad de recursos para fortalecer el sector productivo agrícola del municipio de Agustín Codazzi, una vez estén disponibles los terrenos para ello.

Finalmente, el **Plan de Desarrollo Municipal Agustín Codazzi 2012 – 2015** establece 4 líneas de acción estratégicas (1) *Equidad social para la diferencia;* 2) *Competitividad y productividad para la diferencia;* 3) *Desarrollo sostenible e infraestructura para la diferencia;* 4) *Gobierno diferente e incluyente*), que van a estar soportadas en una estructura de 15 Objetivos Estratégicos y 42 programas, los cuales se convierten en la plataforma estratégica para ejecutar el Plan de Desarrollo. La tabla 8 destaca los programas destinados a promover la economía agrícola u y el interés por aumentar la oferta agrícola, correspondiente a línea estratégica *Competitividad y productividad para la diferencia*.

Tabla 8. Programas, objetivos y estrategias de interés, Plan de Desarrollo Municipal Agustín Codazzi 2012 – 2015.

Se produce y se comercializa los productos agropecuarios	OBJETIVO	Implementar las estrategias de producción y comercialización en el sector primario del municipio.
	META	Capacitar a 100 familias campesinas en programas de seguridad alimentaria
	ESTRATEGIA	Capacitaciones en producción y articulación con operadores que comercialicen los productos derivados del sector agropecuario
Oferta agropecuaria diferente	OBJETIVO	Diversificar la base agropecuaria del municipio.
	META	Establecimiento de 200 hectáreas de cultivos permanentes. Establecimiento de 200 hectáreas de cultivos transitorios. Asistencia técnica y transferencia tecnológica a 400 pequeños y medianos
	ESTRATEGIA	Gestionar convenios y alianzas públicos – privadas para aumentar la oferta y la diversificación agropecuaria del municipio.

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal Agustín Codazzi 2012-2015

Los diferentes documentos de referencia evaluados, tanto de orden municipal como departamental, establecen programas sólidos que dejan en evidencia la gestión ambiental por parte de la autoridad ambiental competente y las administraciones, mediante el reconocimiento de la problemática y su preocupación por desarrollar estrategias para la recuperación de los terrenos contaminados que se encuentran en abandono, donde finalmente estos planes serán el soporte para que se destinen los recursos (humanos y económicos) a la corrección del impacto ambiental ocasionado; además de representar una oportunidad para aumentar la oferta agrícola y generar una dinámica económica más competitiva en la región mediante el uso de los suelos descontaminados.

8. CONCLUSIONES

La contaminación de los suelos con pesticidas organoclorados en ciertas zonas del municipio de Agustín Codazzi, es consecuencia del inadecuado manejo y disposición final de los residuos de agroquímicos usados durante la bonanza algodonera. Residuos que fueron enterrados en zonas aledañas a los terrenos de cultivo, trayendo consigo problemas de contaminación de los suelos y aguas, deterioro del paisaje y afectación en la salud de las personas.

El Municipio de Agustín Codazzi tiene la visión de convertirse en un gran Centro Agroindustrial, con un enfoque de reactivación de campo, brindando la oportunidad de poner en marcha un modelo integral de desarrollo sostenible, pues la capacidad productiva del suelo del municipio es la razón fundamental para que dentro de este territorio, converjan los subsectores agrícolas de Palma Africana, Algodón, Cacao, Café, Caña de Azúcar, entre otros; además de proyectarse como la capital agro-energética de Colombia, debido a que en el municipio está ubicada la primera planta de biodiesel de Colombia.

En los procesos de bioremediación de suelos contaminados por pesticidas organoclorados, se recomienda estimular el crecimiento de la microbiota presente en el suelo afectado para fortalecer el proceso de biodegradación, ya que un largo tiempo de permanencia de los compuestos contaminantes en el suelo, genera la adaptación de los microorganismos a este tipo de sustancias y la posibilidad de su uso como la fuente de carbono primario.

