



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Implementación de Procesos de Gestión de Sitios Potencialmente Contaminados

Alberto Uribe Jongbloed, Ph.D.
Cali, Colombia
Agosto 26 de 2022

Contenido General

- Definiciones Generales – Potencial de Contaminación
- Inspecciones preliminares – Condiciones Ambientales Reconocidas – Estudios Ambientales Fase I (ESA Phase I ASTM E-1527)
- Caracterización de Sitios – Procesos de Caracterización, respuesta a las preguntas ¿Qué Hay?, ¿Dónde está?, ¿Cuánto hay? y ¿Para Dónde va? Estudios Ambientales Fase II (ESA Phase II ASTM E-1903)
- Análisis de Riesgos – Metodología RBCA (ASTM E-2081)
- Intervención - Remediación



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



#MÁSCercadelaGente

Definiciones Generales



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia

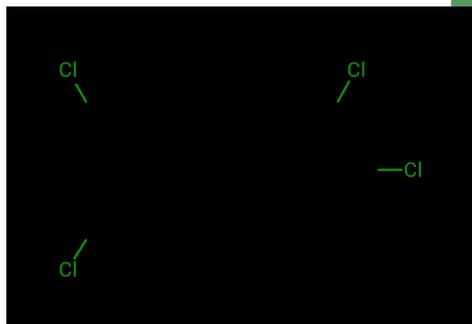
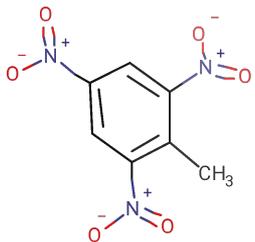
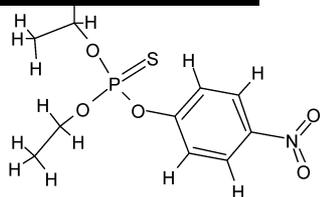
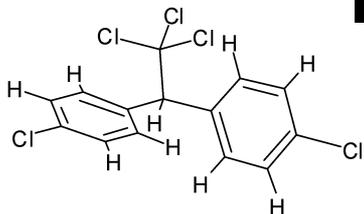
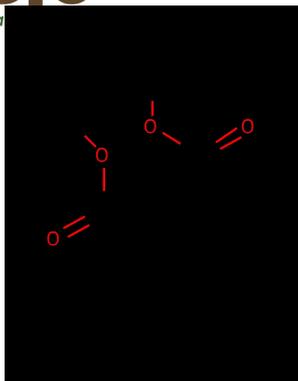
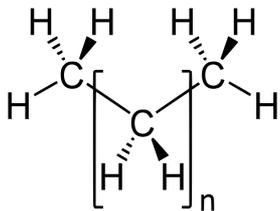


Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

CONTAMINANTE:

Se refiere a CUALQUIER sustancia o energía que, debido a sus propiedades particulares, tenga la capacidad de Alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio.



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente

Sustancias Potencialmente Contaminantes

- Hidrocarburos y derivados del petróleo
 - Combustibles (GRO, DRO, ORO, BTEX, PAHs)
 - Solventes (halogenados y no halogenados)
- Intermediarios industriales
- Pesticidas
- Explosivos
- Bifenilos policlorados (PCBs)
- Dibenzodioxinas y Dibenzofuranos Policlorados
- Metales e Inorgánicos
- Radiactivos

Definiciones Generales



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

SITIO POTENCIALMENTE CONTAMINADO

Lugar donde se tiene una sospecha plausible de la presencia de sustancias contaminantes

SITIO AFECTADO

Presencia medible de Sustancias Contaminante en la matriz suelo.

SITIO CONTAMINADO

Presencia de sustancias contaminantes, en la matriz suelo, provenientes de actividades antrópicas, en concentraciones que puedan causar un riesgo inaceptable

Evaluación Ambiental Fase I (ASTM E-1527-21)



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Objetivo: Determinar el potencial de existencia de contaminación en un sitio.

Procedimiento: Identificación de “*Condiciones Ambientales Reconocidas*”

Proceso metódico y estandarizado



Condición Ambiental Reconocida

Definición (ASTM E-1527-21)

“(1) la presencia de sustancias peligrosas o productos derivados del petróleo dentro, sobre o en la propiedad en cuestión como consecuencia de una liberación al medio ambiente; (2) la probable presencia de sustancias peligrosas o productos derivados del petróleo dentro, sobre o en la propiedad en cuestión como consecuencia de una liberación o posible liberación al medio ambiente; o (3) la presencia de sustancias peligrosas o productos derivados del petróleo dentro, sobre o en la propiedad en cuestión en condiciones que representan una amenaza material de una futura liberación al medio ambiente.”



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente



Condición Ambiental Reconocida



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

ATENCIÓN!!!

Es muy importante anotar que la existencia de una Condición Ambiental Reconocida NO significa que el lugar se encuentra contaminado, ni es prueba directa de contaminación; simplemente, se considera como una condición orientativa para centrar los esfuerzos de investigación en las zonas donde éstas se identifiquen.



Proceso de Investigación

- Inspección del Lugar
- Revisión de Registros Documentales
 - Investigación Histórica, geográfica e hidrogeológica (información secundaria)
 - Investigación documental (Autoridades Ambientales, Locales, etc)
- Entrevistas con Personal relacionado con las actividades ocurridas en el sitio
- Determinación de Sustancias/Compuestos de Interés



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente



Evaluación Ambiental Fase II (ASTM E-1903-19)



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Objetivo: Caracterización del Sitio -

Procedimiento: Procesos de recolección de información primaria, directa o indirecta

Respuesta a las preguntas ¿Qué Hay?, ¿Dónde Está?, ¿Cuánto Hay? y ¿Para Dónde va?



Caracterización de Sitios



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Información Primaria.

