



Ambiente



DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE PROYECTO DE RESOLUCIÓN

"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales NO Domésticas Tratadas (ARnD-T) al suelo, y se dictan otras disposiciones"

**DIRECCIÓN DE ASUNTOS AMBIENTALES,
SECTORIAL Y URBANA
GRUPO DE GESTION INTEGRAL DE
RESIDUOS Y PASIVOS AMBIENTALES**

Junio 2026

Tabla de contenido

1	Marco Normativo y Políticas	3
1.1	Estado normativo internacional	3
1.2	Marco normativo de sustento del instrumento	8
1.3	Política para la Gestión Sostenible del Suelo	15
2	Definiciones técnicas	19
3	Fundamento para el análisis	20
3.1	Características de los suelos	21
3.2	Categorización de suelos para un vertimiento de ARnDT	26
3.2.1	Variables	26
3.2.1.1	Variables del ARnDT	26
3.2.1.2	Variables del Suelo	27
3.2.2	Cálculo de Categoría de Vertimiento al Suelo (CVS)	27
3.2.2.1	Ejemplo práctico	30
3.3	Recopilación de información con autoridades ambientales	31
4	Parámetros y límites máximos permisibles al suelo de ARnDT	35
4.1	Impacto de los parámetros en el recurso Suelo	35
4.2	Definición de límites máximos permisibles en función de las categorías de vertimiento al suelo	49
4.3	Análisis de información de sectores productivos	54
4.4	Parámetros por sector	57
5	Bibliografía	71
6	Anexo 1	73

DOCUMENTO TÉCNICO DE RESOLUCIÓN “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales NO Domésticas Tratadas (ARnD-T) al suelo, y se dictan otras disposiciones.”

El presente documento contiene aspectos técnicos que se han desarrollado con el objeto de sustentar las disposiciones en el establecimiento de los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales al suelo de Aguas Residuales NO Domésticas Tratadas, de que trata el artículo 2.2.3.3.4.9 del Decreto 1076 del 2015.

En este documento técnico se presentan (i) las disposiciones normativas que sustentan el instrumento normativo, (ii) un breve resumen de la información de carácter internacional relacionada con el tema, (iii) aspectos normativos marco a nivel nacional que enmarcan el proceso, (iv) la conceptualización del proceso de vertimiento al suelo bajo los estándares ya establecidos en los procesos de vertimiento y los específicos a la matriz receptora suelo, y (v) los parámetros y límites máximos permisibles propuestos con sus respectivas condiciones específicas.

1 Marco Normativo y Políticas

1.1 Estado normativo internacional

A nivel internacional, particularmente en América Latina, la regulación de los vertimientos de aguas residuales al suelo y a las aguas subterráneas ha evolucionado bajo un enfoque preventivo orientado a la protección de los acuíferos, la conservación de la calidad del suelo y la gestión integral del recurso hídrico. En términos generales, los países de la región reconocen que la disposición de aguas residuales al suelo constituye una actividad con potencial de afectación ambiental, especialmente por los riesgos de infiltración de contaminantes hacia las aguas subterráneas, razón por la cual han desarrollado esquemas regulatorios que combinan permisos, estándares de calidad, restricciones territoriales y criterios técnicos de localización.

En este contexto, la experiencia latinoamericana constituye un referente importante para el análisis y sustento normativo de la regulación colombiana en materia de vertimientos al suelo, particularmente en relación con la necesidad de considerar las condiciones ambientales y territoriales del área receptora, incluso en sistemas individuales de saneamiento o en esquemas simplificados de gestión ambiental.

En el caso de **México**, la regulación incorpora un enfoque explícito de protección de acuíferos frente a procesos de infiltración y disposición al suelo. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente establece que no podrán infiltrarse aguas residuales en el suelo o subsuelo sin tratamiento previo y autorización de la autoridad competente, reconociendo expresamente el riesgo de contaminación de mantos acuíferos. Así mismo, la normativa mexicana exige que las descargas e infiltraciones no afecten las condiciones ambientales del subsuelo ni las captaciones de agua subterránea.

Particularmente relevante resulta la NOM-015-CONAGUA-2007, la cual regula las actividades de infiltración artificial al suelo y subsuelo. Esta norma establece obligaciones relacionadas con:

- Caracterización del suelo.
- Protección de acuíferos.
- Restricciones en zonas de riesgo geotécnico.
- Protección de áreas naturales protegidas.
- Monitoreo de aguas subterráneas.
- Prevención de contaminación de predios y captaciones cercanas.

La norma mexicana evidencia que la disposición al suelo no es considerada únicamente un asunto hidráulico o sanitario, sino también territorial y ambiental, en la medida en que la viabilidad de la infiltración depende de las características del suelo, del entorno ambiental y de la sensibilidad hidrogeológica del área receptora.

Chile constituye otro referente relevante, dado que cuenta con regulación específica para descargas a aguas subterráneas mediante infiltración. El Decreto Supremo 46 de 2002 establece normas de emisión aplicables a residuos líquidos descargados al subsuelo, fijando concentraciones máximas permisibles y obligaciones de monitoreo orientadas específicamente a prevenir la contaminación de acuíferos.

El modelo chileno reconoce expresamente que las descargas al suelo pueden generar impactos sobre zonas saturadas y aguas subterráneas, razón por la cual exige:

- Evaluación de la vulnerabilidad hidrogeológica.
- Control de infiltración.
- Programas de monitoreo.
- Medición periódica de contaminantes.
- Fiscalización técnica especializada.

Este enfoque resulta particularmente importante porque diferencia los vertimientos al suelo de los vertimientos superficiales, reconociendo que los mecanismos de transporte y persistencia de contaminantes en el subsuelo requieren controles específicos.

En **Argentina**, la Ley 25.688 de Gestión Ambiental de Aguas incorpora las aguas subterráneas dentro del régimen de protección hídrica y considera expresamente como uso del agua la introducción o vertido de sustancias en aguas subterráneas. La legislación argentina adopta un enfoque de gestión integral del recurso hídrico, bajo el cual las actividades de vertimiento deben evaluarse considerando la preservación de la calidad del agua y los riesgos asociados a contaminación del subsuelo. Aunque el país presenta regulación descentralizada entre provincias, existe una tendencia común orientada a exigir autorización ambiental y control técnico para actividades que impliquen infiltración o disposición de efluentes al suelo.

En **Perú**, el régimen jurídico de aguas residuales se estructura bajo un sistema de autorizaciones y control de vertimientos administrado por la Autoridad Nacional del Agua – ANA. La regulación peruana reconoce el vertimiento y la reutilización de aguas residuales tratadas como actividades sujetas a control ambiental, incorporando criterios de protección de cuerpos de agua y de acuíferos.

El análisis doctrinal y normativo peruano evidencia que la gestión de aguas residuales se encuentra vinculada al ordenamiento ambiental del territorio y a la prevención de afectaciones derivadas de infiltraciones o disposición inadecuada en el suelo. Adicionalmente, Perú ha avanzado en esquemas de reúso de aguas residuales tratadas, particularmente para actividades agrícolas, bajo controles técnicos y sanitarios.

Brasil, aunque posee un esquema regulatorio altamente descentralizado, ha venido fortaleciendo la regulación asociada al reúso y disposición controlada de aguas residuales tratadas, especialmente en el marco de políticas de economía circular del agua y protección de acuíferos. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos – OCDE destaca que Brasil ha desarrollado lineamientos nacionales para el reciclaje de efluentes sanitarios, articulados con estándares ambientales y de salud pública.

De manera general, los estudios regionales sobre regulación de vertimientos y reúso en América Latina muestran que existe una tendencia común hacia:

- La incorporación de criterios de protección de aguas subterráneas.
- La evaluación de la capacidad de asimilación del suelo.
- El establecimiento de restricciones territoriales o ambientales.
- La necesidad de monitoreo y seguimiento.
- El control de infiltraciones y recarga artificial.
- La articulación entre saneamiento, ordenamiento territorial y protección ambiental.

Así mismo, se evidencia que varios países han adoptado enfoques diferenciados para vertimientos al suelo respecto de vertimientos a cuerpos de agua

superficiales, precisamente por el riesgo de contaminación difusa y por la complejidad de recuperación de acuíferos contaminados.

Fuera de América Latina, diversos países y bloques regulatorios han desarrollado marcos normativos avanzados para el manejo de vertimientos de aguas residuales al suelo y a las aguas subterráneas, principalmente bajo enfoques de protección de acuíferos, prevención de contaminación difusa, reúso seguro del agua y gestión descentralizada del saneamiento. Estas experiencias constituyen referentes técnicos y regulatorios relevantes para el fortalecimiento del marco colombiano en materia de vertimientos al suelo y disposición de aguas residuales tratadas.

Uno de los referentes más importantes corresponde a la **Unión Europea**, donde la regulación de aguas residuales y protección de aguas subterráneas se desarrolla bajo un enfoque ecosistémico e integral del recurso hídrico. La Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) establece como principio central prevenir el deterioro del estado ecológico y químico de las aguas superficiales y subterráneas, incluyendo aquellas afectaciones derivadas de infiltraciones o descargas indirectas al subsuelo.

En el marco europeo, la disposición de aguas residuales al suelo no es considerada únicamente una actividad de saneamiento, sino también una actividad potencialmente generadora de contaminación de acuíferos y degradación ambiental, razón por la cual los Estados miembros deben evaluar:

- Vulnerabilidad hidrogeológica.
- Capacidad de asimilación del suelo.
- Riesgos de infiltración de nutrientes y patógenos.
- Proximidad a captaciones de agua subterránea.
- Compatibilidad territorial y ambiental.

Adicionalmente, la Directiva sobre aguas subterráneas (2006/118/CE) fortalece el enfoque preventivo frente a infiltraciones contaminantes, exigiendo medidas orientadas a evitar la introducción de sustancias peligrosas en acuíferos y cuerpos subterráneos. Este modelo europeo ha consolidado el principio según el cual la infiltración al suelo constituye una vía indirecta de contaminación hídrica que requiere control técnico y monitoreo ambiental permanente.

Alemania constituye uno de los casos más desarrollados dentro de Europa. Su regulación combina exigencias nacionales y comunitarias bajo el principio de “mejor tecnología disponible” y protección preventiva de cuerpos receptores. La normativa alemana reconoce expresamente que las descargas al suelo y al subsuelo deben evaluarse considerando la capacidad de protección natural del terreno y la sensibilidad de las aguas subterráneas.

El modelo alemán ha sido particularmente relevante en el desarrollo de esquemas de reúso, infiltración controlada y recuperación de nutrientes,

especialmente fósforo y nitrógeno, asociados al tratamiento descentralizado de aguas residuales. Además, Alemania ha fortalecido las obligaciones relacionadas con monitoreo y control de contaminantes emergentes, particularmente PFAS, microcontaminantes y residuos farmacéuticos.

En **Estados Unidos**, la regulación de sistemas descentralizados y disposición de aguas residuales al suelo constituye uno de los desarrollos técnicos más amplios a nivel internacional. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos – EPA reconoce que los sistemas sépticos y sistemas descentralizados de tratamiento utilizan el suelo como componente fundamental del tratamiento final del efluente.

Por esta razón, la regulación estadounidense exige criterios estrictos relacionados con:

- Tipo y permeabilidad del suelo.
- Profundidad del nivel freático.
- Densidad de sistemas instalados.
- Distancias a cuerpos de agua y pozos.
- Monitoreo de acuíferos.
- Gestión de cargas hidráulicas y orgánicas.

La EPA ha desarrollado manuales técnicos especializados sobre "*Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems*", considerados referentes internacionales en diseño, evaluación y control de sistemas individuales de tratamiento y disposición al suelo.

Un aspecto especialmente relevante en Estados Unidos corresponde al fortalecimiento reciente de controles sobre contaminantes emergentes asociados a biosólidos y reúso de aguas residuales, particularmente PFAS ("*forever chemicals*"), reconociéndose riesgos potenciales de acumulación en suelos agrícolas y migración hacia aguas subterráneas. Esta discusión ha reforzado internacionalmente la necesidad de controles preventivos sobre infiltración y aplicación al suelo de residuos líquidos y biosólidos.

Australia constituye otro referente importante debido a sus condiciones de estrés hídrico y amplio desarrollo de esquemas de reúso de aguas residuales tratadas. Las "*Australian Guidelines for Water Recycling*" establecen lineamientos técnicos estrictos para el reúso y disposición de aguas residuales tratadas, incluyendo infiltración al suelo y recarga de acuíferos.

El modelo australiano incorpora:

- Evaluación de riesgo sanitario y ambiental.
- Protección de acuíferos.
- Restricciones por vulnerabilidad hidrogeológica.
- Evaluación de salinidad y sodicidad del suelo.
- Monitoreo continuo.
- Gestión adaptativa del riesgo.

Particularmente relevante es el enfoque australiano de “*fit for purpose*”, según el cual la calidad requerida del agua residual tratada depende del tipo de uso o disposición final, incluyendo condiciones específicas para infiltración y contacto con aguas subterráneas.

En **Canadá**, las provincias han desarrollado regulaciones específicas para descargas al suelo, orientadas principalmente a la protección de aguas subterráneas y abastecimientos de agua potable. El enfoque canadiense prioriza:

- Distancias mínimas a pozos y acuíferos.
- Evaluación del suelo.
- Restricciones en zonas vulnerables.
- Mantenimiento obligatorio de sistemas.
- Supervisión local y provincial.

En términos generales, la experiencia comparada internacional evidencia varios elementos comunes en la regulación de vertimientos al suelo y aguas subterráneas:

1. El suelo es entendido no solo como receptor, sino como componente activo del tratamiento ambiental.
2. Existe reconocimiento expreso del riesgo de contaminación indirecta de acuíferos mediante infiltración.
3. La localización y características del predio son determinantes para la viabilidad ambiental de la disposición al suelo.
4. Los sistemas individuales o descentralizados no están exentos de control ambiental, aun cuando existan esquemas simplificados o excepciones de permisos.
5. El monitoreo y seguimiento ambiental constituyen elementos esenciales de gestión.
6. Existe articulación entre saneamiento, ordenamiento territorial, gestión del recurso hídrico y protección ambiental.
7. Se ha fortalecido el control sobre contaminantes emergentes y persistentes asociados al reúso e infiltración de aguas residuales.

En consecuencia, el análisis comparado evidencia que la tendencia internacional no consiste en eliminar completamente los controles asociados a la disposición de aguas residuales al suelo, sino en adoptar esquemas diferenciados y proporcionales de regulación, basados en evaluación de riesgos ambientales, protección de acuíferos y gestión preventiva del territorio.

1.2 Marco normativo de sustento del instrumento

Las disposiciones de orden constitucional están dadas por el artículo 49 de la Constitución Política, en la que se establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado; así mismo, en los artículos 79 y 80 se

establece como obligación del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, fomentar la educación ambiental, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

De igual manera, las disposiciones legales de sustento se enmarcan en los numerales 2, 10, 11, 14 y 25 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 y el artículo 2.2.3.3.4.7. del Decreto 1076 del 2015:

- El artículo 5 de la Ley 99 de 1993 establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene entre sus funciones, regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural (numeral 2); determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general sobre medio ambiente a las que deberán sujetarse los centros urbanos y asentamientos humanos y las actividades mineras, industriales, de transporte y en general todo servicio o actividad que pueda generar directa o indirectamente daños ambientales (numeral 10); dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir las contaminaciones geosférica, hídrica, del paisaje, sonora y atmosférica, en todo el territorio nacional (numeral 11); definir y regular los instrumentos administrativos y mecanismos necesarios para la prevención y el control de los factores de deterioro ambiental y determinar los criterios de evaluación, seguimiento y manejo ambientales de las actividades económicas (numeral 14); y entre otros más, establecer los límites máximos permisibles de emisión, descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualquier otra materia que pueda afectar el medio ambiente o los recursos naturales renovables; del mismo modo, prohibir, restringir o regular la fabricación, distribución, uso, disposición o vertimiento de sustancias causantes de degradación ambiental. Los límites máximos se establecerán con base en estudios técnicos, sin perjuicio del principio de precaución (numeral 25).
- El artículo 2.2.3.3.4.7. del Decreto 1076 de 2015, señala que le corresponde al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible fijar los parámetros y límites máximos permisibles que deberán cumplir los vertimientos al suelo.