La biodegradación de compuestos organoclorados ha evidenciado mayores eficiencias cuando se somete el suelo contaminado a condiciones anaeróbicas y aeróbicas secuenciales, debido a que los productos aromáticos muy clorados, pueden deshalogenarse por reducción a productos menos halogenados, mientras que los productos aromáticos ligeramente halogenados pueden ser biodegradados de forma aerobia por medio de reacciones de oxigenación.

La recuperación de los suelos contaminados debe incluir un procedimiento estricto para cada una de las actividades involucradas, teniendo en cuenta las condiciones de seguridad y salud en las operaciones a realizar, debido al contacto que se tendrá con los contaminantes y su posible proliferación. Para ello, se debe formular un plan de acción, plan de contingencia y plan de seguimiento y monitoreo, dentro del marco de la gestión de riesgos.

La metodología propuesta para llevar a cabo la recuperación de los terrenos se debe iniciar con la caracterización del suelo o línea base, ya que para llevar a cabo la biorremediación de los suelos contaminados se debe reconocer las condiciones ambientales propias de la zona objeto de estudio, las propiedades fisicoquímicas del suelo de la zona a tratar y los recursos humanos, físicos, tecnológicos y financieros necesarios para ello. En los enterramientos encontrados, se propone remover los productos allí acopiados y darles un adecuado manejo, a través de su disposición final en rellenos o celdas de seguridad. El manejo de estos residuos deberá hacerse con todos los parámetros y condiciones de seguridad que la normatividad exige. Luego de remover los compuestos enterrados se debe realizar la biorrecuperación del suelo afectado mediante una biorremediación “in situ”. La estrategia de biorremediación más idónea para degradar los compuestos organoclorados del suelo según la revisión bibliográfica estudiada, consiste en iniciar el tratamiento bajo condiciones anaerobias (reductoras) para remover compuestos altamente clorados, y finalizar en condiciones aerobias (oxidativas) con el fin de degradar los compuestos menos clorados. Una vez se realice el proceso de biorecuperación del terreno, se debe analizar su potencial productivo y emprender acciones para su preparación y utilización en las actividades agrícolas de la región.

Debido al gran interés que presenta el municipio por fortalecer el sector agrícola, ampliar la capacidad productiva e impulsar su economía, descrito en el Plan de Desarrollo 2012 – 2015, el Plan de Acción 2012 – 2015, el Plan de Gestión Ambiental Regional 2002 – 2012 y el Plan Básico de Ordenamiento Territorial 2000 – 2008, se propone la biorecuperación *in situ* de los suelos contaminados (mediante las técnicas de bioestimulación y bioaumentación), como una estrategia para satisfacer los requerimientos de áreas para cultivo, corregir el impacto ambiental ocasionado, y mejorar el bienestar y la calidad de vida de la comunidad; pues las técnicas de biorremediación de suelos suponen grandes ventajas frente a otras técnicas, ya que no se produce ningún efecto perjudicial sobre la estructura del suelo ni sobre sus características biológicas, y resultan eficientes desde el punto de vista ambiental y económico.

Finalmente, se recomienda ampliar este estudio mediante una evaluación que permita determinar la calidad de las aguas subterráneas potencialmente amenazadas por lixiviados, producto de los residuos de agroquímicos enterrados en el suelo evaluado, a través de monitoreos a los cuerpos de agua dentro del área de influencia de la zona contaminada del municipio de Agustín Codazzi, Cesar.

9. BIBLIOGRAFÍA

ATLAS, Ronald M; BARTHA, Richard. Ecología microbiana y Microbiología ambiental. Madrid: Edición PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2002. 696 p. ISBN 84-7829-039-7.

BACZYNSKI, Tomas; PLEISSNER, Daniel y GROTEHUIS, Tim. Anaerobic biodegradation of organochlorine pesticides in contaminated soil – Significance of temperature and availability. Elsevier, 2010. Volumen 78.