- Procedimientos de obtención de información de manera DIRECTA en el sitio sujeto de Investigación
- Procesos de Muestreo de Medios Ambientales
 - Muestreo de Suelos
 - Muestreo de Aguas Subterráneas
- Determinaciones Analíticas
- Determinaciones Espaciales



Qué Hay?



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Identificación del (los) contaminante(s).

Determinación de la “**identidad**” del (los) contaminantes(s)

Mezclas

Sinérgias

Interacción negativa

Interacción positiva

Determinación de las **Fuentes**

Qué Hay?



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Fuentes de Contaminación

Fuente “Activa”

Lugar o área de donde “surge” el(los) contaminante(s) de manera continua y permanente reemplazando a aquellos que se hayan desplazado o transformado (p. ej. USTs con escapes)

Fuente “Pasiva”

Lugar o área de donde “surge” el(los) contaminante(s), derivada de una alta concentración/pureza inicial, pero que no tiene un carácter permanente (se “acaba”), fungiendo como punto inicial de la dispersión.

Dónde Está?



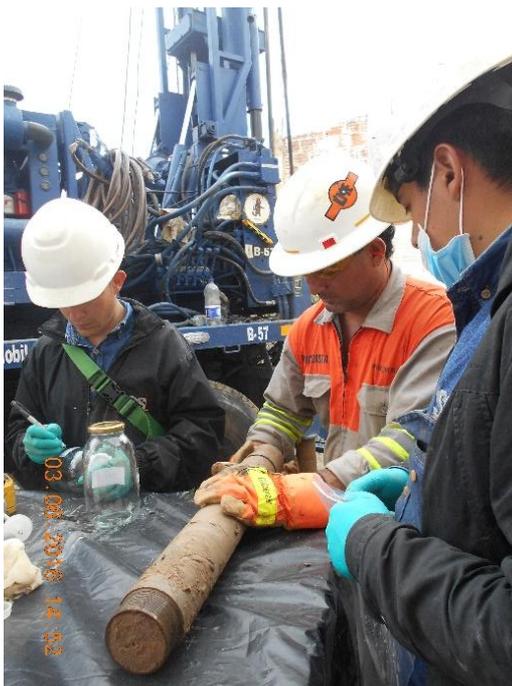
cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente



Identificación de la localización del (los) contaminante(s).

Planteamiento de un “Plan de Muestreo”

Determinación del Número de Muestras a ser tomadas

Determinación del Sitio donde deben ser tomadas

Puntos de Muestreo (muestras en suelo)

Pozos de Monitoreo de aguas subterráneas (muestras de suelo, nivel freático)

Dónde Está?

Diseño del Plan de Muestreo (**Probabilístico**)

Aproximación basada en Estadística (IC \geq 95%)

- Como regla general, entre menos uniforme sea la distribución espacial de la concentración de contaminante(s), mayor será el número de muestras que se deben tomar para poder dar una “representación” de dicha distribución.

Diversas metodologías de “distribución” de las muestras

- Aleatorio Simple
- Estratificado
- Por "agrupaciones"
- Sistemático



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Cuánto Hay?



Certificado de análisis

Número de proyecto	Número de certificado/versión	2013019142/1
Nombre de proyecto	Fecha de inicio	18-02-2013
Número de pedido	Fecha de informe	22-02-2013/14:18
Fecha de muestreo	Anexo	R,C
Tomamuestras	Página	1/4

Aguas: Aguas subterráneas

análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Pretratamiento de muestra						
Filtración 0,45 µm	Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado	Ejecutado	
Metales						
Plomo (Pb)	µg/L	7.1	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Hidrocarburos Monocromáticos						
Benceno	µg/L	0.38	37	<0.20	<0.20	<0.20
Tolueno	µg/L	<0.20	23	<0.20	<0.20	0.29
Etilbenceno	µg/L	<0.20	840	<0.20	<0.20	<0.20
o-Xileno	µg/L	<0.20	190	<0.20	<0.20	<0.20
m,p-Xileno	µg/L	0.30	4900	<0.20	<0.20	<0.20
Xilenos (suma)	µg/L	<0.40	5100	<0.40	<0.40	<0.40
BTEX (suma)	µg/L	<1.0	5700	<1.0	<1.0	<1.0
Caracterización de aceite						
Alifáticos >C6 - C8	mg/L	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028
Alifáticos >C6 - C8	mg/L	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028
Alifáticos >C8 - C10	mg/L	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028
Alifáticos >C10 - C12	mg/L	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028	<0.028
Alifáticos >C12 - C16	mg/L	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
Alifáticos >C16 - C21	mg/L	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
Alifáticos >C21 - C25	mg/L	<0.040	0.241	<0.040	<0.040	<0.040
Total Alifáticos	mg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Aromáticos C6 - C8	mg/L	<0.028	0.050	<0.028	<0.028	<0.028
Aromáticos >C8 - C10	mg/L	<0.028	1.9	<0.028	<0.028	<0.028
Aromáticos >C10 - C12	mg/L	<0.028	0.061	<0.028	<0.028	<0.028
Aromáticos >C12 - C16	mg/L	<0.030	0.241	<0.030	<0.030	<0.030
Aromáticos >C16 - C21	mg/L	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040
Aromáticos >C21 - C25	mg/L	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040
Total Aromáticos	mg/L	<0.20	2.0	<0.20	<0.20	<0.20
TPH	mg/L	<0.40	2.1	<0.40	<0.40	<0.40

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, HAP

No. Descripción de muestra

- 1 S1MW1
- 2 S2MW1
- 3 S3MW1
- 4 S4MW1
- 5 S5MW1

Analytico=

- 7398920
- 7398921
- 7398922
- 7398923
- 7398924

El resultado emitido por el Organismo de Investigación Científica no debe ser usado como evidencia legal.