Además de lo anterior, se sustenta el proyecto de resolución en las siguientes determinaciones normativas:

El artículo 3 del Decreto Ley 2811 de 1974 -Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente - establece que la tierra, el suelo y el subsuelo son de regulación, para dar cumplimiento a los



Ambiente

objetos establecidos en el artículo 2 del mismo Código fundamentado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos. Por su parte, el artículo 8 de este mismo Decreto Ley considera como factor que deteriora el ambiente, entre otros, la contaminación del aire, de las aguas, el suelo y de los demás recursos naturales renovables, en los términos establecidos en el artículo 4 de la Ley 23 de 1973 y lo incorporado en el Decreto Ley 2811 de 1974 de la siguiente manera: *se entiende por contaminación la alteración del ambiente con sustancias o formas de energía puestas en él, por actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del ambiente de los recursos de la nación o de los particulares.*

El artículo 145 del Decreto Ley 2811 de 1974 - Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente - establece que cuando las aguas servidas no puedan llevarse a sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique los suelos. Asimismo, el artículo 178 de este mismo Decreto determina que *los suelos del territorio nacional deberán usarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos*, y en el artículo 179 del mismo Código, se establece que *el aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora.*

El Decreto-Ley 3570 de 2011, en su artículo 2, literal 2 establece como funciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, además de las determinadas en la Constitución Política, en el artículo 59 de la Ley 489 de 1998 y en las demás leyes, *diseñar y regular las políticas públicas y las condiciones generales para el saneamiento del ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural, en todos los sectores económicos y productivos.*

Ley 1537 de 2012 en el parágrafo 2° del artículo 29 establece que *"En el sector rural para soluciones individuales de saneamiento básico la infiltración de residuos líquidos no requerirá permiso de vertimiento, siempre y cuando no se afecte la calidad del agua del acuífero en condiciones tales que impidan los usos actuales."*

Ley 1753 de 2015, en su artículo 99 establece lo siguiente: *"Modifíquese el parágrafo 2° del artículo 29 de la Ley 1537 de 2012, el cual quedará así: "PARÁGRAFO 2°. Para las viviendas dispersas localizadas en áreas rurales con soluciones individuales de saneamiento básico para la gestión de sus aguas residuales domésticas definidos, tales como sistemas sépticos y que cumplan desde su diseño con los parámetros definidos en el reglamento técnico del sector*



de agua potable y saneamiento básico, no requerirán de la obtención del permiso de vertimientos. Lo dispuesto en el presente párrafo, también aplicará para los proyectos que desarrolle el Fondo de Adaptación, en el ejercicio de sus competencias”.

El Decreto 1449 de 1977 establece en el artículo 4 que “Los propietarios de predios de más de 50 hectáreas deberán mantener en cobertura forestal por lo menos un 10% de su extensión, porcentaje que podrá variar el Inderena cuando lo considere conveniente. Para establecer el cumplimiento de esta obligación se tendrá en cuenta la cobertura forestal de las áreas protectoras a que se refiere el numeral 1 del artículo 3 de este Decreto y de aquellas otras en donde se encuentran establecidas cercas vivas, barreras cortafuegos o protectoras de taludes, de vías de comunicación o de canales que estén dentro de su propiedad”. Y en el artículo 7 define lo siguiente:

“En relación con la protección y conservación de los suelos, los propietarios de predios están obligados a:

- 1. Usar los suelos de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos de tal forma que se mantenga su integridad física y su capacidad productora, de acuerdo con la clasificación agrológica del IGAC y con las recomendaciones señaladas por el ICA, el IGAC y el Inderena.*
- 2. Proteger los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos, que eviten la salinización, compactación, erosión, contaminación o revenimiento y, en general, la pérdida o degradación de los suelos.*
- 3. Mantener la cobertura vegetal de los terrenos dedicados a ganadería, para lo cual se evitará la formación de caminos de ganado o terracetas que se producen por sobrepastoreo y otras prácticas que traigan como consecuencia la erosión o degradación de los suelos.*
- 4. No construir o realizar obras no indispensables para la producción agropecuaria en los suelos que tengan esta vocación.*
- 5. Proteger y mantener la vegetación protectora de los taludes de las vías de comunicación o de los canales cuando dichos taludes estén dentro de su propiedad, y establecer barreras vegetales de protección en el borde de los mismos cuando los terrenos cercanos a estas vías o canales no puedan mantenerse todo el año cubierto de vegetación.*
- 6. Proteger y mantener la cobertura vegetal a lado y lado de las acequias en una franja igual a dos veces al ancho de la acequia.”*

El Decreto 50 de 2018, en su artículo 6, que modifica el artículo 2.2.3.3.4.9 del decreto 1076 de 2015 el cual establece la información adicional que debe contener la solicitud para permiso de vertimiento de aguas domésticas tratadas y aguas residuales no domésticas tratadas al suelo, incluyendo los parámetros para la caracterización fisicoquímica y biológica del suelo, relacionada con el área de vertimiento de agua residual no doméstica tratada.

La Ley 1955 de 2019, en su artículo 13 establece que *solo requiere permiso de vertimiento la descarga de aguas residuales a las aguas superficiales, a las aguas marinas o al suelo; mientras que en el artículo 279 consagró que las soluciones individuales de saneamiento básico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes de viviendas rurales dispersas que sean diseñados bajo los parámetros definidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, no requerirán permiso de vertimientos al suelo; no obstante deberán ser registros de vertimientos al suelo que para tales efectos reglamente el Gobierno Nacional.*

El artículo 2 del Decreto 1688 del 2020, adicionó el parágrafo 3 al artículo 2.3.7.1.3.1. de la Sección 3, del Capítulo 1, del Título 7, de la Parte 3, del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, estableciendo que *le corresponde al municipio o distrito, donde se ubiquen viviendas u otra infraestructura o equipamientos en zonas rurales en las que no se cuente con disponibilidad de servicios de acueducto o alcantarillado la emisión de certificaciones sobre el cumplimiento de los requisitos técnicos establecidos para las soluciones en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.*

Ahora bien, específicamente en el tema de vertimientos al suelo, se tiene lo siguiente:

El vertimiento de aguas residuales domésticas o no domésticas a una matriz receptora es considerado como aprovechamiento de recursos naturales, por lo tanto es regulado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y se consagra en el Decreto 1076 del 2015 en el Capítulo 3 de Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos, cuyo objeto se establece en el artículo 2.2.3.3.1.1: *El presente capítulo establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.*

En consideración al marco nacional normativo vigente, es conveniente resaltar aspectos que condicionan el vertimiento al suelo de manera específica:

Decreto 1232 de 2020 "Por medio del cual se adiciona y modifica el artículo 2.2.1.1 del Título 1, se modifica la Sección 2 del Capítulo 1 del Título 2 y se adiciona al artículo 2.2.4.1.2.2 de la sección 2 del capítulo 1 del Título 4, de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con la planeación del ordenamiento territorial": en su artículo 1 presenta la definición de vivienda rural dispersa como *unidad habitacional localizada en el suelo rural de manera aislada que se encuentra asociada a las formas de vida del campo y no hace parte de centros poblados rurales ni de parcelaciones destinadas a vivienda campestre.*

El marco normativo actual establece el vertimiento de aguas residuales como

un aprovechamiento de recursos naturales, el cual es regulado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Las regulaciones iniciales en la materia se dieron mediante el Decreto Ley 2811 de 1974, posteriormente la Ley 9 de 1979, luego el Decreto 1594 de 1984 y finalmente se consagra en el Decreto 1076 del 2015 en el Capítulo 3 de Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos, cuyo objeto se establece en el artículo 2.2.3.3.1.1: *"El presente capítulo establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados"*.

Actualmente, el desarrollo normativo ha regulado, en la materia de vertimientos, las matrices receptoras de agua superficial, cuerpos de aguas marinas y suelo, pero solo en el caso en el que las aguas tienen un origen de tipo doméstico, siendo la actividad de verter aguas de origen no doméstico al suelo objeto del régimen de transición previsto en el artículo 2.2.3.3.9.1. en el Decreto 1076 de 2015, que contempla

"Artículo 2.2.3.3.9.1. Régimen de transición. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible fijará mediante resolución, los usos del agua, criterios de calidad para cada uso, las normas de vertimiento a los cuerpos de agua, aguas marinas, alcantarillados públicos y al suelo y el Protocolo de monitoreo de vertimientos.

Mientras el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expide las regulaciones a que hace referencia el inciso anterior, en ejercicio de las competencias de que dispone según la Ley 99 de 1993, continuarán transitoriamente vigentes los artículos 2.2.3.3.9.2 al 2.2.3.3.9.12, artículos 2.2.3.3.9.14 al 2.2.3.3.9.21 y artículos 2.2.3.3.10.1, 2.2.3.3.10.2, 2.2.3.3.10.3, 2.2.3.3.10.4, 2.2.3.3.10.5 del presente Decreto." (Decreto 3930 de 2010, art. 76; Modificado por el Decreto 50 de 2018, art. 13).

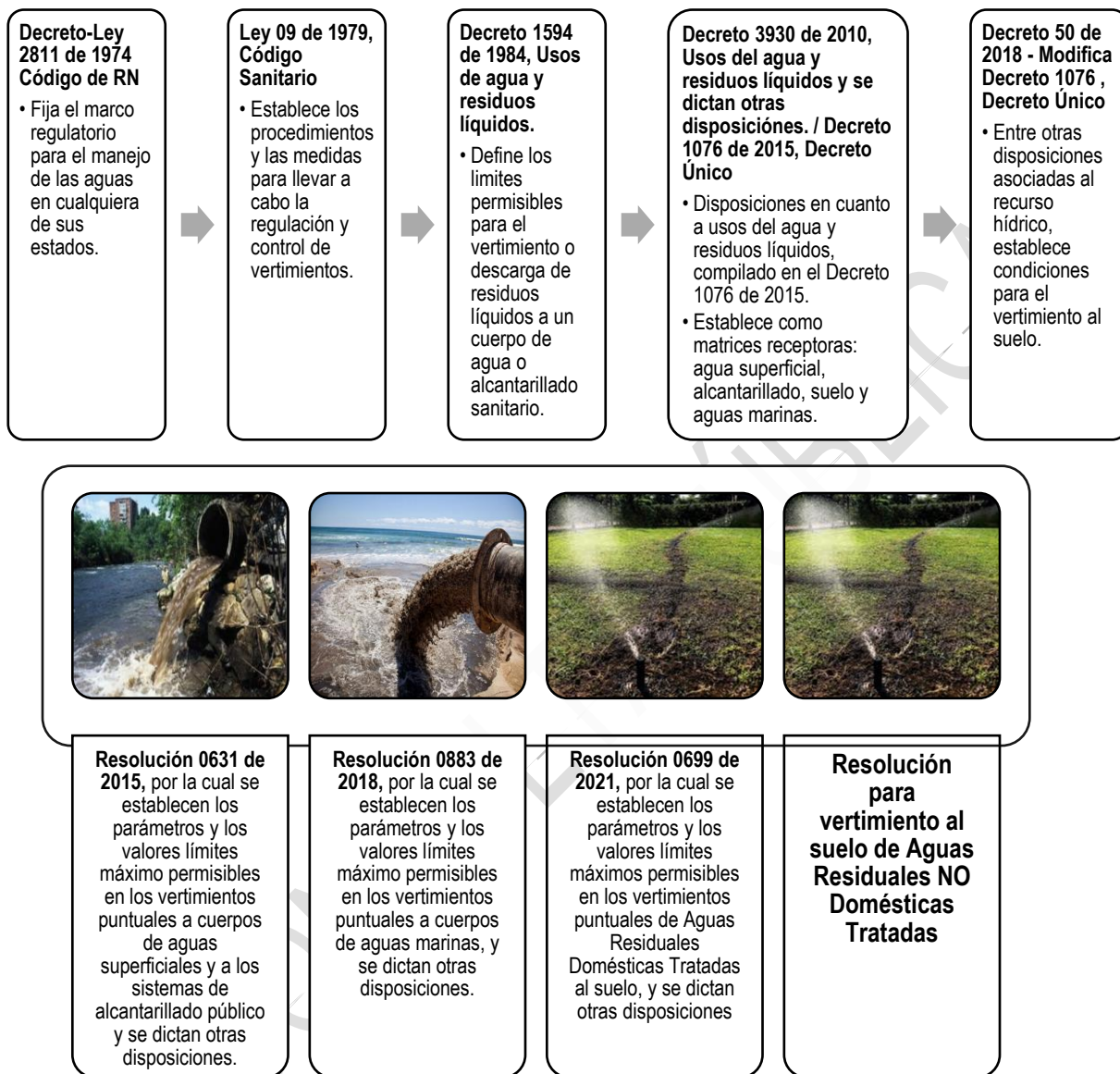
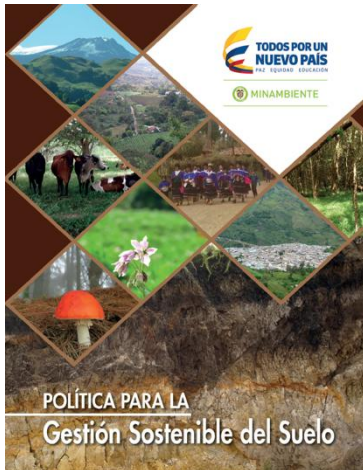


Figura 1. Esquema general del marco normativo que soporta el proyecto de resolución.

Como se observa, la Resolución 0699 de 2021 - Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximo permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas (ARD-T) al suelo, y se dictan otras disposiciones, da inicio a la reglamentación relacionada con el vertimiento de aguas residuales al suelo, en el marco del Decreto 50 de 2018; y en la cual se encuentran los límites máximo permisibles para 24 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados al vertimiento de agua residual

doméstica tratada y que son aplicables según la velocidad de infiltración básica del suelo en el área de vertimiento, acorde con la naturaleza de la vivienda.

1.3 Política para la Gestión Sostenible del Suelo



En el 2016 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la Política para la Gestión Sostenible del Suelo, la cual brinda herramientas para el manejo adecuado de este recurso buscando la convergencia de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo.

Esta política es el resultado de los convenios adelantados con la Universidad Nacional de Colombia y el IDEAM, con el apoyo de un Comité Interinstitucional conformado por representantes de diferentes entidades públicas y privadas y la academia, entre las cuales se encuentran el DNP, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la UPRA,

el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, el IGAC, Ministerio de Minas y Energía, Colciencias, Parques Nacionales Naturales de Colombia, el Servicio Geológico Colombiano, la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, la Universidad Piloto de Colombia y las Corporaciones Autónomas Regionales.

En el marco del desarrollo de la Política para la Gestión Sostenible del Suelo se realizó un diagnóstico de la problemática relacionada con la gestión sostenible; que, junto con los resultados de talleres con actores regionales y nacionales, y la aplicación de la metodología de marco lógico, sirvió como insumo para establecer los principios, objetivos y líneas estratégicas de la política.

Por su parte, el diagnóstico permitió analizar conjuntamente las relaciones entre las actividades humanas y el ambiente; y así identificar, no solo situaciones relacionadas con la sostenibilidad, sino que aportó a la identificación de la incidencia de factores socioculturales, económicos y políticos sobre la degradación del suelo. En la figura 1 se presentan los elementos identificados que influyen en la degradación.