BARRIOS, M. (17 de marzo de 2013). En Codazzi solo quedan ruinas de la bonanza aldonera. *El Heraldo*, pág. 1.

BETANCUR CORREDOR, Bibiana. Biorremediación de Suelo Contaminado con el Pesticida 1,1,1-Tricloro-2,2'bis(P-Clorofenil)Etano (Ddt) mediante Protocolos de Bioestimulación y Adición de Surfactante. Medellín, 2013, 143 h. Trabajo de grado (Magister en ciencias – Biotecnología). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de ciencias. [En línea]. Disponible en: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/9164/1/1088253581.2013.pdf>>.

BRICEÑO L, Ana; BUENAHORA R, Maria. Identificación de microorganismos que pueden ser útiles en el proceso de biorremediación de suelos de cultivo de cebolla de rama (*allium fistulosum*) contaminados con plaguicidas en el corregimiento de Berlín del departamento de Santander en el año 2005. Bucaramanga, 2006, 164 h. Proyecto de grado (Bacteriología y Laboratorista Clínico). Universidad de Santander, Bucaramanga. Facultad de Salud.

CORPOCESAR, & GEOSÍSMICA Y AMBIENTE. (1997). Estudio de diagnóstico y evaluación del enterramiento de pesticidas en el municipio de Agustín Codazzi y procedimiento de descontaminación y disposición final de los mismos. Valledupar, Cesar, Colombia.

EWEIS, Juana B, *et al.* Principios de Biorrecuperación (Biorremediation). Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos. Madrid: Edición McGraw - Hill, 1999. 284 p. ISBN 84-481-2511-8.

FANG, H; DONG, B; TAN, H; TANG, I & YUNLONG, Y. (2010). Characterization of a Bacterial Strain Capable of Degrading DDT Congeners and its Use in Bioremediation of Contaminated Soil, *Journal of Hazardous Material*, Vol. 184, Nos. 1-3.

FRENCHA, T. W., BROWN, L. R., DOWNER, D. N., FREDRICKSON, H. L., & TEETER, C. L. (2002). Effects of n-hexadecane and PM-100 clay on trichloroethylene degradation by *Burkholderia cepacia*. *Science Direct*, 89-102.

FRIES, G.R; MARROW, G.S & GORDON, C.H. (1969). Metabolism of *o,p'*-DDT by Rumen Microorganisms, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 17, No. 4.

HÄGGBLUM, M. M., AHN, Y.-B., E, F. D., KERKHOF, L. J., & RHEE, S.-K. (2003). Anaerobic Dehalogenation of Organohalide Contaminants in the Marine Environment. *Science Direct*, 61-84.

H., H. R., & CHAUHAN, J. B. (2012). Bioremediation of Organochlorine Pesticide-Endosulfan by a Soil Bacteria. *Samanthi Publications*, 1-4.

KAMANAVALLI C, NINNEKAR H. Biodegradation of DDT by a *Pseudomonas* Species. *Current Microbiology* [serial online]. January 2004;48(1):10-13. Available from: *Environment Complete*, Ipswich, MA. Accessed March 8, 2015.

KONG, L., ZHUB, S., ZHUA, L., XIEA, H., SUA, K., YANA, T., . . . SUNA, F. (2013). Biodegradation of organochlorine pesticide endosulfan by bacterial strain *Alcaligenes faecalis* JBW4. *Science Direct*, 2257–2264.

LACAYO R, Martha L. MICROBIAL DEGRADATION OF TOXAPHENE. Tesis Doctoral Biotecnología. Sweden. Lund University, Sweden. Departamento de Biotecnología, 2005. 53 p.

LACAYO R, Martha L, et al. A toxaphene-degrading bacterium related to *Enterobacter cloacae*, strain D1 isolated from aged contaminated soil in Nicaragua. *Elsevier*, 2005.