Este certificado electrónico no puede reproducirse en su totalidad.

ForoAnalisis S.A.

Ciudad de Cali
7711 08 Avenida
P.O. Box 439
1710-00, Buenavista, Cali

Tel: +51 0324 242 43 99
Tel: +51 0324 242 43 99
E-mail: info@foroanalisis.net
www.foroanalisis.net

ForoAnalisis S.A. - CDT 70481 28
veracruz No. 141 242 14 161 501
RUC No: 30998622
SIC: 3114000102754201
RCC: 8074024



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente

Determinación de concentración(es) del (los) contaminante(s).

Cantidad de sustancia asociada al suelo o agua subterránea en fase sólida, líquida o gaseosa.

Dónde Está? Y Para Dónde Va?

Espacialización de la información de Concentración y Piezometría



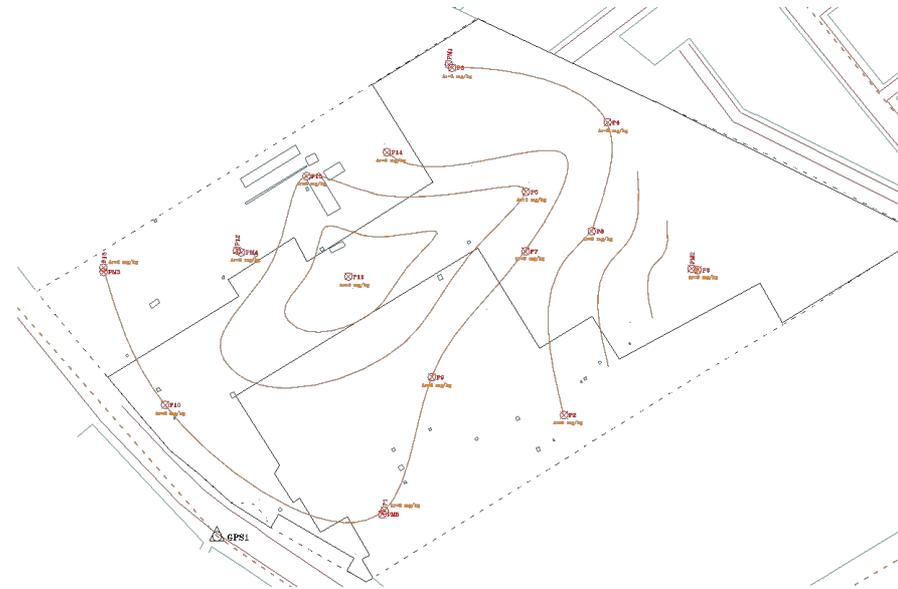
cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente



Modelo Conceptual del Sitio



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

El **Modelo Conceptual de Sitio** es una representación escrita o ilustrativa que **describe** las condiciones y procesos físicos, químicos y biológicos que **controlan** el transporte, migración e impactos potenciales asociados con la presencia de contaminantes en un medio ambiental (Sea este suelo, aire, aguas subterráneas, aguas superficiales o sedimentos) a receptores humanos y/o ecológicos.

Modelo Conceptual del Sitio



cenicaña

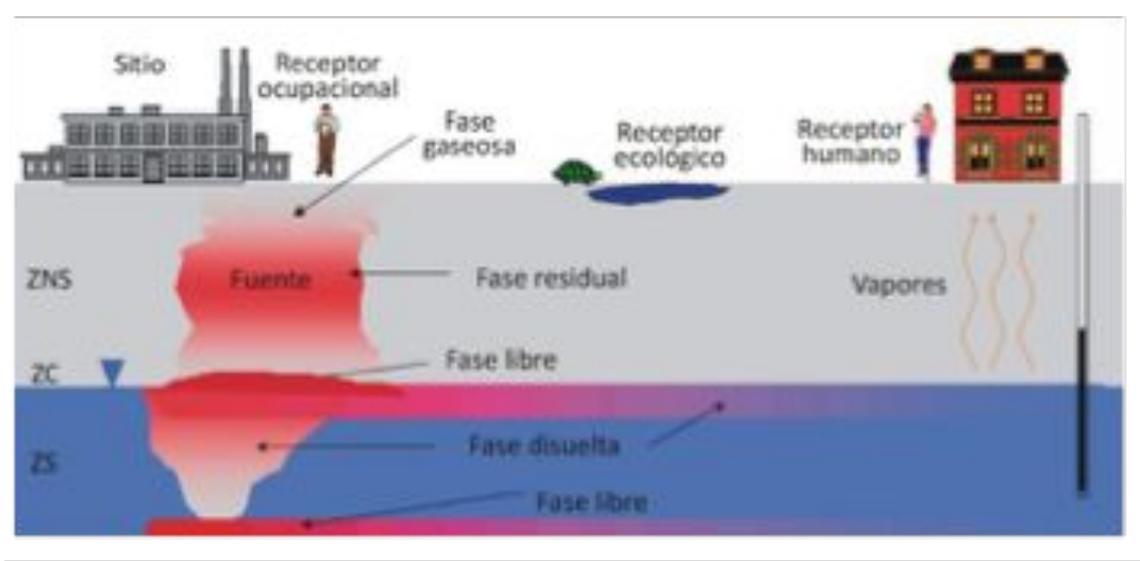
Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