Ambiente

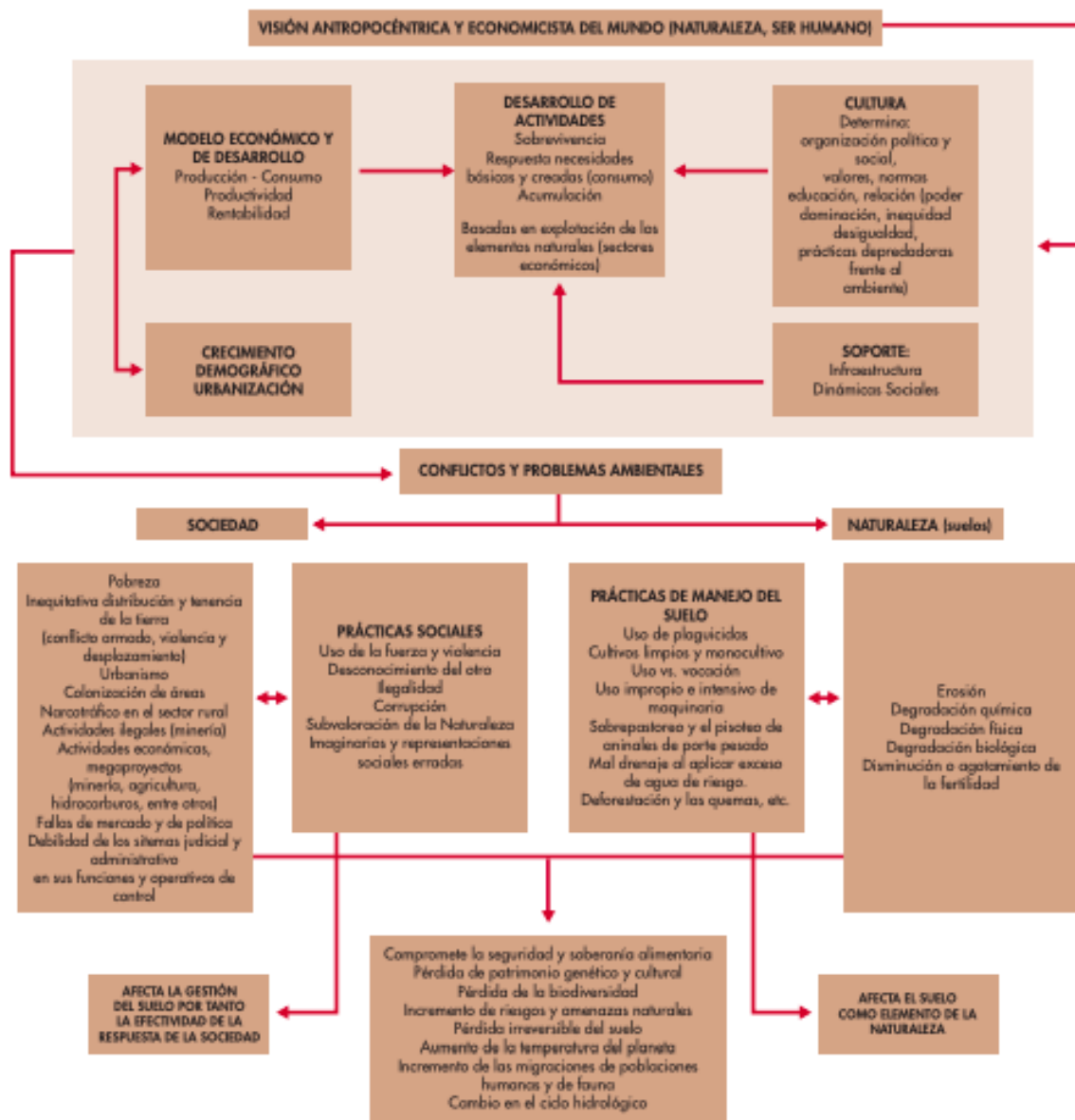


Figura 2. Elementos que han incidido en los factores de degradación del suelo en Colombia.
Fuente: Política para la Gestión Sostenible del Suelo. 2016 (MADS - PGSS, 2016)

Así mismo, se establecieron como principios de orientación para el desarrollo de la Política, los siguientes:

- Participación
- Sostenibilidad
- Integralidad
- Sistemicidad
- Conservación

- Prevención
- Precaución
- Prioridad en el uso
- Responsabilidad compartida y diferenciada
- Gobernanza

En cuanto a los objetivos, general y específicos de la política, se formularon los siguientes:

Objetivo general: *promover la gestión sostenible del suelo en Colombia, en un contexto integral en el que confluyan la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo, contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de los colombianos.*

Objetivos específicos:

- *Generar acciones de preservación, restauración y uso sostenible del suelo, con el fin de mantener en el tiempo sus funciones y la capacidad de sustento de los ecosistemas.*
- *Fortalecer la institucionalidad y la articulación interinstitucional e intersectorial para la toma de decisiones relacionadas con la gestión sostenible del suelo.*
- *Fortalecer los instrumentos de planificación ambiental y sectorial para la gestión sostenible del suelo.*
- *Promover la investigación, innovación y transferencia de tecnología para el conocimiento de los suelos, su preservación, restauración, uso y manejo sostenible.*
- *Fortalecer políticas, normas e instrumentos relacionados con la gestión sostenible del suelo.*
- *Impulsar procesos de educación, capacitación y divulgación que fortalezcan la participación social y la gestión ambiental para la conservación y uso sostenible del suelo.*
- *Adelantar procesos de monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos que faciliten la toma de decisiones para su gestión sostenible.*

Con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos propuestos se definieron seis (6) líneas estratégicas a partir de las cuales se formularon actividades, indicadores y metas para la construcción del plan de acción de la política. En la tabla 1 se presentan las líneas estratégicas con los objetivos específicos que se esperan alcanzar en cada una de ellas.



LINEAS ESTRATÉGICAS	OBJETIVO ESPECÍFICO
LINEA ESTRATEGICA 1. Fortalecimiento institucional y armonización de normas y políticas.	Fortalecer la institucionalidad y la articulación inter-institucional e intersectorial para la toma de decisiones relacionadas con la gestión sostenible del suelo
	Fortalecer políticas, normas e instrumentos relacionados con la gestión sostenible del suelo
LINEA ESTRATEGICA 2. Educación, capacitación y sensibilización	Impulsar procesos de educación, capacitación y divulgación que fortalezcan la participación social y la gestión ambiental para la conservación y uso sostenible del suelo.
LINEA ESTRATEGICA 3. Fortalecimiento de instrumentos de planificación ambiental y sectorial	Fortalecer instrumentos de planificación ambiental y sectorial para la gestión sostenible del suelo
LÍNEA ESTRATÉGICA 4. Monitoreo y seguimiento a la calidad del suelo	Adelantar procesos de monitoreo y seguimiento a la calidad del suelo que faciliten la toma de decisiones para su gestión sostenible
LÍNEA ESTRATÉGICA 5. Investigación, innovación y transferencia de tecnología	Promover la investigación, innovación y transferencia de tecnología para el conocimiento de los suelos, su preservación, restauración, uso y manejo sostenible
LÍNEA ESTRATÉGICA 6. Preservación, restauración y uso sostenible del suelo	Generar acciones de preservación, restauración y uso sostenible del suelo, con el fin de mantener en el tiempo sus funciones y la capacidad de sustento de los ecosistemas.

Tabla 1. Líneas estratégicas y objetivos específicos enmarcados en la Política para la Gestión Sostenible del Suelo. Fuente: Política para la Gestión Sostenible del Suelo. 2016 (MADS - PGSS, 2016)

Acorde con las estrategias planteadas en el marco de la Política para la Gestión Sostenible del Suelo, y las directrices consagradas en el Decreto 3570 de 2011, Decreto 1076 de 2015, Decreto 50 de 2018, Ley 1955 de 2019 (Ver numeral 1.1), se considera que la implementación del presente instrumento normativo contribuye a las líneas estratégicas 1 y 3; aporta en la construcción de medidas preventivas que promuevan la sostenibilidad y conservación del suelo; y, complementa los lineamientos regulatorios establecidos en la Resolución 0699 de 2021.

2 Definiciones técnicas

- **Suelo:** es un componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro, meso y micro-organismos que desempeñan procesos permanentes de tipos biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta. (MADS - PGSS, 2016).
- **Zona no saturada:** es la proporción de suelo limitado en su parte superior por la superficie topográfica y en su parte inferior por aguas subterráneas o el nivel freático.
- **Área de vertimiento:** Es la superficie delimitada por al menos tres (3) puntos georreferenciados, la cual se define a partir del caudal a verter y la modelación en la zona no saturada. En dicha área se espera proteger los suelos mediante técnicas adecuadas de disposición del vertimiento, y prevenir procesos de degradación física, química y biológica del suelo conforme a lo establecido en la Política para la Gestión Sostenible del Suelo. (Minambiente, 2016).
- **Infiltración básica:** conocida también como infiltración final. Se refiere a la velocidad con la que el agua entra o penetra en el suelo hasta alcanzar una velocidad constante, un punto de equilibrio o un régimen estabilizado, como se observa en la Figura 1. En este punto se reduce el efecto de las condiciones iniciales de la prueba como el contenido de humedad inicial del suelo y condiciones climáticas, entre otros.

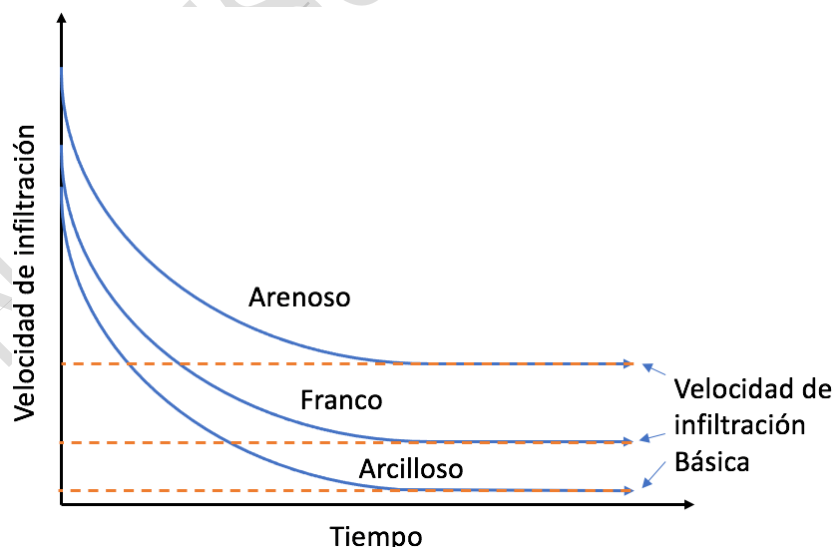


Figura 3: Velocidad de infiltración básica. Fuente: propia, documento técnico de soporte de la Resolución 0699, (MADS, 2021).

- **Degradación del suelo:** es la reducción o pérdida total de la productividad física, química, biológica del suelo; disminuyendo con ello la capacidad actual o futura de los suelos para seguir desempeñando sus funciones características. Esto puede obedecer tanto a causas naturales como a causas antrópicas. Uno de los mayores inconvenientes de este problema es que las tasas de degradación suelen ser muy rápidas frente a las tasas de regeneración de este, por lo que se puede considerar, en la práctica, como un recurso no renovable. (MADS - PGSS, 2016), (CAR-Cundinamarca, 2018)
- **Nivel freático:** es la zona superior del suelo que permanece saturada por una duración mayor a un mes, su límite inferior puede coincidir con el límite superior de la zona saturada (FAO, 2017), las estimaciones del límite superior se basan principalmente en observaciones de agua subsuperficial o nivel freático en sitios seleccionados y en la evidencia en el suelo de una zona saturada que presenta evidencias de condiciones redoximórficas (moteos color gris o gley) (IGAC, 2014).
- **Régimen de Humedad:** se refiere a la presencia o ausencia, ya sea del nivel freático o al agua retenida a una tensión menor de 1500 kPa en el suelo por periodos del año. En consecuencia, se considera un horizonte seco cuando la tensión de humedad es de 1500 kPa o más, y como húmedo si el agua está retenida a una tensión menor a 1500 kPa pero mayor que cero. (Soil Survey Staff & USDA, 2014)

3 Fundamento para el análisis

Con el fin de conservar y proteger el recurso natural suelo de procesos de degradación irreversible y seguir las directrices para la gestión sostenible del suelo (FAO, 2016), en este instrumento normativo se tiene en cuenta las condiciones intrínsecas de dicha matriz ambiental, analizando sus características, para lo cual se planteó la Categorización de Suelos para un Vertimiento de ARnDT (CVS), en donde se expone a continuación las variables de cantidad de ARnDT, variables del suelo receptor y el cálculo del CVS para categorizarlo y así definir un límite máximo permisible más o menos estricto conforme a la vulnerabilidad de la matriz receptora.

La información con la cual se elabora la categorización es a partir de la establecida en el Decreto único reglamentario 1076 de 2015 artículo 2.2.3.3.4.7, teniendo en cuenta que para Aguas Residuales No domésticas tratadas - ARnDT, se solicitó el levantamiento de línea base del suelo, con características físicas, químicas y biológicas; la línea base de agua subterránea, con nivel freático, parámetros físico-químicos, químicos y microbiológicos; el sistema de disposición de vertimientos, con modelación numérica de flujo y transporte de solutos en el suelo, análisis hidrológico, descripción del sistema de disposición

del vertimiento, variación del nivel freático, y el mapa de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación; área de disposición del vertimiento; plan de monitoreo. Mientras que para las Aguas Residuales Domésticas – ARDT de que trata la Resolución 0699 del 2021, debido a su calidad y cantidad de agua, solo se solicitó información de infiltración, sistema de disposición, área de disposición, y plan de cierre y abandono. Razón por la cual la categorización para ARDT quedó en función de la infiltración básica, mientras que para las ARnDT se tenían más insumos para categorizar los suelos receptores de vertimientos.

3.1 Características de los suelos

El suelo es un recurso natural, no renovable de carácter finito, el cual ante la degradación o pérdida de sus propiedades genera un daño irreversible en la escala de tiempo de una vida humana (FAO & ITPS, 2015). La recuperación de los suelos está sujeta a condiciones temporales de largo plazo e influenciada tanto por factores formadores tales como la litología, el relieve, la actividad de microorganismos y el clima; como por factores asociados al uso antrópico del recurso que incluyen cultivos, plantaciones forestales, fines urbanos, entre otros (Porta Casanellas et al., 1994).

Por otra parte, en el marco del proyecto de construcción de la *Guía para la modelación del flujo de contaminantes en la zona no saturada del suelo*, con la Universidad Nacional de Colombia en el año 2019 (MADS et al., 2020), planteada como instrumento técnico que permitirá orientar la toma de decisiones a partir de una modelación, se enuncia que:

"El suelo, al ser un cuerpo natural y un sistema complejo requieren de una aproximación integral ya que en ellos confluyen distintos tipos de interrelaciones entre lo ecosistémico, asociado a todos aquellos procesos biológicos, edáficos, climáticos, geoquímicos, etc., y desde lo cultural, que encierra todas aquellas relaciones humanas con el entorno, bien sean de tipo económico, político o social. De esta forma, se reconoce que el suelo constituye un recurso de síntesis de la naturaleza que refleja la acción del medio, la evolución de los paisajes, la historia de los fenómenos glaciales, volcánicos y tectónicos y de la acción del hombre en las diferentes etapas de su desarrollo socio-cultural y tecnológico.

Por otra parte, la Política de Uso Sostenible del Suelo (MADS - PGSS, 2016), concibe a este recurso como un *"componente fundamental del ambiente, natural y finito"*. Lo cual es fundamental ya que bajo estos términos lo considera como un recurso agotable o no renovable a escala humana, que cumple con funciones vitales para la sociedad y el planeta. Y reconoce, asimismo, que este recurso cumple con funciones biológicas fundamentales y ofrece distintos tipos de

servicios ecosistémicos, por lo que, su gestión y manejo debe propiciar su buen uso y conservación.

De acuerdo con los lineamientos nacionales, cuando se habla de servicios ecosistémicos, se hace referencia a:

"aquellos procesos y funciones de los ecosistemas que son percibidos por el humano como un beneficio (de tipo ecológico, cultural o económico) directo o indirecto. Incluyen aquellos de aprovisionamiento, como comida y agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, sequías, degradación del terreno y enfermedades; servicios de sustento como la formación del sustrato y el reciclaje de los nutrientes; y servicios culturales, ya sean recreacionales, espirituales, religiosos u otros beneficios no materiales". (Política nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos, 2012, p.4).

Los servicios ecosistémicos que se han asociado al suelo son de diversa naturaleza y fundamentales para el desarrollo social y la vida en general (Ver Tabla 1):

Tabla 2. Servicios ecosistémicos asociados al suelo.

Servicios ecosistémicos asociados	Descripción
Provisión y reserva	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentos y biomasa - Reserva de genes y base de la biodiversidad. - Agua suministrada y filtrada por los suelos en zonas de recarga de acuíferos. - Almacenamiento y fijación de agua - Maderas - Fibras - Medicinas - Bioenergía
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> - Regulación del ciclo hidrológico - Escenario de ocurrencia de ciclos biogeoquímicos - Climática, inundaciones, calidad del agua, enfermedades y plagas - Regulación del clima global y regional - Purificación del aire. - Almacenamiento de aguas lluvias y distribuyendo aguas cuenca abajo incluso en épocas sin lluvias. - Captura de CO₂. - Filtro de aguas lluvias. - Mejoramiento de la calidad del aire y la calidad de las aguas subterráneas y superficiales. - Reciclaje de nutrientes



Ambiente

Culturales	<ul style="list-style-type: none">- Recreación, estética y beneficios espirituales- Patrimonio histórico
Soporte	<ul style="list-style-type: none">- A otros servicios relacionados con la producción de biomasa, ciclaje de nutrientes, formación del suelo, etc.- Soporte y mantenimiento de la biodiversidad.- Hábitat fauna y flora.- Estructura socioeconómica (industria, infraestructura, recreación y estética).- Conservación de la biodiversidad.