LIB, W., DAID, Y., XUEE, B., LIF, Y., PENG, X., ZHANG, J., & YANA, Y. (2009). Biodegradation and detoxification of endosulfan in aqueous medium and soil by *Achromobacter xylosoxidans* strain CS5. *Science Direct*, 209-216.

MADIGAN, Michael T, et al. Brock: Biología de los microorganismos. 12 ed. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, 2009. 1296p. ISBN 978-84-7829-097-0.

MATSUMURA, F.; BOUSH, G. M. & TTAI, A. (1968). Breakdown of Dieldrin in the Soil by a Microorganism, *Nature*, Vol. 219, No. 5157, (August 1968).

NAWAB, A., ALEEM, A., & MALIK, A. (2003). Determination of organochlorine pesticides in agricultural soil with special reference to γ -HCH degradation by *Pseudomonas* strains. *Science Direct*, 41-46.

NEZHA TAHRI et al. Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms. Capítulo 11. En: CHAMY, R y ROSENKRANZ, F. Biodegradation life of science. 2013. ISBN 978-953-51-1154-2.

PATIL, K.C; MATSUMURA, F. & BOUSH, G.M. (1970). Degradation of Endrin, Aldrin, and DDT by Soil Microorganisms, *Journal of Applied Microbiology*, Vol. 19, No 5, (May 1970).

PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Agustín Codazzi 2000 – 2008. Oficina de Planeación Municipal.

PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL “CODAZZI ES DIFERENTE” 2012-2015. Abril de 2012. Agustín Codazzi, Cesar.

Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2002-2010. Corporación Autónoma Regional del Cesar.

PLAN DE ACCIÓN 2012-2015 Corporación Autónoma Regional del Cesar. *Desarrollo Sostenible y participativo para el Departamento del Cesar*.

PNUMA. Guía del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. 2005.

RITTMANN, Bruce E y McCARTY, Perry L. Biotecnología del medio ambiente: Principios y aplicaciones. Madrid: McGraw-Hill, 2001. 745p. ISBN 0-07-234553-5.

SIMS, J. L., RUSELL, H., & SUFLITA, J. M. (1991). Reductive Dehalogenation of Organic Contaminants in Soils and Ground Water. EPA Ground Water Issue, 1-12.

SOLER, Y, PRIETO, F. bonanza y crisis del oro blanco 1960 – 1980. Editorial Edigráficas Ltda Bogotá, 1982.

TIMMIS, K.N., PIEPER, D.H. Bacteria designed for bioremediation. TIBTECH. 1999, 17, 201-204.

TOMASINI, Araceli. Biorremediación de suelos contaminados por compuestos organoclorados. En: PRADO et al. Impacto de la biología molecular y las nuevas tecnologías en el conocimiento de la función celular y sus aplicaciones. 2011. ISBN: 978-607-477-560-0.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. (February de 1997). Bacillus subtilis Final Risk Assessment. Obtenido de Biotechnology Program under the Toxic Substances Control Act (TSCA): http://www.epa.gov/biotech_rule/pubs/fra/fra009.htm

WEDEMEYER, G. (1966). Dechlorination of DDT by *Aerobacter aerogenes*, *Science*, Vol. 152, No. 3722, (April, 1966).

WILL CALDERON, *et al.* (Abril de 1996). Historia Socioeconómica de Codazzi, editorial mejoras Barranquilla, Colombia.

XIAOMIN, L., ZHONG, L., CHUNLING, L., JING, B., YINGTAO, S., & YONGTAO, L. (2015). Enhanced microbial degradation of pentachlorophenol from soil in the presence of earthworms: Evidence of functional bacteria using DNA-stable isotope probing. *Science Direct*, 168-177

ANEXOS

ANEXO I. Mapa de localización de los enterramientos encontrados, CORPOCESAR 1997.