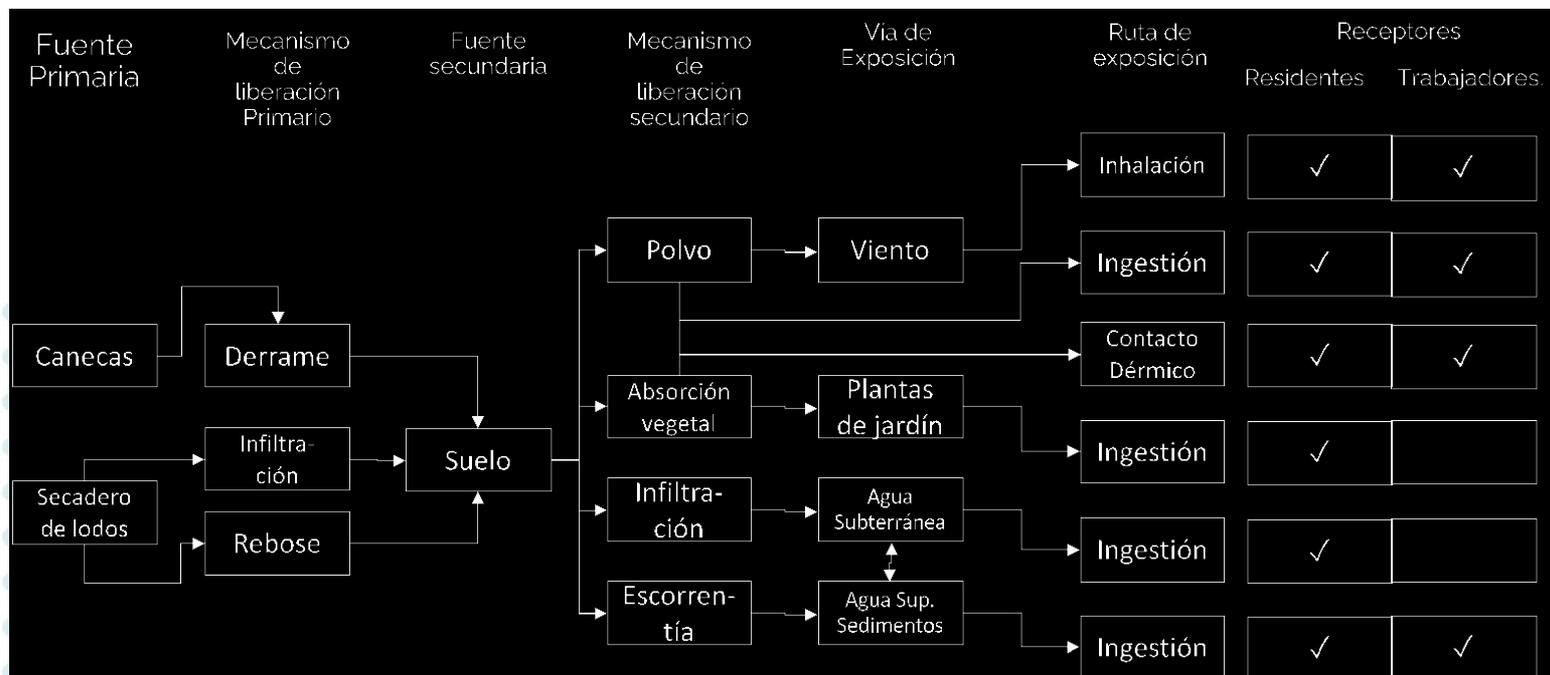
#MÁSCercadelaGente

El MCS puede representarse de modo gráfico o flujograma



Modelo Conceptual del Sitio

El MCS puede representarse de modo gráfico o flujograma



Análisis de Riesgos

RBCA ASTM E-2081



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Peligro: Toda condición (física, química o biológica) que, por sus características, pueda llegar a un organismo por exposición y alterar sus equilibrios vitales ocasionando una situación incompatible con la salud o con la vida.

Riesgo: Es la probabilidad de que se produzca un efecto indeseado a la salud de las personas, o un daño al medio ambiente, (que se materialice el peligro) como consecuencia de la presencia de alguna sustancia

Análisis de Riesgos

RBCA ASTM E-2081

Proceso escalonado (por etapas)



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

AR Nivel I

1. Definición de los potenciales CDI
2. Definición de los escenarios de exposición, duración y frecuencia de la exposición, y probabilidad de ocurrencia del escenario en la realidad (modelo conceptual).
3. Definición de receptores sensibles a los CDI.
4. Medición de concentraciones de los CDI en campo y determinación de cuales exceden los valores limite genéricos.

AR Nivel II

5. Modelamiento usando propiedades específicas del suelo/aire/agua del sitio contaminado
6. Refinamiento del conocimiento toxicológico y comportamiento de los CDI en los diferentes escenarios.
7. Modelamiento usando características específicas del sitio y valores que se asemejen a la realidad de los escenarios de exposición.
8. Cálculos de metas de remediación en función de la situación actual del sitio contaminado

AR Nivel III

9. Refinamiento de cálculos mediante el uso de modelos probabilísticos.
10. Análisis de los resultados de la modelación y su influencia en el cálculo del riesgo.
11. Reducción de la incertidumbre de los supuestos usados en la modelación.

Intervención – Remediación Gestión del Riesgo



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Objetivo: Gestionar el Sitio (“Manejo” de la condición de riesgo asociada)

Procedimiento: Diversidad de procesos. Clasificados de acuerdo a su función o Características de funcionamiento



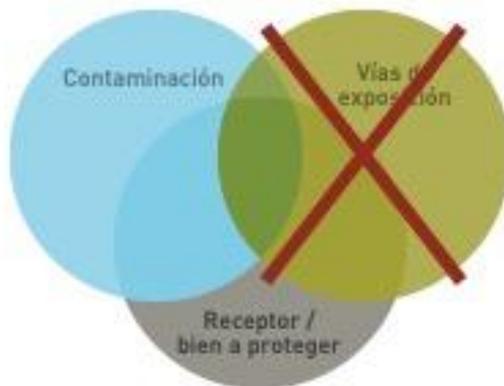
Intervención – Remediación

Gestión del Riesgo

Por Función: Medidas o Procedimientos de “Intervención” y “Contacto” con la contaminación

MEDIDAS DE ASEGURAMIENTO

Por ejemplo, encapsulamiento, confinamiento, estabilización, barreras hidráulicas, *pump and treat*, etc.



MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN

(eliminar o reducir la contaminación), por ejemplo, remoción del suelo contaminado, tratamiento *in situ*, etc.



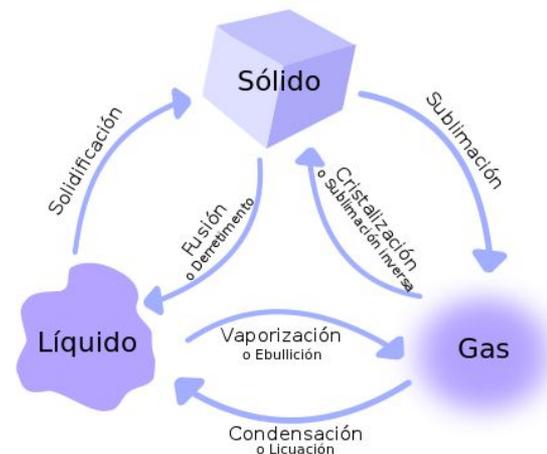
Medidas de Aseguramiento

Procedimientos de intervención cuyo objetivo es **evitar el movimiento o transporte** de contaminantes de forma tal que se logra una **disminución del nivel de exposición** a estos implicando una reducción del riesgo para la salud y el ambiente.

Procesos de tipo físico-químico o biológico cuyo principio de acción **no destruye** la fuente de contaminación:

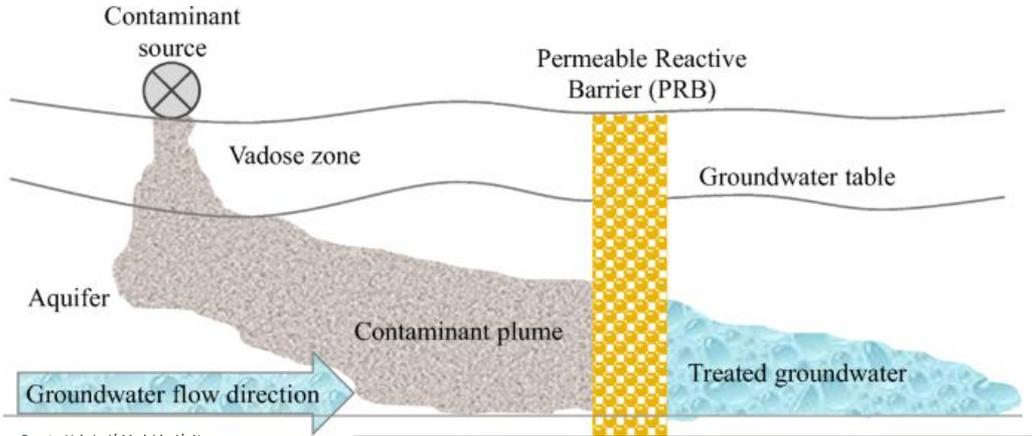
Procesos de Inmovilización:

- Precipitación
- Encapsulamiento
- Sellado
- Captura
- Cambios de Estado

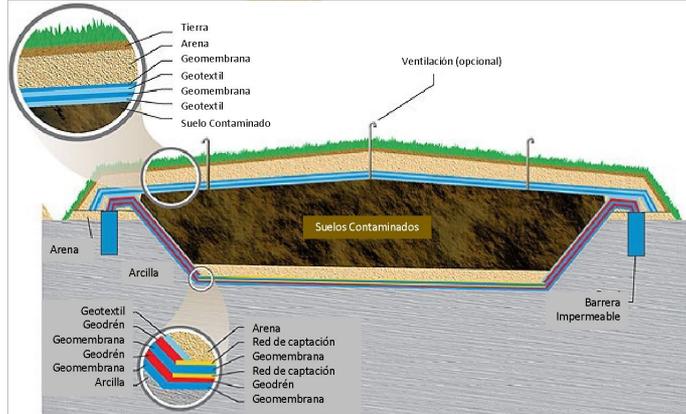


Medidas de Aseguramiento

Ejemplos Principales:



Fuente: Vukojević Medvidović, N., Nuić, I., Ugrina, M. et al. Evaluation of Natural Zeolite as a Material for Remediation of Zinc-Contaminated Groundwater Based on Column Study. *Water Air Soil Pollut* **229**, 367 (2018).
<https://doi.org/10.1007/s11270-018-4019-3>



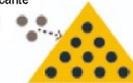
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



#MÁS CercadelaGente

Solidificación

Agente solidificante (i.e. Cemento)



Adición del agente solidificante (p. ej. Cemento)



Solidificación ocurre luego de tiempo de curado



Interrupción del contacto con la intemperie

Estabilización

Agente Estabilizante (i.e. Cal)



Adición del agente estabilizante (p. ej. Cal)



Estabilización por reacción directa con contaminante



Reacciones de movilización y disolución no ocurren debido al resultado de la estabilización (i.e cambio de estado de oxidación)

Fuente: modificado de http://www.juene.com/en/remedial-technology_mo/solidification-stabilization_my/

Fuente: <http://www.horizonenviro.com/images/horizon/confinement.jpg>

Medidas de descontaminación



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Procedimientos de intervención cuyo objeto es **eliminar o reducir los contaminantes** del sitio hasta alcanzar concentraciones que se encuentren por debajo de un Nivel de Riesgo Aceptable; pueden ser procesos de tipo físico-químico o biológico cuyo principio de acción **ataca, destruye o remueve** la fuente de contaminación.