Fuente: Política de Uso Sostenible del Suelo (MADS - PGSS, 2016), (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Desde esta perspectiva, la capacidad de funcionamiento del suelo en el ecosistema para mantener su productividad biológica y las demás funciones anteriormente enunciadas, así como promover la salud de plantas y animales, en conjunto con la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, se reconoce como **calidad del suelo** (MADS - PGSS, 2016), (FAO, 2016). Sin embargo, la pérdida de esta capacidad para el cumplimiento de sus funciones ambientales se reconoce como **degradación**, la cual se genera cuando se presentan cambios en sus propiedades que ocasionan un cambio en la salud del recurso resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios (MADS et al., 2015).

Además de los usos ya mencionados, el suelo ha sido considerado como una matriz receptora para el vertimiento de aguas residuales; para lo cual es necesario considerar que las propiedades físicas, químicas, biológicas y la oferta de servicios ecosistémicos que el suelo presta al ambiente y al ser humano se pueden ver afectados; dependiendo de la calidad, la cantidad y la forma en que se haga el vertimiento de agua residual en el suelo.

La disposición de las aguas residuales a la matriz suelo dependerá de las características físicas que el suelo presenta para la recepción y almacenamiento del agua de vertimiento, debido a que una mala disposición no solo impactará en la degradación del suelo sino que puede representar un potencial impacto a las aguas subterráneas presentes en la zona, al ver posiblemente comprometida su calidad; derivando así en una afectación a la salud pública en poblaciones que se abastecen de aguas subterráneas. Con el fin de minimizar los posibles procesos de degradación es necesario el desarrollo de instrumentos técnicos que permitan prevenir impactos negativos tanto al suelo como a las aguas subterráneas; principalmente, si se tiene en cuenta que el 60 % del área de los suelos con vocación agrícola del país están afectados por erosión y el 4,6 % con erosión en grados severos, lo que significa que se han perdido cerca de un millón de hectáreas en suelos solo con esta vocación (MADS et al., 2015).

Aunque la degradación puede tener diversos agentes causales o ser de tipo físico, químico o biológico; su efecto se traduce en la erosión y pérdida de

superficie de suelo. De manera general y de acuerdo con la naturaleza de los vertimientos que se depositen en el suelo, algunos de los **impactos asociados a los vertimientos al suelo**, corresponden a los siguientes definido en la Política de Gestión Sostenible del Suelo (MADS - PGSS, 2016):

- *Degradación física: hace referencia a las afectaciones como el sellamiento o compactación, en donde se reduce la porosidad y se aumenta la resistencia mecánica, afectando la estructura y estabilidad de los agregados.*
- *Degradación química: generada por sustancias como plaguicidas, nutrientes, metales u otros compuestos con el potencial de contaminar las aguas y otros suelos, así como de afectar biológicamente la matriz debido a la pérdida de nutrientes que reducen la productividad. Otras acciones que pueden provocar esta degradación química pueden ser el manejo inadecuado de residuos orgánicos provenientes de la producción animal o rellenos sanitarios que puedan contaminar y provocar emisiones de gas metano o CO₂ o la disposición de residuos sólidos, entre otras. Entre los efectos de esta degradación se pueden mencionar:*
 - *El desbalance del suelo y cambios indeseables en el pH que afectan la disponibilidad de nutrientes disminuye la capacidad de soportar la vegetación y la biota.*
 - *Contaminación generada fundamentalmente por la actividad antrópica industrial, minera, urbana a partir de residuos sólidos líquidos o gaseosos, así como residuos o desecho peligrosos (Respel).*
 - *Acumulación de compuestos como metales y variación de pH, causado por el uso excesivo de fertilizantes.*
 - *Afectación de la biodiversidad.*
- *Degradación biológica: relacionada con pérdida de la materia orgánica y la biota del suelo. Suele generarse por malas prácticas de labranza, deforestación, obras de infraestructura y urbanismo sin criterios de sostenibilidad, entre otros. Entre los efectos de esta degradación se pueden mencionar:*
 - *Pérdida de materia orgánica: disminuye la actividad biológica y de las poblaciones de micro, meso y macrofauna y flora con efectos negativos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos. Además, en procesos de mineralización de formas orgánicas se genera contaminación a partir de la generación de CO₂ (Gas de efecto invernadero) y nitratos (contaminante de aguas).*
 - *Afectación de relaciones biológicas: asociaciones simbióticas de las micorrizas.*



Ambiente

- *Afectación de ecosistemas por inclusión de otros microorganismos fitopatógenos como nematodos y otras especies, afectando la productividad y el valor económico.*

Estos daños pueden ser permanentes de acuerdo con la capacidad de algunos microorganismos de generar estructuras de resistencia y afectar a distintas profundidades del suelo.

Las zonas del país donde los suelos presentan mayor degradación corresponden a los principales centros urbanos, desarrollo de agricultura y ganadería industrializada y de subsistencia, explotación minera en proyectos viales, hidroenergéticos y turísticos. Es fundamental reconocer estos efectos en un escenario de cambio y variabilidad climática.

Considerando los impactos que puede tener la matriz receptora suelo ante el vertimiento de aguas residuales, el desarrollo técnico para el establecimiento de los límites de vertimiento estará dado por las propiedades de esta matriz; para lo cual se tendrán en cuenta la diversidad de los mismos en Colombia, las características topográficas del territorio y la disponibilidad asociada a las aguas subterráneas.

Colombia cuenta con 7 de las 8 posibles clases agrológicas existentes a escala general, las cuales tienen subclases que pueden tener limitantes por humedad y pendientes, pedregosidad, toxicidad, entre otras; adicionalmente, tiene 11 de los 12 posibles órdenes de los suelos, dado por las características evidenciadas en los horizontes de diagnóstico y presenta todos los tipos de régimen de humedad, la cual es la evidencia de presencia o usencia de agua en el suelo y su temporalidad, ya sea por nivel freático, inundaciones, encharcamientos o acumulación por topografía, lo que determina la capacidad del suelo para recibir un vertimiento.

El análisis técnico que se debe realizar para determinar los límites de vertimiento al suelo debe entonces considerar las características propias del suelo, como lo es el orden taxonómico y el régimen de humedad con las respectivas limitantes dadas por las características dadas en los horizontes diagnóstico y por los factores formadores de suelo, los cuales tendrían un impacto y una vulnerabilidad a partir de los parámetros contaminantes del vertimiento de cada sector productivo de las aguas residuales NO domésticas.

De esta manera, entonces, el análisis de la matriz receptora se hace a partir de la vulnerabilidad del suelo. Para cada una de las variables establecidas, se clasificarán y definirán rangos de impacto del suelo para finalmente calcular un índice de vulnerabilidad del suelo a un vertimiento de agua residual NO doméstica tratada. Estas variables fueron escogidas gracias al acceso de información actual que diferentes instituciones relacionadas con el tema han desarrollado, a su directa relación con el movimiento del agua en el suelo, los posibles impactos respecto al ciclo hidrológico, la contaminación del agua

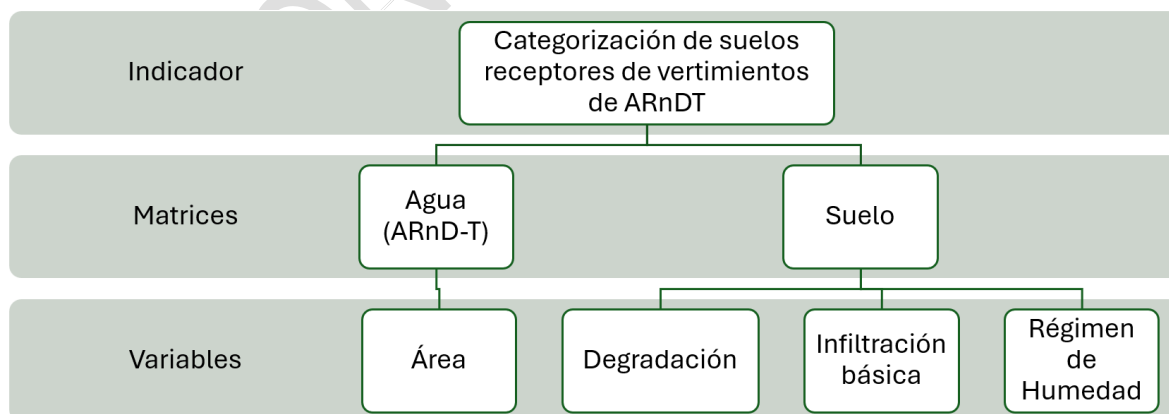
subsuperficial y la información de características intrínsecas del suelo asociadas a las mismas variables.

3.2 Categorización de suelos para un vertimiento de ARnDT

Teniendo en cuenta que la finalidad de la presente normativa es definir los límites máximos permisibles (LMP), con los cuales se debe entregar el agua residual NO doméstica tratada al suelo, se tiene en cuenta la matriz receptora suelo de acuerdo con sus características. Para lo cual se propone una categorización del suelo para el vertimiento de ARnDT que determinará la condición de favorabilidad o desfavorabilidad en la que se encuentra el recurso para recibir un vertimiento en determinada calidad y cantidad, y conforme a esa categorización, se definen los LMP más estrictos para los parámetros de interés teniendo en cuenta el sector que produce el agua para un área de vertimiento, minimizando los impactos a la salud pública, el agua subterránea y la posible degradación irreversible, en la escala de tiempo humana, de la matriz suelo.

3.2.1 Variables

En este sentido, y teniendo en cuenta los requerimientos para vertimientos al suelo, se hace uso de variables de la caracterización de la línea base del suelo para las ARnDT, y se priorizaron las variables más sensibles con ayuda de la Mesa Nacional de Suelos. Se propusieron dos grupos de análisis de los parámetros para analizar y evaluar los posibles impactos que se pueden presentar en el área de vertimiento, como lo es la matriz agua, en calidad y cantidad, y la matriz suelos como receptora del vertimiento, como se define a continuación:



3.2.1.1 Variables del ARnDT

Esta variable está directamente relacionada con la cantidad de ARnDT que quiere ser vertida en el área de disposición y recopila la información necesaria a partir

del proceso de modelación de flujo de agua y transporte de solutos, ya que depende del caudal a verter.

Área: variable que da cuenta de la escala a la cual se pueden llegar a impactar los servicios ecosistémicos específicos que el suelo presta al medio ambiente y al ser humano, donde se pueden presentar afectaciones a la biodiversidad por fragmentación de ecosistemas debido a su escala de impacto, así como posibles conflictos por cambio en el uso y vocación de las tierras.

3.2.1.2 Variables del Suelo

Las siguientes variables fueron seleccionadas por su importancia en la modelación del flujo y transporte de ARnDT en el suelo; además por ser variables sensibles a las características intrínsecas de los suelos, y su práctica medición ya sea en campo o en laboratorio.

- **Degradación del suelo:** esta variable se refiere a la disminución de la capacidad de producción del suelo o de cumplir con sus funciones ambientales, así como la disminución de su calidad. Los tipos de degradación pueden ser físicos, químicos o biológicos. Para el presente análisis debido a los posibles impactos en un área de vertimiento, se priorizó la degradación por *salinización* y por *erosión*, metodologías que se encuentran para consulta en las bases de datos del IDEAM.
- **Infiltración básica:** entendida como la variable que evidencia como entra el agua al suelo y su movimiento dentro de la misma matriz cuando alcanza el estado estable o condición de equilibrio del suelo, recopila información de las características del suelo en cuanto a textura, estructura, materia orgánica, procesos de compactación, entre otros, esta variable está articulada en su análisis con la Resolución 0699 del 2021 de vertimiento de ARDT.
- **Régimen de Humedad:** esta variable da información de la ausencia o presencia del nivel freático a lo largo del tiempo, puede estar asociada a procesos de acumulación de agua por inundaciones, encharcamientos, o por topografía, está relacionada con zonas de recarga de acuíferos y posibles afectaciones al agua subterránea, evidenciando donde el suelo permanece saturado y no tiene capacidad de recibir más agua en su espacio poroso.

3.2.2 Cálculo de Categoría de Vertimiento al Suelo (CVS)

Para llevar a cabo el cálculo del siguiente indicador, se realizó el análisis con profesionales afines al tema edafológico y pares académicos, a través de talleres, encuestas y formularios que recopilaron la información de los diferentes

actores académicos, institucionales y gubernamentales que levantan, manejan y publican información de suelos en Colombia.

Como conclusión de ese análisis se hace necesario evidenciar las condiciones o escenarios favorables o desfavorables para llevar a cabo el vertimiento en cada una de las variables mencionadas anteriormente, con el supuesto de que el suelo no tenga condiciones en los cuales se prohíba el vertimiento, para lo cual se define:

- Condición (+), es aquella en la cual el suelo puede aceptar el vertimiento sin impactos irreversibles en la escala de tiempo humana.
- Condición (-), es aquella que evidencia ciertas características que hacen que el suelo sea más vulnerable y propenso a presentar procesos de degradación irreversible en la escala de tiempo humana.

Dichas condiciones se definen para cada variable de la siguiente forma:

Tabla 3: Condiciones para las variables de la CVS

Variable	Condición (+)	Condición (-)
A= Área	<5 ha	≥5 ha
D=Degradación (erosión, salinización)	No hay, muy ligero	Ligero, moderado, severo, muy severo
I =Infiltración básica	Valores entre 16 a 27 mm/h	Valores mayores o iguales a 27 o menores o iguales a 16 mm/h
RG =Régimen de Humedad	Údico, ústico, árido, tórido.	Ácuico, perácuico, perúrico

Para el caso del **área**, se establece como umbral una extensión de 5 hectáreas, debido a su relación con el caudal proyectado para el vertimiento. A partir de esta superficie, el volumen de agua dispuesto puede constituirse en un factor detonante que modifique la escala de los impactos generados, requiriéndose áreas de mayor extensión que podrían favorecer procesos de fragmentación de ecosistemas y aumentar la magnitud de los impactos sobre los ecosistemas circundantes.

Relacionado a la variable de **degradación**, sea por salinización o erosión, debido a la disponibilidad de información oficial, se separa la condición de desfavorabilidad desde la condición ligera, escogiendo la condición más desfavorable sea por erosión o salinización, debido a que la aplicación constante de un vertimiento puntual de ARnDT puede acelerar rápidamente la degradación, según las características propias del área de vertimiento.

El análisis de la variable **infiltración básica**, va en línea con lo desarrollado en la Resolución 0699 del 2021, de vertimiento de ARDT al suelo, en la cual se separa las condiciones extremas de la infiltración básica, donde se pueden presentar procesos de encharcamiento cuando es muy baja la infiltración, o por el contrario, poner en riesgo la calidad del agua subterránea cuando la infiltración es muy alta.

Teniendo en cuenta que el **régimen de humedad** es la evidencia del suelo de la presencia o ausencia del agua en su espacio poroso, y en la misma línea de análisis de la Resolución 0699 del 2021, se separa la condición de desfavorabilidad, para el caso en el que el suelo se encuentra saturado por agua la mayor parte del año, revelando que no está disponible para recibir más agua de un vertimiento puntual.

Ahora bien, al tener las variables que hacen parte del cálculo para categorizar los suelos que reciben vertimientos, se presenta la ecuación preliminar que las reúne así;

$$CVS = A(\%) + D(\%) + I(\%) + RH(\%)$$

Asignando un valor de 0 para la condición favorable (+); y un valor de 1 para la condición desfavorable (-), según sean las características del área de vertimiento para la cual se quiere solicitar el permiso de vertimiento al suelo, valores con los cuales se inicia el cálculo de la categoría que le aplica para los valores de los límites máximos permisibles.

Evidenciando que cada una de las variables tiene una relevancia o participación particular para el escenario de un vertimiento, se realizó una ponderación de estas, asignando un porcentaje de importancia para el tema específico de vertimiento de ARnDT; información que fue sometida a revisión por pares expertos donde se definieron los siguientes porcentajes preliminares: área 30%, degradación por erosión o salinidad 28%, infiltración básica 23%, régimen de humedad 19%.

No obstante, al encontrar valores tan cercanos entre sí, y con el fin de hacer más práctico el indicador con el cual se obtenga un valor escalar para la categoría de vertimiento al suelo (CVS), se agruparon variables de la siguiente forma:

$$CVS = ((A + D) * 0,6) + ((I + RH) * 0,4)$$

Teniendo en cuenta que el CVS solo se puede encontrar en un rango entre 0 y 2 (adimensional), se procede a categorizarlo de acuerdo con la siguiente condición, teniendo en cuenta un factor de seguridad, en donde aproximadamente el 60% de los resultados sean de las condiciones favorables para el suelo:



Figura 4: Rangos de categorización de vertimiento al suelo

Esto con el fin de ser más estrictos con los límites máximos permisibles de los compuestos analitos que podría tener el agua residual no doméstica que se va a verter en el suelo, sólo en el caso de que el suelo presente condiciones desfavorables para recibir el vertimiento, o que se puedan acelerar procesos de degradación de este disminuyendo los servicios ecosistémicos que este presta al ser humano y al medio ambiente.

Con el fin de mantener armonía normativa con lo establecido en la Resolución 699 de 2021, la cual contempla tres categorías para la definición de los valores límites máximos permisibles, para efectos del ámbito de aplicación del presente anexo se considera que las Categorías II y III definidas en dicha resolución son equivalentes a la Categoría II del presente documento. En consecuencia, a estas les serán aplicables los mismos valores límites máximos permisibles, correspondiendo a aquellos casos con valores mayores o iguales a 3 de CVS.

3.2.2.1 Ejemplo práctico

Ahora bien, se realiza un ejemplo en el cual se tiene el siguiente caso particular:

- Para el caudal proyectado de aguas residuales no domésticas tratadas, se cuenta con un área de vertimiento calculada de **3 ha**.
- Según la búsqueda de información para el área georreferenciada, el IDEAM reporta **degradación moderada** por erosión, y no presenta degradación por salinización.
- Al realizar las pruebas en campo de infiltración básica, teniendo en cuenta que se debieron hacer en 12 lugares para las 3 ha, se encontró que la condición menos favorable fue **baja infiltración**.
- El régimen de humedad evidenciado por el suelo en 2 de sus 3 ha, fue **ácuico**.

Se reemplazan las variables por los valores que toma cada una de las condiciones (0 o 1) conforme a lo definido en la Tabla 2, se sustituye la información en la ecuación de CVS y se realiza el cálculo de la siguiente forma:

$$CVS = ((A + D) * 0,6) + ((I + RH) * 0,4)$$

$$CVS = ((0 + 1) * 0,6) + ((0 + 1) * 0,4)$$

$$CVS = 1$$

En línea con la Figura 2, el resultado del cálculo de CVS igual a 1 se encuentra en la Categoría II, con lo cual se aplicarán los límites máximos permisibles más estrictos para el vertimiento de aguas residuales no domésticas tratadas, con el fin de preservar los recursos suelo y agua subterránea.

3.3 Recopilación de información con autoridades ambientales

En el ejercicio de seguimiento a la implementación de la Resolución 0699 hermana del presente instrumento normativo, se recopiló información con las autoridades ambientales que la ejercen en territorio, de lo cual se evidenció que actualmente se están otorgando permisos de vertimientos al suelo para ARnDT en el marco del régimen de transición establecido, o utilizando como límites máximos de vertimientos la Resolución 631 de 2015; mientras que otras autoridades niegan el permiso de vertimiento al suelo considerando que no existen los elementos técnicos suficientes hasta tanto el Ministerio no se pronuncie al respecto, a pesar de haber expedido en el 2018 el Decreto 50 que modifica el Decreto 1076 de 2015, en cuyo artículo 6 se establecieron las condiciones generales para el vertimiento al suelo.

Durante el período entre 2019 y 2021 se recopiló información con las autoridades ambientales, referente al proceso de otorgamiento de los permisos de vertimiento. De las autoridades consultadas 20 respondieron la solicitud, y de éstas 16 realizan el trámite.

AUTORIDADES AMBIENTALES QUE ATENDIERON LA SOLICITUD

1. Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACÁ
2. Corporación para el Desarrollo sostenible del norte y Oriente Amazónico C.D.A
3. Área Metropolitana de Bucaramanga
4. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE
5. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR
6. Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA
7. Secretaría Distrital de Ambiente
8. Corporación Autónoma Regional del Guavio – CORPOGUAVIO
9. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial - La Macarena – CORMACARENA
10. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC
11. Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR
12. Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS
13. Área Metropolitana del Valle de Aburrá

14. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA
15. Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS
16. Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC
17. Corporación Autónoma Regional del Magdalena – CORPAMAG
18. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia – CORPOAMAZONIA
19. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB
20. Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia – CORPORINOQUIA

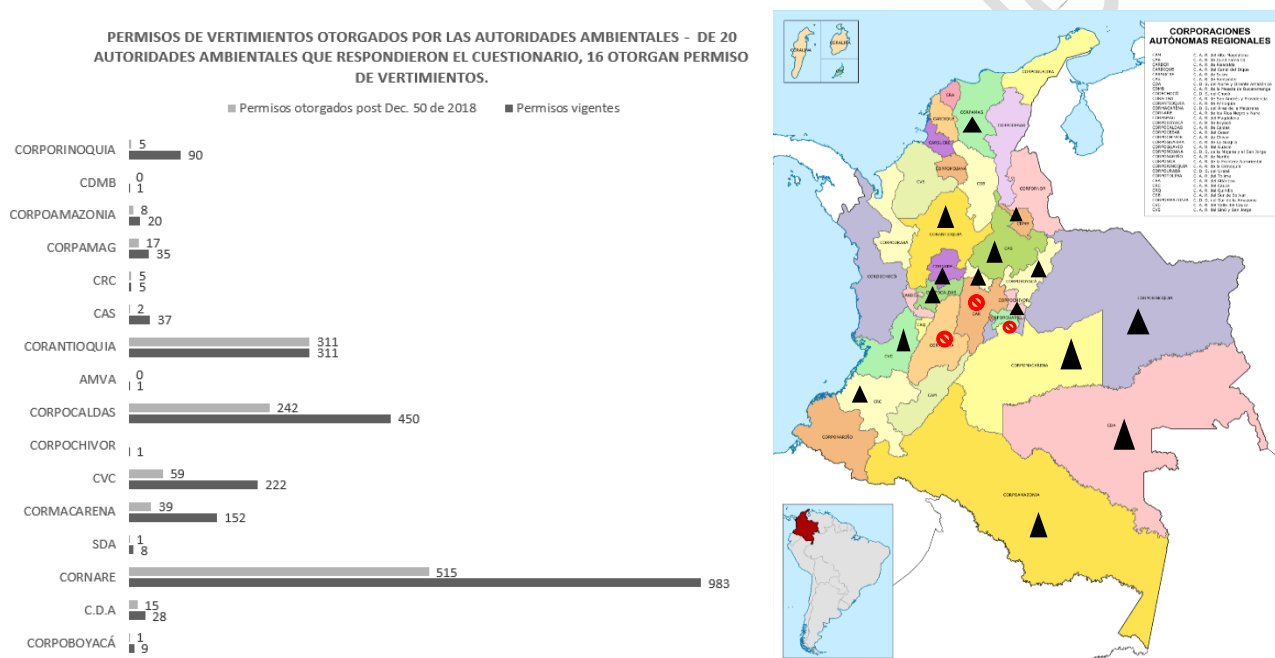


Figura 5. Permisos de vertimientos otorgados por la autoridades ambientales

- Aguas residuales domésticas

En la información recopilada se resalta que el mayor vertimiento que se hace sobre el suelo es de agua residual doméstica, de las cuales se recibieron 622 caracterizaciones, siendo la actividad de carga menor o igual a 625 kg/día DBO₅ con el mayor número de registros al reportarse 405. Estas aguas residuales domésticas fueron reportadas por Cenit Transporte Y Logística S.A.S (hidrocarburos), Asocolflores (agroindustria), Cenicafé (Agroindustria), Ecopetrol (Hidrocarburos), Prodeco (Minería) e Interconexión Eléctrica S.A (Energía), para las aguas de característica doméstica de sus labores requeridas para la producción.

Sector	Numero
Agua Residual Domestica	

Soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares	217
Carga menor o igual a 625 kg/día DBO₅	405
Agua Residual no Domestica	
Agroindustrial (Cenicafé)	2
Agroindustrial (Fedepalma)	7
Hidrocarburos (Ecopetrol)	33
Tratamiento y Disposición de Residuos	3
Total	667

Tabla 4. Número de caracterizaciones que se reportaron en cuanto a vertimiento al suelo por los diferentes sectores

En el mismo proceso de obtención de información, se preguntó a las autoridades ambientales cuales eran los sectores que mayor solicitud demandaban para el vertimiento al suelo, encontrándose el vertimiento de aguas residuales domésticas:

Sectores que más SOLICITAN el suelo como matriz receptora de Vertimientos

Autoridad Ambiental	¿Cuáles son los sectores productivos que solicitan permiso de vertimientos al suelo en su jurisdicción?
Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACÁ	N/A
Corporación para el Desarrollo sostenible del norte y Oriente Amazónico C.D. A	N/A
Área Metropolitana de Bucaramanga	N/A
Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE	<ul style="list-style-type: none"> - Parcelaciones y/o Condominios - Floricultivos - Sector Comercial (Lavado De Carro)
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR	<ul style="list-style-type: none"> - Agroindustria, - Condominios (Constructoras - ARD) - Minería
Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA	<ul style="list-style-type: none"> - Condominios



Ambiente

Autoridad Ambiental	¿Cuáles son los sectores productivos que solicitan permiso de vertimientos al suelo en su jurisdicción?
Secretaría Distrital de Ambiente	- Viviendas Unifamiliares y Bifamiliares
Corporación Autónoma Regional del Guavio – CORPOGUAVIO	N/A
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial - La Macarena – CORMACARENA	- Viviendas Unifamiliares y Bifamiliares, - Fincas agroturísticas - Hoteles rurales - Agropecuario - ARD de la Agroindustria e Industria
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC	- Vertimientos de tipo doméstico
Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR	- Pecuario - Doméstico
Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS	- Aguas Residuales Domésticas - Beneficio de café - Porcícolas
Área Metropolitana del Valle de Aburrá	- Viviendas Unifamiliares y Bifamiliares
Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA	- Doméstico principalmente
Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS	- ARD de la industria de extractoras de aceite de palma - Hidrocarburos
Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC	N/A
Corporación Autónoma Regional del Magdalena – CORPAMAG	- Agroindustrial - Industriales Comerciales o de Servicios (Actividades Constructivas) - Hidrocarburos (Estaciones de Servicios de Combustible)
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia – CORPOAMAZONIA	- Viviendas Unifamiliares y Bifamiliares
Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB	- Agroindustria, - Estaciones de servicio - Conjuntos Residenciales Campestres.

Autoridad Ambiental	¿Cuáles son los sectores productivos que solicitan permiso de vertimientos al suelo en su jurisdicción?
Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia – CORPORINOQUIA	<ul style="list-style-type: none"> - Sector acuícola - Sector palma y arroz: - Extractoras de aceite de palma:

Tabla 5. Sectores productivos que realizan un mayor número de solicitudes de vertimiento al suelo

4 Parámetros y límites máximos permisibles al suelo de ARnDT

4.1 Impacto de los parámetros en el recurso Suelo

Con el fin de determinar posteriormente los límites máximos permisibles de un vertimiento de ARnDT al suelo; a continuación, se hace una breve descripción de cada uno de los parámetros a considerar, con el enfoque de los posibles impactos que estos pueden generar en la matriz receptora Suelo; partiendo de la premisa de que esta es una matriz diferente a la matriz receptora Agua, en donde se llevan a cabo procesos de mezcla y dilución de la concentración de elementos contaminantes; mientras que en la matriz receptora suelo se llevan a cabo procesos de acumulación de la concentración en el tiempo de los elementos presentes en el ARnDT; debido a esto y a los procesos de movimiento de los solutos dado por los fenómenos de dispersión y difusión en el suelo que resultan diferentes a los procesos advectivos que se lleva a cabo en el agua, y a los impactos que generan estos comportamientos diferentes, se consideraron los siguientes parámetros:

Generales

- **pH:** el potencial de hidrógeno o pH es uno de los parámetros operativos más importantes en las diferentes matrices debido a que influye en el comportamiento de otros parámetros fisicoquímicos. A partir de este se define el carácter básico, ácido o neutro del agua dependiendo de la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ o hidroxilo $[OH^-]$. El pH del suelo es un factor importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas; ejerce influencia en las reacciones de adsorción/desorción y de disolución/precipitación que regulan la disponibilidad de nutrientes (fósforo, hierro, cobre, manganeso, zinc, boro y molibdeno), la actividad de micro y mesoorganismos del suelo, la mineralización de la materia orgánica, la concentración de iones y sustancias tóxicas, influye en la disponibilidad de formas orgánicas de nitrógeno, azufre y fósforo para las plantas y otras propiedades. El pH del suelo es un factor que puede llegar a afectar la movilidad y disponibilidad de elementos en el suelo, independiente de las características intrínsecas del suelo. El impacto de un vertimiento con pH extremo sea ácido o básico afectaría la condición natural del suelo, repercutiendo en la permeabilidad de este.



Ambiente

Considerando que el intervalo de pH es una variable independiente de la velocidad de infiltración, se establece como igual para las tres categorías, donde se define como intervalo óptimo de pH para el agua de vertimiento al suelo entre 6.5 - 8.5 (OMS, 2006); esto debido a que en pH alcalinos se produce la precipitación de micronutrientes generando la no disponibilidad de estos en el suelo, mientras que a pH ácidos se favorece la presencia de iones de aluminio que restringen la disponibilidad de iones sulfato, fosfato, molibdato; además de restringir la nitrificación y la descomposición de la materia orgánica llegando a causar toxicidad para las plantas (Osorio, 2012; Rivera et al., 2015).

- **Temperatura:** normalmente la temperatura del ARnDT está asociada a la condición climática de donde se genera, puesto que no lleva asociado procesos productivos; por lo que en zonas costeras se pueden tener temperaturas hasta de 40 °C, que es similar a la que se encuentra en el medio circundante. Por otra parte, como se menciona por la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (Burbano Orjuela, 2010) algunos procesos microbiológicos influenciados por la temperatura son: (i) la respiración tiene una temperatura óptima aproximada de 35 °C a 40 °C; (ii) la oxidación de iones amonio a iones nitrato que ocurre más rápidamente a temperaturas cercanas a los 30 °C; y (iii) el control de algunas enfermedades causadas por hongos, que se obtiene a altas temperaturas. Adicionalmente, en ambientes templados y tropicales, los microorganismos pertenecen principalmente a los mesófilos (15 °C a 45 °C) los cuales normalmente alcanzan su tasa de crecimiento óptima entre 25 °C y 40 °C, tasa que disminuye a bajas y altas temperaturas. (Universidad Central de Venezuela, 2018).

Finalmente, independiente de la velocidad de infiltración, la temperatura al ser similar a la que se encuentra en el medio circundante, no genera un choque térmico sobre la matriz suelo que impacte la microbiología ni la salud de este.

Esta información se encuentra disponible en las páginas oficiales del IDEAM, en los datos abiertos del catálogo de metadatos del sistema de información ambiental del IDEAM, buscando por la temperatura media anual¹, se recomienda hacer uso de la información multianual más actualizada con la que se cuente al momento de la consulta.

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO):** la DBO₅ es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación de la materia orgánica mediante procesos bioquímicos aerobios, mientras que la DQO mide la cantidad de sustancias que pueden ser oxidadas mediante procesos químicos; por lo tanto, los niveles altos de estos parámetros indican que el agua puede contener altos contenidos de materia orgánica; la cual, por sí sola no impacta de manera negativa el suelo,

¹<https://visualizador.ideam.gov.co/CatalogoObjetos/geo-open-data/search?theme=&group=&search=TEMPERATURA+MEDIA+ANUAL>

sin embargo, puede acumularse en los poros generando un taponamiento de los mismos, cambiando condiciones de infiltración y movilidad del vertimiento en la matriz suelo. Adicionalmente, los excesos de materia orgánica en la matriz suelo pueden ocasionar problemas sanitarios de olores ofensivos y vectores.

Para evitar estos impactos en vertimiento al suelo, las Directrices del Banco Mundial – Guías de la Corporación Financiera Internacional (CFI) con relación a indicadores de contenido de materia orgánica (FAO, 2016), es decir, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) para agua residual doméstica establecen valores de 30 mg/L y 125 mg/L respectivamente; sin embargo, considerando a la matriz suelo un factor importante en la descomposición, transformación y aprovechamiento de la materia orgánica se aumentan los límites máximos permisibles a 50 mg/L y 200 mg/L, respectivamente, para la categoría I.