Existen diversas técnicas y se clasifican en:

- Técnicas *in situ*: aquellas que se aplican en el propio sitio sin realizar una remoción previa de los suelos o de los otros medios contaminados.
- Técnicas *ex situ*: aquellas que se aplican después de realizar una remoción de los suelos o de los otros medios contaminados.
- Técnicas on-site: aquellas técnicas ex situ que se aplican dentro del propio predio/sitio.
- Técnicas off-site: aquellas técnicas ex situ que se realizan fuera del sitio.

Medidas de descontaminación



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



#MÁSCercadelaGente

Procesos *in-situ*

Implica llevar o aplicar el proceso exactamente en el lugar donde se encuentra la fuente de contaminación y el área de influencia.

Se distinguen por la forma en que “**atacan**” la fuente

Procesos químicos: Aquellos que se fundamentan en la reacción del contaminante con una o varias sustancias y cuyo resultado es la transformación (destrucción) del contaminante a formas menos peligrosas o inertes, sin requerir mayor intervención física en el sitio.

Procesos físicos: Procesos que aprovechan las propiedades físicas del contaminante y su entorno para removerlo del lugar donde se encuentra. Los procesos físicos normalmente se asocian con procesos complementarios ex-situ, ya sean dentro o fuera del lugar (on-, off-site).

Procesos Biológicos: Aquellos que se fundamentan en la transformación del contaminante a través de reacciones mediadas por organismos vivos, en general, con las mismas características de los procesos químicos

Medidas de descontaminación



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



#MÁSCercadelaGente

Procesos *ex-situ*

Implica intervención física en el lugar donde se encuentra la contaminación y su remoción del lugar donde se encuentra. El proceso como tal se aplica en un lugar diferente a donde se encontraba la contaminación. Por definición, los procesos ex-situ pueden ser on-site u off-site.

De igual manera, los procesos se clasifican de acuerdo al tipo de aproximación que se haga para “atacar” la fuente y se clasifican también en químicos, físicos y biológicos.

Todos los procesos ex-situ comienzan con una excavación o remoción física de la fuente de contaminante del lugar donde se encuentra y su correspondiente transporte hacia el lugar donde ocurrirá el “tratamiento”.

Algunos procesos que movilizan la fuente sin necesidad de grandes excavaciones son la Extracción de Vapores de Suelo (SVE - Soil Vapor Extraction) y el Enjuague de Suelos (Soli Flushing); que remueven el contaminante del lugar donde se encuentra y lo transportan al lugar de tratamiento.

Los demás procesos excavan el suelo comprometido y lo llevan a tratamiento.

Medidas de descontaminación

Ejemplos Principales:

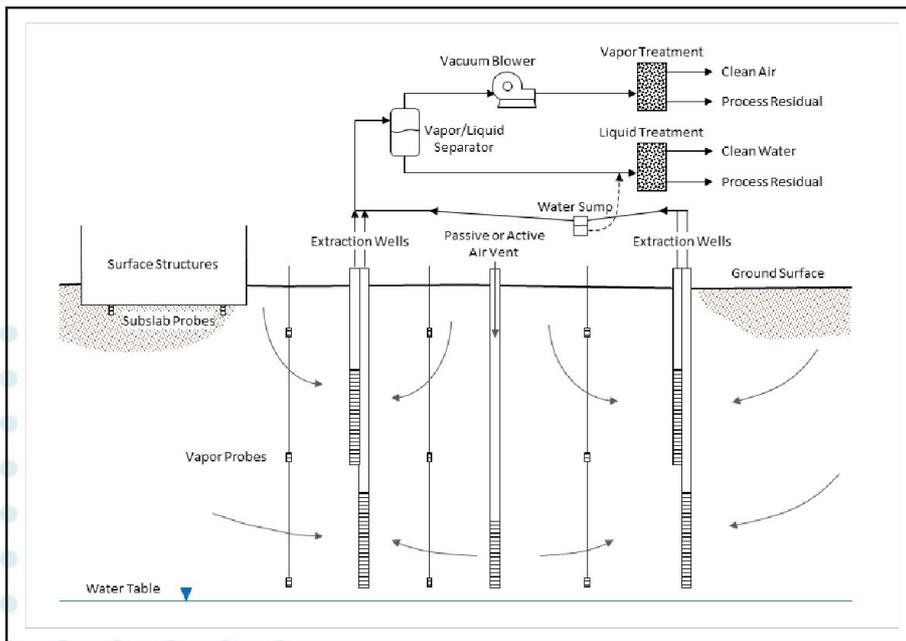


Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

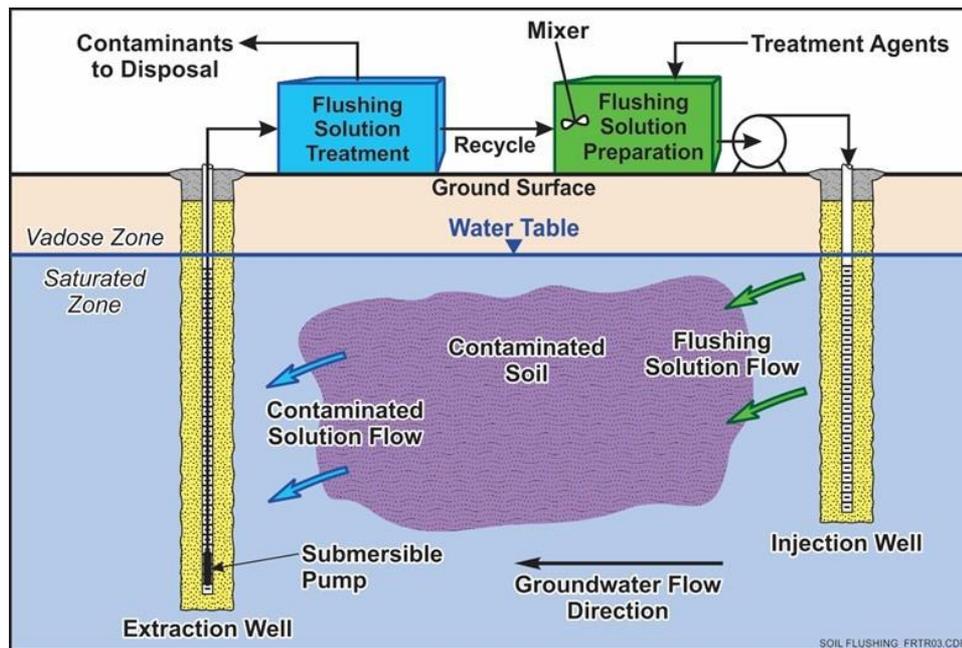


Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente



Fuente: U.S.EPA. (2018). *Engineering Issue : Soil Vapor Extraction (SVE) Technology* (Issue February). EPA/600/R-18/05360A https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=538425&Lab=NRML



Fuente: <https://frtr.gov/matrix/Soil-Flushing/>

Medidas de descontaminación

Ejemplos Principales:

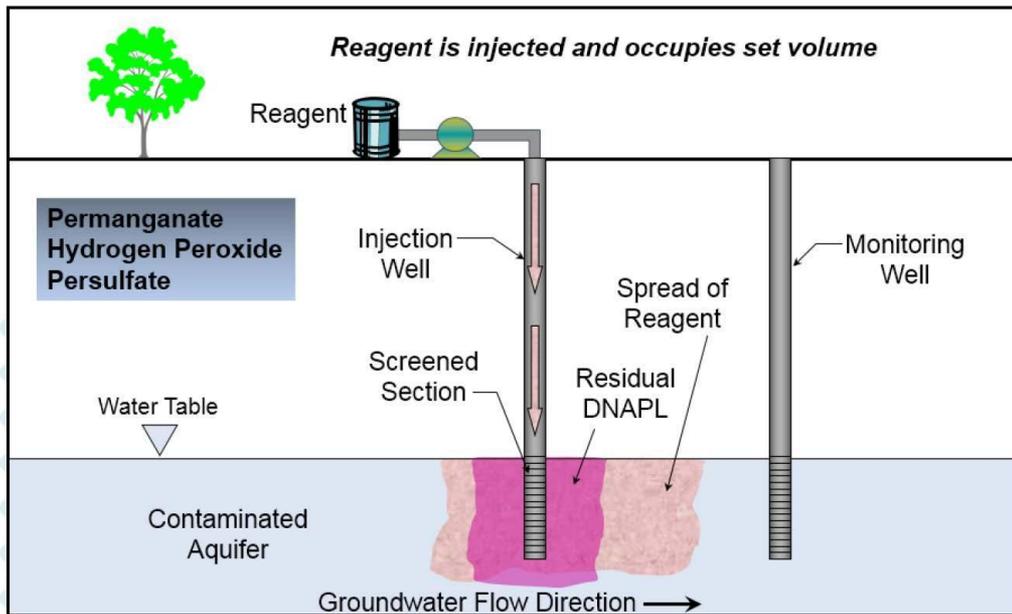


Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

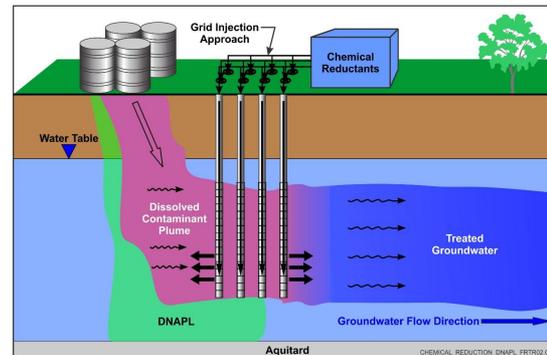
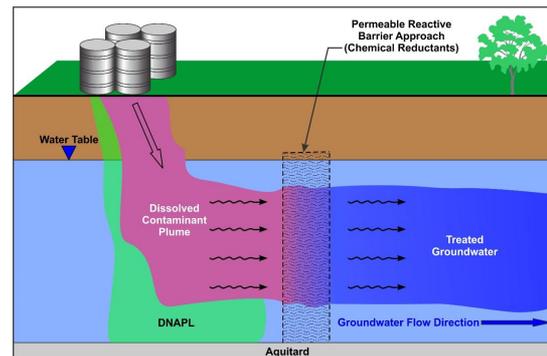


Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente



Fuente: <https://frtr.gov/matrix/In-Situ-Chemical-Oxidation/>



Fuente: <https://frtr.gov/matrix/In-Situ-Chemical-Reduction/>

Medidas de descontaminación

Ejemplos Principales:

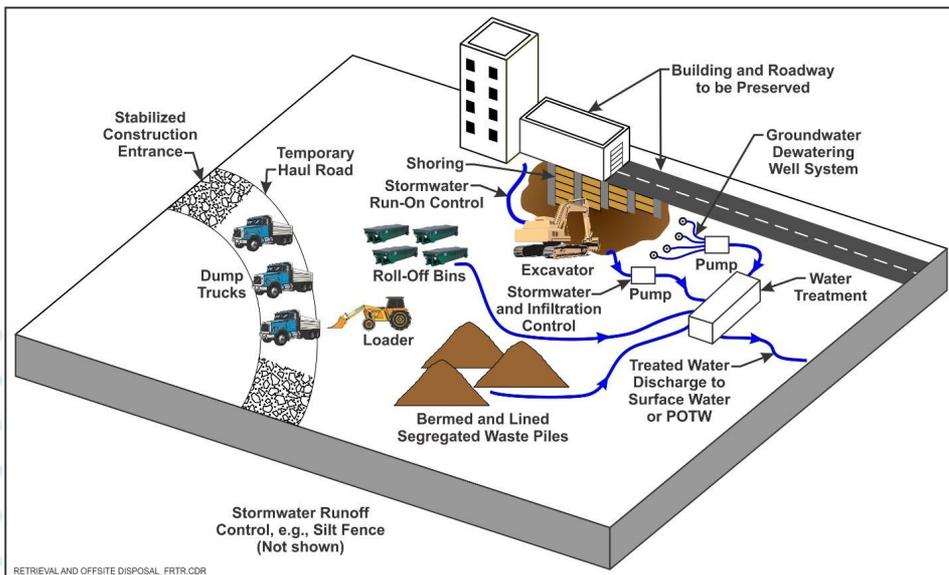


Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



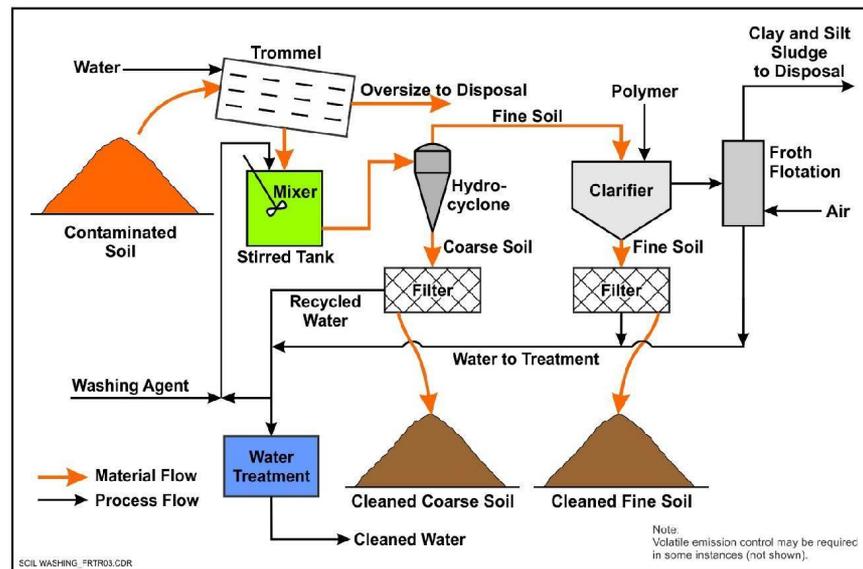
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente



RETRIEVAL AND OFFSITE DISPOSAL_FRTR.CDR

Fuente: <https://frtr.gov/matrix/Excavation-and-Off-Site-Disposal/>



SOIL WASHING_FRTR03.CDR

Fuente: <https://frtr.gov/matrix/Soil-Washing/>

Note: Volatile emission control may be required in some instances (not shown).

Medidas de descontaminación

Ejemplos Principales:

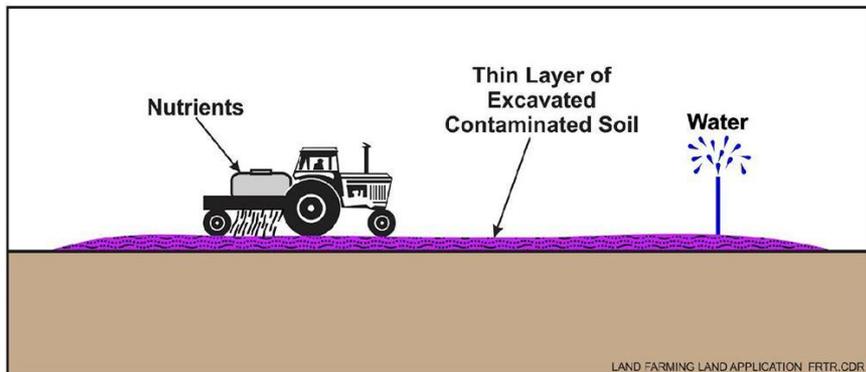


Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

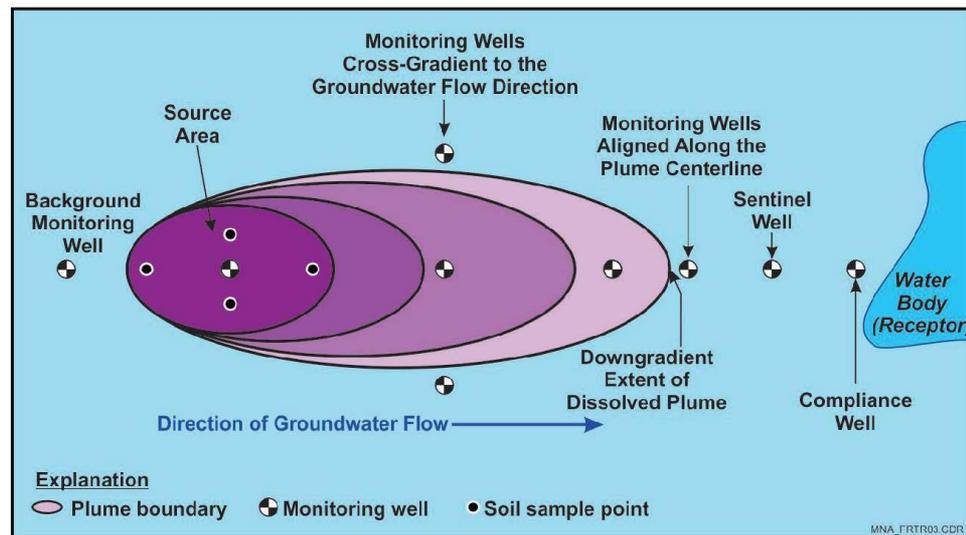


Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁS Cercade la Gente



Fuente: <https://frtr.gov/matrix/Landfarming/>



Fuente: <https://frtr.gov/matrix/Monitored-Natural-Attenuation/>



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Gracias