- **Sólidos suspendidos totales (SST):** los cuales están constituidos por los sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales. Estos presentan un riesgo en el vertimiento de ARnDT ya que estas partículas ayudan a la adhesión de metales tóxicos y otros compuestos orgánicos contaminantes que pueden ser transportados a la matriz suelo, generando procesos de toxicidad en el mismo. Por otro lado, dichas partículas pueden taponar los poros del suelo llegando a afectar el movimiento del agua y así los procesos de permeabilidad e infiltración, perjudicando directamente al usuario/propietario de la zona de vertimiento al suelo; debido a esto, este parámetro depende de la velocidad de infiltración básica obtenida en campo.

- **Sólidos sedimentables (SSED):** corresponden a los sólidos que se sedimentan o depositan en el fondo debido a su tamaño mayor a 0,01 mm (IDEAM, 2007); por lo cual, al igual que los sólidos suspendidos, son los que presentan procesos de colmatación generando un efecto de tapón del espacio poroso del suelo, cambiando las propiedades de flujo de agua y transporte de solutos, pero con el agravante de que las partículas al ser de mayor tamaño pueden favorecer la ocurrencia de estos procesos en un menor tiempo.

- **Grasas y aceites:** las grasas y aceites forman una película en la superficie de agua que, al entrar en contacto con el suelo interfieren en el ingreso de los rayos solares, además de modificar el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera, impidiendo de esta manera su desarrollo biológico (Barrera Gallegos & Velecela Romero, 2015) por otra parte, estos elementos pueden sellar los poros y disminuir la capacidad de infiltración del suelo, favoreciendo el desarrollo de procesos hidrofóbicos que pueden cambiar la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo. Por otro lado, se afecta la calidad del suelo al favorecerse los procesos de compactación, ya que las grasas y aceites recubren los agregados modificando así la estructura del suelo.



- **Fenoles:** los fenoles o derivados fenólicos son todas las sustancias derivadas del fenol o hidroxibenceno dentro de los cuales se encuentra el fenol, cresoles, dimetilfenoles y resorcinolos (Kahru et al., 2002). En el suelo, los fenoles solubles pueden tener cuatro destinos diferentes: (i) degradación y mineralización como fuente de carbono por organismos heterótrofos; (ii) transformación, por reacciones de condensación y polimerización, a sustancias húmicas insolubles; (iii) permanecer en forma disuelta y llegar a aguas subterráneas por procesos de lixiviación; y (iv) abandonar el ecosistema como carbono orgánico disuelto (Oluwasanu, 2018). La presencia de estos compuestos en el agua puede generar efectos tóxicos a corto y largo plazo a salud humana y los animales. Por otra parte, pueden contaminar el aire que está en contacto con la zona de vertimiento, así se encuentre en bajas concentraciones, presentando fuertes olores que pueden afectar la salud humana con una exposición prolongada. Son relativamente biodegradables, según su composición, y su toxicidad es muy elevada.
- **Sustancias activas al azul de metileno:** corresponde a la presencia de tensoactivos aniónicos en el agua, incluyendo sulfonatos y ésteres de sulfonatos. Estas sustancias cambian la tensión superficial del agua por lo que, de acuerdo a la cantidad depositada, pueden cambiar la retención de humedad del suelo afectando el transporte de solutos en esta matriz (Murcia-Sarmiento et al., 2014).
- **Compuestos Semivolátiles Fenólicos:** Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son un grupo de contaminantes orgánicos semi-volátiles persistentes que se acumulan en los suelos debido a su persistencia e hidrofobicidad; y tienden a ser retenidos en el suelo durante períodos de tiempo prolongados, por lo que la mayoría de los HAP están incluidos dentro del listado de los COP. Los compuestos semivolátiles fenólicos son diseminados en el aire, el agua, los suelos y los sedimentos (Chae et al., 2020). Los HAP de bajo peso molecular con dos o tres anillos son volátiles y están presentes principalmente en la atmósfera, mientras que aquellos de peso molecular medio y alto se dividen entre la atmósfera y las partículas, dependiendo de la temperatura (Srogi, 2007).
- **Formaldehído:** es un compuesto orgánico volátil que se puede producir a partir de la descomposición de residuos vegetales en el suelo, la combustión de materia orgánica, vehículos o incendios; es endógeno en organismos vivos, su vida media en el ambiente es muy breve, se elimina por procesos fotoquímicos y es biodegradable rápidamente. Puede generarse en las industrias de textiles, papeleras, medicina, agricultura, plásticos, plaguicidas, entre otros.
- **Especies de nitrógeno:** el nitrógeno es un elemento esencial en las funciones metabólicas de los seres vivos. Su presencia en matrices de agua y suelo se debe a causas naturales asociadas al ciclo del nitrógeno, y a causas antropogénicas relacionadas con el uso doméstico e industrial de compuestos

ricos en nitrógeno como fertilizantes, entre otros (Cárdenas Calvachi & Sánchez Ortiz, 2013).

- **Nitrógeno total:** corresponde a la sumatoria del nitrógeno orgánico e inorgánico. A nivel ambiental, el nitrógeno puede acumularse en el subsuelo afectando negativamente el ambiente; asimismo, en una cantidad excesiva puede llegar a los cuerpos de agua provocando el fenómeno de eutrofización (Sifuentes Ibarra Ernesto, Macías Cervantes et al., 2015)
- **Nitritos y nitratos:** la presencia natural de nitratos y nitritos en el ambiente es una consecuencia del ciclo del nitrógeno, por lo tanto, las alteraciones de este ciclo por causas antropogénicas o naturales, tendrán como resultado una modificación en la presencia y concentración de dichos iones en el ambiente.

El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO_2). El nitrato es una forma de nitrógeno que todas las plantas necesitan para crecer. En los campos, y también en los jardines, se usan los fertilizantes con nitrógeno para enriquecer el suelo. Desafortunadamente, los nitratos pueden contaminar los acuíferos de agua subterránea.

- **Nitrógeno amoniacal:** se produce por descomposición de compuestos nitrogenados como la urea, por lo que puede estar presente en aguas residuales municipales e industriales. El nitrógeno amoniacal se encuentra en equilibrio químico, dependiente del pH, con el ión amonio; por lo que a pH mayores a 7 el equilibrio se desplaza favoreciendo la formación de amoniaco mientras que pH menor a 7 se favorece la formación del ion amonio (Herrero, Hernández, Coma, Pujol, & Coda, 2005)
- **Salinización y sodicidad:** la salinización es el aumento o acumulación de sales solubles en el suelo (IDEAM). El aumento de estos elementos genera la modificación en la estructura del suelo, generando alteraciones en la capacidad de infiltración, favoreciendo los procesos de degradación. En este ítem se agrupan los parámetros que inciden en la degradación por salinización del suelo como lo son la conductividad eléctrica y el grupo de iones propuesto. Los iones generalmente asociados a problemas de salinidad debido a la acumulación de sales disueltas en el agua son: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- .
- **Conductividad eléctrica (CE):** este parámetro es indicativo de la presencia de iones en la solución del suelo, por lo cual representa un índice aproximado de la concentración de solutos. La FAO (FAO, 1992) ha establecido tres intervalos de restricción de uso para la CE; ninguno, leve a moderado y severo; definiendo, $< 0,7 \text{ dS/m}$, $0,7 \text{ dS/m}$ a $3,0 \text{ dS/m}$, y $> 3,0 \text{ dS/m}$,

respectivamente (Ver tabla). Teniendo en cuenta el ámbito de aplicación del vertimiento, se selecciona como valor límite el que tiene leve grado de restricción de uso ya que no se generan efectos a corto o mediano plazo, sin embargo, hay posibilidad de generar problemas de salinidad en suelos de muy baja permeabilidad (Winpenny et al., 2013) relacionados con infiltraciones básicas muy lentas ya que favorecen la acumulación de sales disueltas, es por esto que se define un límite dependiendo de la infiltración básica obtenida en campo.

Sin embargo, valores muy bajos también pueden ser perjudiciales debido a que aguas con conductividades eléctricas menores a 0,5 dS/m tienen propiedades corrosivas que impactan los agregados del suelo y su estructura, como resultado de lavado de minerales y sales solubles (especialmente calcio); aguas con conductividades eléctricas menores a 0,2 dS/m generan problemas de infiltración; aguas con conductividades eléctricas mayores a 0,5 dS/m no tienen efectos sobre la capacidad de infiltración del suelo.

Parámetros de calidad de agua para el suelo (Ayers & Westcost, 1994)

Parámetro de calidad	Unidades	Grado de restricción		
		Ninguno	Leve a moderado	Severo
Salinidad				
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
Efecto de iones específicos				
Relación de adsorción de sodio (RAS)		< 3.0	3.0 – 9.0	> 9.0
Sodio (Na ⁺)	meq/L	< 5	5 – 10	> 10

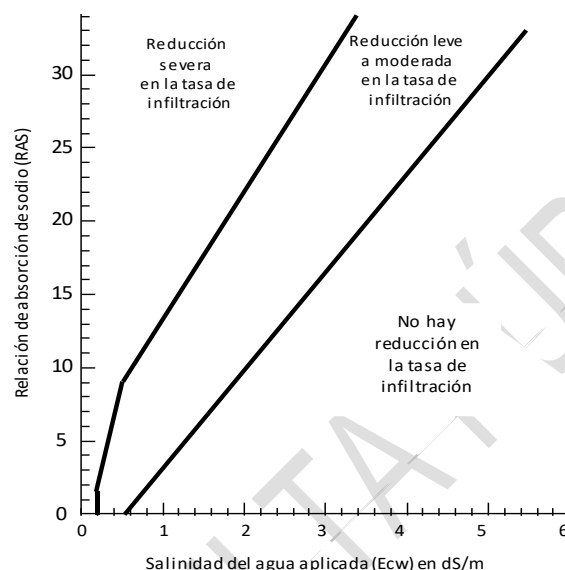
Relación de absorción de sodio (RAS): esta relación es el valor que expresa la actividad relativa del ion sodio contenido en el agua. Su fórmula está definida por la expresión descrita a continuación (Burt, 2004):

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde los iones se expresan en meq/L y el RAS es adimensional.

Cuando se presentan altos contenidos de iones de sodio en los vertimientos, se puede afectar la permeabilidad del suelo y causar problemas de infiltración debido a que el sodio cuando está presente en el suelo es intercambiable con otros iones como son el calcio y el magnesio que son cationes que hacen parte de los complejos estructurales que forman el suelo generando una estructura granular apropiada para la salud del suelo. El exceso de iones de sodio desplaza el calcio (Ca) y magnesio (Mg) y provoca la dispersión y desagregación del suelo (Can Chulim et al., 2008). El suelo bajo estas condiciones se vuelve compacto en ambientes secos, reduciendo la infiltración de agua y aire a través de la porosidad del suelo.

Adicionalmente, se debe contemplar la relación entre la conductividad eléctrica (CE) y los valores de RAS, como se observa en la siguiente figura, donde se evidencia el cambio en la velocidad de infiltración teniendo en cuenta que el valor límite máximo de CE es 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1dS/m), los valores que puede tomar el RAS no pueden ser mayores a 6, debido a la cercanía a la zona de reducción severa en la tasa de aplicación, que afectaría directamente al usuario o dueño del área de disposición del vertimiento.



Efectos de la salinidad y la RAS en la tasa de infiltración de agua.(Can Chulim et al., 2008))

- **Cloruros:** es un micronutriente para el crecimiento de las plantas y cuya presencia en el ambiente es suficiente para cubrir el requerimiento de los cultivos; pero debido a que suele actuar como contraión del sodio en el suelo, ha sido considerado un elemento potencialmente tóxico, principalmente por su antagonismo con el ion nitrato y por su asociación con procesos de salinidad y sodificación del suelo (Parra Terraza, 2016). Según la OMS, aguas con contenidos de cloruros menores a 4 meq/L (141.8 mg/L generan bajo riesgo de salinización, sin embargo, según las condiciones de lavado del suelo, relacionadas con variables climáticas, puede llegar a generar problemas de salinización, teniendo en cuenta que los efectos a la salud del suelo tiene mayor gravedad que los efectos sobre la salud humana, se define el límite de 140 mg/L para las categorías II y III.

- **Sulfatos:** son las sales del ácido sulfúrico, después de los cloruros, son los más peligrosos de los aniones en un agua que se vierta al suelo, debido a que los sulfatos limitan la absorción del calcio y sin embargo, facilitan la de sodio, con los inconvenientes que ello presenta, en los cambios de estructura y con ello el movimiento y retención del agua en el suelo, adicionalmente, en caso de llegar a encontrarse con el agua subterránea que sea de consumo, puede tener efectos

sobre el sabor y actuar como laxantes. Por lo tanto, se acoge el valor de 250 mg/L de los lineamientos de la CFI (Banco Mundial).

Iones

- **Cianuro total:** Algunos de los compuestos inorgánicos más importantes en la industria son: Cianuros, fluoruros, sulfatos y sulfuros, fósforo, Amonio, nitratos, nitritos. Estos compuestos en general se encuentran de manera natural en suelos y su concentración está regulada por ciclos biológicos; sin embargo, su introducción permite que se alcancen concentraciones consideradas como contaminantes. Debido a sus implicaciones para la salud humana y el medio ambiente, este compuesto se encuentra regulado por la normativa relacionada con sustancias químicas peligrosas y actividades mineras, así como por las disposiciones nacionales que establecen las características de calidad del agua para consumo humano en Colombia (Resolución 2115 de 2007) y los parámetros y valores límites máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y alcantarillado público (Resolución 631 de 2015).

- **Fluoruros:** En el agua subterránea, la concentración natural de fluoruro depende de aspectos geológicos, químicos, las características físicas del acuífero, la porosidad y acidez del suelo y piedras, la temperatura y la acción de los elementos químicos y la profundidad de los pozos de extracción. Las concentraciones del fluoruro en el agua subterránea pueden ir de 1 mg/L a más de 35 mg/L debido al número elevado de variables influyentes. Dado que el anión fluoruro se queda fuertemente retenido en las partículas del suelo, no se degrada y es limitante para cultivos provocando un desequilibrio químico, ya se puede acomplejar con los iones calcio y aluminio. Se toma el valor mínimo de la norma de Chile

- **Sulfuros:** Presenta riesgo de formación de gas sulfhídrico, el que en baja concentración genera olor desagradable y en alta concentración puede ser muy tóxico para el ser humano. Para suelos con presencia de encharcamientos, inundaciones o nivel freático aparente, se debe tener límite de 1 mg/L debido a que contienen minerales de sulfuros de hierro (predominantemente del mineral pirita) o sus productos de oxidación. En estado no alterado por debajo de la tabla de agua, los suelos sulfatados ácidos son benignos. Sin embargo, si los suelos se drenan, se excavan o se exponen al aire por desplazamiento hacia abajo de la tabla de agua, los sulfuros reaccionarán con el oxígeno para formar ácido sulfúrico.

Metales y Metaloides

La acumulación de los metales en el suelo y el transporte al agua subterránea depende principalmente de su concentración, forma del metal (estado de oxidación), las propiedades químicas y físicas del suelo, la composición del suelo

(Mclean & Bledsoe, 1992) y otros parámetros de flujo de agua y transporte de solutos.

Los metales son de especial interés debido a la complejidad de los procesos de transporte o reacción y su interacción con complejos procesos biológicos, que conllevan riesgos y posibles efectos a la salud de los seres humanos y el medio ambiente, debido principalmente a la persistencia, bioacumulación y toxicidad de algunos de estos. La dosis (concentración) y el tiempo de exposición son los que determina la toxicidad, es por esto que algunos metales son oligoelementos (micronutrientes), y en cantidades mínimas son beneficiosos para los seres humanos y el medio ambiente. En cambio, otros metales no tienen ninguna función biológica o efecto beneficioso conocido y si presentan toxicidad a bajas concentraciones.

Así mismo, algunos de ellos son considerados alimento o nutriente del suelo y de algunos cultivos que transforman dichos elementos en biomasa; sin embargo, cabe aclarar que el presente documento está dirigido a la disposición del vertimiento de ARnDT, no al reúso de este en cultivos ni al aprovechamiento de dicha biomasa, por lo cual, los procesos están limitados al transporte y acumulación, para lo cual se hace una descripción de los metales y metaloides priorizados a continuación:

- **Aluminio:** es el elemento metálico más abundante en la Tierra, pero no se encuentra en forma libre en la naturaleza. Interfiere con la absorción, transporte y uso de varios elementos esenciales incluyendo Cu, Zn, Ca, Mg, Mn, K, P y Fe. Cuando el pH está por debajo de 5,5 un antagonismo entre Ca y Al es probablemente el factor más importante que afecta la absorción de Ca.

La toxicidad del aluminio en suelos ácidos es de especial importancia, debido a la destrucción de componentes del ecosistema forestal. Se reduce el rendimiento de biomasa, el crecimiento de los árboles y la actividad de la microflora que degrada la hojarasca del suelo, convirtiéndola en humus, cambiando los servicios ecosistémicos que el suelo presta al ambiente (Rivera et al., 2015).

- **Antimonio:** puede encontrarse en industrias de textiles y plásticos, donde se mezcla una pequeña cantidad de antimonio con otros metales como plomo y zinc para formar mezclas de metales llamadas aleaciones. Estas aleaciones son utilizadas en baterías de almacenamiento (acumuladores) a base de plomo, soldaduras, metal para hacer láminas y tuberías, rodamientos, moldes, ciertos tipos de metales, municiones y peltres.

- **Arsénico:** el arsénico llega al agua a través de la disolución de minerales, desde efluentes industriales y vía deposición atmosférica. En aguas superficiales bien oxigenadas, el arsénico (V) es generalmente la especie más común; bajo condiciones de reducción tales como las que se presentan en sedimentos de lagos profundos o aguas subterráneas, la forma más predominante es el arsénico

(III). Un incremento del pH puede incrementar la concentración de arsénico disuelto en el agua. Este elemento está presente en el agua debido principalmente a la actividad minera y muy rara vez por causas naturales; también se encuentra en ciertos insecticidas y herbicidas, los que pueden contaminar artificialmente las aguas con dicho elemento.

- **Bario:** debido a sus solubilidades, los compuestos de bario pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos absorben estos compuestos, el bario se acumulará en sus cuerpos. Los compuestos del bario que son persistentes usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el sedimento de las aguas. El bario es encontrado en la mayoría de los suelos en bajos niveles. Estos niveles pueden ser más altos en vertederos de residuos peligrosos. No existe información disponible de riesgo del bario en aguas para riego de cultivos. Los iones Ba^{2+} son fuertemente absorbidos por minerales arcillosos, esto debido a que tienen un radio iónico similar a los iones K^{+} por lo que se adapta estéricamente en las mismas posiciones de enlace del ion monovalente (Peana et al., 2021).

- **Berilio:** el berilio como elemento químico está presente en los suelos en pequeñas cantidades de forma natural, pero las actividades humanas han incrementado esos niveles de berilio. Es probable que el berilio no se mueva hacia la zona profunda del suelo y no entre en contacto con el agua subterránea, sin embargo, los límites en otros países se basan en concentraciones generalmente encontradas en aguas subterráneas y superficiales aptas para el consumo animal y no representan necesariamente los niveles de tolerancia de los animales (Shah et al., 2016).

- **Boro:** El boro se adsorbe en las partículas del suelo dependiendo del tipo de suelo, el pH, la salinidad, el contenido de materia orgánica, el contenido de óxido de hierro y de aluminio, el contenido de hidróxido de hierro y de aluminio y el contenido de arcilla. La adsorción de boro puede variar entre totalmente reversible e irreversible, en función del tipo y de la condición del suelo; no obstante, el boro no puede ser destruido en el ambiente, puede cambiar de forma química, adherirse o separarse de partículas en el suelo, y a su vez ser aprovechable por las plantas.

- **Cadmio:** es un metal que no se encuentra nativo, es insoluble en bases, se disuelve en ácido nítrico diluido y es poco soluble en los ácidos sulfúricos y clorhídricos. Son persistentes y bioacumulativos, no tiene funciones bioquímicas y nutricionales, y es altamente tóxico tanto para plantas como animales (Alloy, 2013; ATSDR, n.d.). Si este elemento llega al agua subterránea y esta se encuentra conectada con aguas de abastecimiento rural puede tener implicaciones a la salud humana tales como (i) afectación de la capacidad reproductiva y el desarrollo del feto, (ii) alteración del sistema nervioso, (iii) producir cáncer (cancerígenos), entre otros. El valor recomendado por la FAO (FAO, 1992) es de 0,01 mg/L, sin embargo, al contar con un limitado

conocimiento estadístico de la existencia de este elemento en ARnDT, se propone su análisis y reporte.

- **Zinc:** a pesar de ser un elemento esencial para las plantas, en altas concentraciones el zinc puede ser considerado como fitotóxico, afectando directamente la calidad del suelo. Se reconoce que el zinc se acumula irreversiblemente en el suelo, por ello, las aplicaciones en exceso eventualmente pueden llegar a contaminar los suelos, convirtiéndose en suelos tóxicos. Para evitar problemas en suelos con pH menor a 6, de textura fina u orgánicos, la FAO (FAO, 1992) recomienda el valor de 2 mg/L. Este mismo criterio se establece para destinación de uso agrícola (D.1076/15) y valor máximo de lineamientos de la CFI (Banco Mundial), por lo cual se asocian a las categorías II y III.
- **Cobalto:** la cantidad excesiva de cobalto produce déficit de hierro y cobre, en donde genera un efecto de desplazamiento modificando el equilibrio geoquímico del suelo. El cobalto no está a menudo libremente disponible en el ambiente, pero cuando las partículas de cobalto no se unen a las partículas del suelo o sedimento la toma por las plantas y animales es mayor favoreciendo la acumulación en plantas y animales.
- **Cobre:** El aumento de la concentración de este elemento en los suelos es debido a distintas fuentes antrópicas. Los factores edáficos pueden determinar la biodisponibilidad del cobre y, con ello, la intensidad del efecto fitotóxico, tales como el contenido de materia orgánica y el pH del suelo, además del grado de solubilidad de la forma química en la cual el cobre es incorporado, es por esto que se dan diferentes valores para las categorías definidas para el vertimiento. Si este elemento llega al agua subterránea y esta se encuentra conectada con aguas de abastecimiento rural, las plantas y animales que son expuestas a concentraciones elevadas de cobre biodisponible, puede ocurrir bioacumulación, con efectos tóxicos, provocando alteración en su desarrollo y reproducción.
- **Cromo:** el cromo es un elemento natural, geogenético, que se encuentra en las rocas, plantas, suelos y organismos; sin embargo, en grandes cantidades reducen el crecimiento y provocan acumulaciones indeseables en los tejidos. Por otra parte, un estudio realizado por la FAO encontró que el cromo se fija y se acumula irreversiblemente en el suelo, degradando los suelos por contaminación, los cuales pueden convertirse eventualmente en pasivos ambientales. Sin embargo, al contar con un limitado conocimiento estadístico de la existencia de este elemento en ARnDT, se propone su análisis y reporte.
- **Hierro:** teniendo en cuenta la abundancia de este parámetro en el suelo, se encuentra en literatura que no es tóxico en condiciones de suelos aireados y pérdida de disponibilidad de fósforo y molibdeno; pero contribuye a la acidez y a la indisponibilidad de fósforo y molibdeno

- **Litio:** debido a la poca disponibilidad de información de impactos de este componente en el suelo, la FAO concluye que el litio es tolerable en muchos cultivos hasta 5 mg/kg; móvil en el suelo, tóxico para cítricos en concentraciones < 0.075 mg/L y actúa en forma similar al boro (Estándares de Calidad Ambiental de Agua).

- **Manganeso:** es un metal que se presenta naturalmente y que se encuentra en muchos tipos de rocas. Investigaciones realizadas por la FAO, encuentran que la mayoría de los oligoelementos se fijan y se acumulan irreversiblemente en el suelo, el exceso de lo requerido por la planta eventualmente llega a contaminar los suelos afectando la calidad del suelo generando degradación por contaminación química. Es por esto que se acoge el valor de 0,2 mg/L recomendado por la FAO para evitar generación de niveles tóxicos en suelos sensibles para la categoría III.

- **Mercurio:** el mercurio es un elemento tóxico que puede acumularse en los organismos vivos formando especies químicas estables que modifican su toxicidad natural. Cuando el mercurio es liberado al ambiente a causa de una gran variedad de fuentes antropogénicas, este circula por el aire, agua, sedimentos, suelos y biota, en diferentes formas químicas, facilitando su interacción con organismos vivos alrededor del mundo. Debido a sus propiedades tóxicas y bioacumulativas, los gobiernos a nivel mundial han desarrollado restricciones con respecto a su uso en las actividades productivas (García & Rodríguez, 2014)

En este contexto, Colombia ha promovido la reducción y eliminación del uso del mercurio en las actividades productivas a través de la Ley 1658 de 2013, en la cual se ha dado un período de 10 años para erradicar el uso del mercurio en el territorio nacional. Por lo tanto, bajo el cumplimiento de esta Ley, las aguas residuales no domésticas tratadas no deberían contener ningún contenido de mercurio; por lo que este metal no se incluye dentro de los parámetros considerados en esta resolución.

- **Níquel:** en el suelo, el níquel se asocia a partículas de arcilla, generando redes cristalinas de silicatos de aluminio, forma complejos con materia orgánica o fracciones arcillosas y también puede estar presente en la solución del suelo como ion libre o en formas complejas. Se sabe que altas concentraciones de níquel en suelos arenosos puede claramente dañar a las plantas y altas concentraciones de níquel en aguas superficiales puede disminuir el rango de crecimiento de las algas. Como resultado de esta investigación que realizó la FAO, se reconoce que este elemento se acumula en forma irreversible en el suelo, reducen el crecimiento y provocan acumulación indeseable en los tejidos.

- **Plata:** es un elemento bastante escaso, se encuentra eventualmente en la naturaleza como elemento libre (plata nativa) o mezclada con otros metales. Las sales solubles de plata, especialmente el nitrato de plata (AgNO_3), son letales

en bajas concentraciones impactando la salud de la microbiota del suelo, debido a sus efectos biocidas. Si este elemento llega al agua subterránea y esta se encuentra conectada con aguas de abastecimiento rural, tiene efectos nocivos a la salud, causando molestias estomacales, náuseas, vómitos, diarrea y narcosis. Si el material se ingiere y es aspirado en los pulmones o si se produce el vómito, puede causar neumonitis química, que puede ser mortal. Por lo cual, independiente de la categoría del vertimiento, este valor se define como lo propuesto por la Ley General de Aguas, la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes de Ecuador, y la Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de agua de Venezuela en 0,05 mg/L.

- **Plomo:** cuando el plomo se libera al ambiente tiene un largo tiempo de residencia en comparación con la mayoría de los contaminantes. Debido a su baja solubilidad tiende a acumularse en el suelo y sedimentos, como se evidencia en estudios sobre el uso de las aguas residuales, en los que el 85 % de los oligoelementos (cadmio, cromo, plomo y zinc etc.) vertidos se acumulan en el suelo y que la mayoría de ellos se depositan en los primeros centímetros. Además, la absorción de estos elementos por las plantas es tan pequeña, que no se puede esperar que reduzca apreciablemente. Es por esto que para la categoría I se acoge el valor propuesto por FAO de 5 mg/L y con el fin de conservar el recurso suelo más sensible, se acogen los valores propuestos por La Ley General de Aguas, la Norma Técnica Nacional para Agua de Honduras de 0,1 mg/L.

- **Selenio:** la movilidad del selenio en el suelo está determinada por la temperatura del suelo, la humedad, las concentraciones de selenio soluble en agua, la estación del año, el contenido en materia orgánica y la actividad microbiana.

- **Vanadio:** desequilibra la química del suelo, se adhiere fuertemente al suelo y sedimentos y es tóxico para muchas plantas a concentraciones relativamente bajas.

Hidrocarburos

- **Hidrocarburos:** debido a su estructura y moléculas que los componen, son sustancias de naturaleza lipídica que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Algunas de sus características son la baja densidad, poca solubilidad en agua, y la baja o nula biodegradabilidad (Adams et al., 2008), por lo que se ha reportado la afectación que los hidrocarburos generan a la fertilidad y la calidad del suelo a través de mecanismos como la toxicidad directa en los organismos en el suelo, reducción en la retención de humedad y/o nutrientes, compactación, cambios en pH y salinidad.

Otros

- **Coliformes totales:** se encuentran en el intestino, en las heces humanas y en las de animales de sangre caliente, en forma de bastoncillos, estos se desarrollan en presencia de sales biliares u otros agentes tenso activo. Si estas bacterias llegan al agua subterránea y esta se encuentra conectada con aguas de abastecimiento rural, puede acarrear graves problemas a la salud humana. Debido a la escasa información e implementación de tecnologías para la disminución de este parámetro, diferente a la cloración, que impacta negativamente la calidad del suelo, se propone Análisis y Reporte del mismo.

- **Color real:** El parámetro de color real en el agua residual se asocia con procesos de degradación del suelo y del agua subterránea principalmente a través de la presencia de sustancias disueltas y coloidales que alteran las propiedades físicas y químicas de estas matrices. Según los documentos técnicos, su impacto se desglosa de la siguiente manera:

1. Degradación física y química del suelo

- **Obstrucción del espacio poroso:** El color real suele ser un indicador de la presencia de materia orgánica, sólidos suspendidos y compuestos complejos. Estos elementos pueden acumularse en los poros del suelo, generando un efecto de taponamiento o colmatación que reduce la capacidad de infiltración básica y altera la permeabilidad del recurso.
- **Alteración del intercambio gaseoso:** La presencia de sustancias que aportan color (como grasas, aceites o compuestos orgánicos) puede crear una película en la superficie del suelo que interfiere con el ingreso de luz solar y modifica el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera, inhibiendo el desarrollo biológico de la biota edáfica.
- **Transporte de contaminantes:** El color puede estar ligado a partículas coloidales que facilitan la adhesión de metales tóxicos y compuestos orgánicos persistentes, los cuales son transportados hacia el interior de la matriz suelo, provocando procesos de toxicidad irreversible.

2. Afectación de la calidad del agua subterránea

- **Lixiviación de solutos:** Los componentes que otorgan color al agua residual (como fenoles o colorantes industriales) pueden permanecer en forma disuelta y atravesar la zona no saturada mediante procesos de dispersión y difusión hasta alcanzar el nivel freático.
- **Compromiso de la salud pública:** Si estos contaminantes alcanzan los acuíferos, pueden comprometer la calidad del agua subterránea destinada al abastecimiento humano, derivando en afectaciones a la salud en poblaciones que dependen de pozos o aljibes.

4.2 Definición de límites máximos permisibles en función de las categorías de vertimiento al suelo

La definición de los límites permisibles al suelo se realiza a partir de considerar la vulnerabilidad del suelo respecto a los solutos presentes en el agua residual NO doméstica tratada; por lo tanto, se establece un límite en consideración a las dos categorías de vertimiento al suelo, teniendo en consideración que según el artículo 2.2.3.3.4.3 del Decreto 1076 de 2015 **no se admiten vertimientos**:

1. En las cabeceras de las fuentes de agua.
4. En un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará, en cada caso, la autoridad ambiental competente.
6. En calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillados para aguas lluvias, cuando quiera que existan en forma separada o tengan esta única destinación.
7. No tratados provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, en aguas superficiales dulces, y marinas.
8. Sin tratar, provenientes del lavado de vehículos aéreos y terrestres, del lavado de aplicadores manuales y aéreos, de recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.
10. Que ocasionen altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos.
11. Al suelo que contengan contaminantes orgánicos persistentes de los que trata el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.
12. Al suelo, en zonas de extrema a alta vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos, determinada a partir de la información disponible y con el uso de metodologías referenciadas.
13. Al suelo, en zonas de recarga alta de acuíferos que hayan sido identificadas por la autoridad ambiental competente con base en la metodología que para el efecto expida el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Por lo tanto, los límites son planteados considerando los siguientes factores:

- 1 Transporte (movilidad o acumulación) de solutos en el suelo
- 2 Flujo (infiltración y permeabilidad)
- 3 Afectación Microbiológica
- 4 Afectación a la calidad del suelo
- 5 Incidencia en la salud humana.
6. Afectación a la calidad del Agua subterránea

A continuación se presentan los parámetros propuestos:

Parámetros Propuestos	Parámetros evaluados conforme a:					
	1. Transporte (movilidad o acumulación) de solutos en el suelo	2. Flujo: infiltración y permeabilidad.	3. Afectación Microbiológica	4. Afectación a la calidad del suelo	5. Incidencia en la salud humana.	6. Afectación a la calidad del Agua subterránea
Generales						
pH	X		X	X		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	X	X	X	X	X	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	X	X	X	X	X	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	X	X		X		
Sólidos Sedimentables (SSED)		X	X	X		
Grasas y Aceites	X	X	X	X		X
Fenoles			X	X	X	X
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)			X	X	X	X
Temperatura	X	X				
Conductividad eléctrica	X	X	X	X		X
Sólidos totales disueltos (TDS)	X		X	X		X
Compuestos de Nitrógeno						
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	X			X		X
Nitrógeno Total (N)	X			X		X
Iones						
Sodio (Na ⁺)	X	X	X	X		X
Calcio (Ca ²⁺)		X		X		X

Parámetros Propuestos	Parámetros evaluados conforme a:					
	1. Transporte (movilidad o acumulación) de solutos en el suelo	2. Flujo: infiltración y permeabilidad.	3. Afectación Microbiológica	4. Afectación a la calidad del suelo	5. Incidencia en la salud humana.	6. Afectación a la calidad del Agua subterránea
Magnesio (Mg ²⁺)		X		X		X
Cloruros (Cl ⁻)	X	X	X	X		X
Fluoruros (F ⁻)	X		X	X		X
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	X		X	X		X
Sulfuros (S ²⁻)	X		X	X		X
Metales y metaloides						
Aluminio (Al)	X		X	X		X
Bario (Ba)			X	X	X	X
Boro (B)	X		X	X	X	X
Cadmio (Cd)			X	X		X
Zinc (Zn)			X		X	X
Cobre (Cu)			X		X	X
Cromo (Cr)			X	X	X	X
Hierro (Fe)	X		X			X
Litio (Li)			X			X
Manganeso (Mn)			X	X	X	X
Níquel (Ni)			X	X	X	X
Plata (Ag)			X	X		X
Plomo (Pb)			X	X	X	X
Vanadio (V)				X		X
Hidrocarburos						
Hidrocarburos Totales (HTP)	X		X	X	X	X
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) Parágrafo	X	X	X	X	X	X

Conforme al análisis realizado y haciendo énfasis en los impactos que se pueden presentar en el recurso suelo, el análisis de los límites máximos permisibles se apoyó en la siguiente información internacional: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), Gestión de la calidad del Agua de la FAO, Estándares de Calidad Ambiental de Agua para riego de Perú, Normativa Chilena Decreto 46 de 2003, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes de Ecuador, Norma Técnica Nacional para Agua de Honduras, Guía Canadiense de la Calidad del Agua, Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales del CEPIS. Información que fue contrastada con normatividad nacional como la Resolución 631 de 2015 *"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales"*, y la Resolución 883 de 2018 *"Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas"*. Con lo cual, la propuesta de límites máximos permisibles de vertimiento al suelo de Aguas Residuales No Domésticas Tratadas, estarían determinados así:

PARÁMETRO	UNIDADES	CATEGORIA I: En función de la	CATEGORÍA II y III LMP Vertimiento a suelo ARnDT Sensible vertimiento
Generales			
Temperatura	(°C)	+/- 5 °C	+/- 5 °C
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1000	700
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200	200
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90	90
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100	50
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20	20
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	(mg/L)	0,002	0,002
Fenoles	(mg/L)	0,1	0,01
Formaldehído	(mg/L)	0.4	0.2
Sólidos Disueltos Totales	(mg/L)	AR	AR
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5
Hidrocarburos			



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	CATEGORIA I: En función de la	CATEGORÍA II y III LMP Vertimiento a suelo ARnDT Sensible vertimiento
Hidrocarburos Totales (HTP)	(mg/L)	2,5	1
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)	0,01	0,001
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)	0,001	0,001
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	(mg/L)	8,0	8,0
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,3	0,3
Fósforo Total (P)	(mg/L)	5,0	2,0
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	(mg/L)	15	10
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,02
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1
Nitrógeno Total (N)	(mg/L)	30	20
Iones			
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,05	0,05
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)	250	140
Fluoruros (F ⁻)	(mg/L)	1,0	0,5
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mg/L)	250	250
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)	1,0	0,5
Metales y Metaloides			
Aluminio (Al)	(mg/L)	5,0	1,0
Antimonio (Sb)	(mg/L)	0,3	0,02
Arsénico (As)	(mg/L)	0,05	0,01
Bario (Ba)	(mg/L)	1,0	0,7
Berilio (Be)	(mg/L)	0,1	0,1
Boro (B)	(mg/L)	1,0	0,4
Cadmio (Cd)	(mg/L)	AR	AR
Zinc (Zn)	(mg/L)	3,0	2,0
Cobalto (Co)	(mg/L)	0,05	0,05
Cobre (Cu)	(mg/L)	2,0	1,0
Cromo (Cr)	(mg/L)	AR	AR
Estaño (Sn)	(mg/L)	2,0	2,0
Hierro (Fe)	(mg/L)	5,0	2,5
Litio (Li)	(mg/L)	2,5	2,5
Manganeso (Mn)	(mg/L)	2,0	0,2
Mercurio (Hg)	(mg/L)	0,002	0,001



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	CATEGORIA I: En función de la	CATEGORÍA II y III LMP Vertimiento a suelo ARnDT Sensible vertimiento
Molibdeno (Mo)	(mg/L)	0,1	0,05
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02
Plata (Ag)	(mg/L)	0,05	0,05
Plomo (Pb)	(mg/L)	3,0	0,1
Selenio (Se)	(mg/L)	0,02	0,01
Titanio (Ti)	(mg/L)	AR	AR
Vanadio (V)	(mg/L)	0,1	0,1

4.3 Análisis de información de sectores productivos

En línea con el ejercicio desarrollado de recopilación y análisis de información con las Autoridades ambientales, de que trata el numeral 3.3 del presente documento, el cual tuvo enfoque sobre la caracterización de las aguas residuales de origen no doméstico, se convocó a los principales sectores productivos: Agroindustria, Servicio públicos, Ganadería, Hidrocarburos, Minería, Producción de alimentos, Producción de sustancias químicas, entre otros. A pesar de hacer extensiva la invitación, la respuesta a la convocatoria se dio por parte de:

AGREMIACIONES QUE ATENDIERON LA SOLICITUD

1. Ecopetrol
2. Fedepalma
3. Fenavi
4. Federación Colombiana de Cafeteros
5. Asocaña
6. Andesco
7. Cenipalma

En la información recopilada se resalta que el mayor vertimiento que se hace sobre el suelo es de agua residual no doméstica, proveniente del sector de Hidrocarburos y de Servicios públicos con caudales máximos de hasta 1526 L/s y 867 L/s respectivamente. Se recibieron en total 1063 caracterizaciones a las que se aplicó un análisis estadístico de datos pudiendo determinar:

- Los compuestos que efectivamente están presentes en el agua de desecho de cada uno de los sectores
- Los compuestos con sus respectivos intervalos de concentraciones en los que oscila cada parámetro
- Los caudales de vertimiento trabaja cada sector productivo
- Los parámetros sensibles, que corresponden a aquellos en los cuales, debido a las características propias de las actividades desarrolladas en



Ambiente

cada sector productivo, el cumplimiento de los valores límites máximos permisibles para vertimientos representa una mayor complejidad técnica, operativa o económica

Numero de caracterizaciones recibidas que vierten al suelo

Sector	Numero
Hidrocarburos	1031
Palmero	10
Avícola	4
Cafetero	1
Servicios públicos	10
Cañero	7
Total	1063

Tabla 6. Número de caracterizaciones recibidas de vertimientos al suelo por parte de los sectores productivos.

Considerando las características, de calidad y cantidad de agua reportada por los sectores productivos, se proyecta el desarrollo normativo con el objeto de establecer los instrumentos necesarios para la prevención de una afectación ambiental a causa de vertimientos de Aguas Residuales NO Domésticas Tratadas (ARnD-T) al suelo, a través del establecimiento de los parámetros a monitorear en concordancia con las actividades desarrolladas por cada sector y los valores límites máximos permisibles establecidos con base en la capacidad de aceptación de la matriz receptora, así como los parámetros objeto de análisis y reporte que deberán cumplir quienes realizan vertimientos de ARnD-T puntuales al suelo.

Debido a la que no se contó con caracterización de aguas residuales para cada uno de los sectores productivos, se recopiló información bibliográfica de apoyo de caracterizaciones tipo para los sectores faltantes, y estas matrices fueron filtradas con diferentes actores académicos y sectoriales.

La selección de los parámetros para los cuales se definen Límites Máximos Permisibles (LMP) en los vertimientos de Aguas Residuales No Domésticas Tratadas (ARnDT) al suelo no es uniforme para todas las actividades económicas. Esta diferenciación responde a un análisis técnico y estadístico fundamentado en la naturaleza de los procesos productivos y la composición típica de sus efluentes.

Para establecer por qué algunos parámetros no son aplicables a determinados sectores, se han considerado los siguientes criterios:

1. **Presencia Efectiva en el Efluente:** La aplicabilidad se basa en la identificación de compuestos que efectivamente están presentes en el agua de desecho de cada sector, resultado de un análisis estadístico de 1.063 caracterizaciones recopiladas de gremios como Ecopetrol,



Ambiente

Fedepalma, Fenavi, entre otros. Si un analito no es propio del proceso productivo (por ejemplo, fenoles en el beneficio de café), este no se incluye como parámetro de cumplimiento obligatorio.

2. **Riesgo de Acumulación y Degradación:** El suelo, a diferencia del agua, es una matriz receptora donde los contaminantes tienden a acumularse en lugar de diluirse. Por lo tanto, parámetros como los metales pesados se priorizan en sectores industriales, mineros y de hidrocarburos debido a su persistencia y potencial de generar toxicidad irreversible en el recurso suelo.
3. **Impacto en la Salud del Suelo y Servicios Ecosistémicos:** En sectores como la agroindustria y la ganadería, se priorizan nutrientes como el Nitrógeno y el Fósforo debido a su impacto en los ciclos biogeoquímicos y el riesgo de saturación del espacio poroso. Parámetros químicos industriales complejos se excluyen en estos casos por no representar el riesgo principal de estas actividades.
4. **Armonización con Políticas Nacionales:** Algunos parámetros, como el **Mercurio**, no se incluyen en las tablas sectoriales debido a la política de reducción y eliminación de su uso establecida en la Ley 1658 de 2013. Bajo este marco, se asume que las ARnDT no deben contener este metal.

A continuación, se aclaran las exclusiones o aplicaciones específicas por grupos sectoriales:

- **Sector Servicio Público de Alcantarillado:** Al recibir aguas residuales municipales, se contempla un espectro amplio de parámetros generales y de hidrocarburos debido a la heterogeneidad de las cargas que recibe la red.
- **Sector Agroindustria:** Se enfoca en la carga orgánica (DQO, DBO5) y nutrientes. Se excluyen metales pesados específicos y compuestos halogenados en procesos como el beneficio de café, donde la materia orgánica y el pH son los factores de degradación dominantes.
- **Sectores Minería e Hidrocarburos:** Requieren el monitoreo más estricto de metales, metaloides y fenoles. Parámetros microbiológicos como coliformes son de análisis y reporte, pero no tienen un LMP de cumplimiento estricto, dado que el riesgo principal es la contaminación química y no la patogenicidad.
- **Sector Alimentos y Bebidas:** Se centra en grasas, aceites y materia orgánica. Se excluyen metales pesados de origen industrial y compuestos semivolátiles que no forman parte de los insumos de procesamiento de alimentos para consumo humano o animal.

Esta sectorización garantiza que las exigencias de monitoreo sean técnicamente proporcionales al riesgo ambiental que representa cada actividad, evitando



Ambiente

cargas administrativas y económicas innecesarias para los usuarios en parámetros que no son generados por su labor específica.

4.4 Parámetros por sector

Tabla 1: Parámetros para el sector del Servicio Público de Alcantarillado

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas Residuales Municipales	
		CAT I	CAT II Y III
Generales			
pH	Unidades de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductividad Eléctrica	(μS/cm)	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	(mg/L)	2,5	1,0
Compuestos de Fósforo			
Fósforo total (P)	(mg/L)	5,0	2,0
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno			
Nitrógeno total (N)	(mg/L)	30,0	20,0
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	(mg/L)	15,0	10,0
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1
Iones			
Relación de Absorción de Sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mg/L)	250,0	250,0
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)	1,0	0,5
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)	250,0	140,0
Metales y Metaloides			
Aluminio (Al)	(mg/L)	5,0	1,0
Bario (Ba)	(mg/L)	1,0	0,7
Boro (B)	(mg/L)	1,0	0,4
Zinc (Zn)	(mg/L)	3,0	2,0
Hierro (Fe)	(mg/L)	5,0	2,5
Manganeso (Mn)	(mg/L)	2,0	0,2
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02
Otros Parámetros			
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 2: Parámetros para el sector Agroindustria

PARÁMETRO	UNIDADES	Procesamiento de Hortalizas, Frutas, Legumbres, Raíces Y Tubérculos		Beneficio de Café (Clasificación de la Federación Nacional de Cafeteros - FNC-CENICAFE)			
				Proceso Ecológico		Proceso Tradicional	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Dirección: Calle 37 #8 - 40, Bogotá D.C., Colombia

Conmutador: (+57) 601 332 3400 - 3133463676

Línea Gratuita: (+57) 01 8000 919301



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Procesamiento de Hortalizas, Frutas, Legumbres, Raíces Y Tubérculos		Beneficio de Café (Clasificación de la Federación Nacional de Cafeteros - FNC-CENICAFE)			
		Categoría		Proceso Ecológico		Proceso Tradicional	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mgO_2/L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mgO_2/L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)					0,5	0,5
Compuestos de Fósforo							
Fósforo Total (P)	(mg/L)			5,0	2,0	5,0	2,0
Compuestos de Nitrógeno							
Nitratos (N-NO_3^-)	(mg/L)			15,0	10,0	15,0	10,0
Nitritos (N-NO_2^-)	(mg/L)			0,5	0,1	0,5	0,1
Nitrógeno Amoniacal (N-NH_3)	(mg/L)			0,3	0,1	0,3	0,1
Nitrógeno Total (N)	(mg/L)			30,0	20,0	30,0	20,0
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional			6,0	3,0	6,0	3,0
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m^{-1})	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m^{-1})	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m^{-1})	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 3: Parámetros para el sector Agroindustria

PARÁMETRO	UNIDADES	Procesos postcosecha de plátano y banano		Producción de azúcar y derivados a partir de caña de azúcar		Extracción de aceites de origen vegetal	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mgO ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mgO ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	(mg/L)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos							
Hidrocarburos Totales (HTP)	(mg/L)			2,5	1,0	2,5	1,0
Compuestos de Fósforo							
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)			0,5	0,5	0,5	0,5
Fósforo Total (P)	(mg/L)			5,0	2,0	5,0	2,0
Compuestos de Nitrógeno							
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	(mg/L)			15,0	10,0	15,0	10,0
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)			0,5	0,1	0,5	0,1
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)			0,3	0,1	0,3	0,1
Nitrógeno Total (N)	(mg/L)			30,0	20,0	30,0	20,0

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Dirección: Calle 37 #8 - 40, Bogotá D.C., Colombia

Conmutador: (+57) 601 332 3400 - 3133463676

Línea Gratuita: (+57) 01 8000 919301



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Procesos postcosecha de plátano y banano		Producción de azúcar y derivados a partir de caña de azúcar		Extracción de aceites de origen vegetal	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional			6,0	3,0	6,0	3,0
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)			250,0	140,0	250,0	140,0
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mg/L)			250,0	250,0	250,0	250,0
Metales y Metaloides							
Aluminio (Al)	(mg/L)			5,0	1,0		
Arsénico (As)	(mg/L)			0,05	0,01	0,05	0,01
Cadmio (Cd)	(mg/L)			AR	AR	AR	AR
Zinc (Zn)	(mg/L)			3,0	2,0		
Cobre (Cu)	(mg/L)			2,0	1,0		
Cromo (Cr)	(mg/L)			AR	AR		
Manganeso (Mn)	(mg/L)			2,0	0,2		
Níquel (Ni)	(mg/L)			0,2	0,02	0,2	0,02
Plomo (Pb)	(mg/L)			3,0	0,1	3,0	0,1
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 4: Parámetros para el sector Ganadería

PARÁMETRO	UNIDADES	Ganadería de bovino, bufalino, equino, ovino y/o caprino (Cría o Beneficio)		Ganadería de porcinos (Cría o Beneficio)		Beneficio dual (bovinos y porcinos)	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Fósforo							
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno							
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
Nitrógeno Total (N)	(mg/L)	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 5: Parámetros para el sector Ganadería

PARÁMETRO	UNIDADES	Ganadería de aves de corral (Incubación, Cría o Beneficio)		Acuicultura	
		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III
Generales					
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(μS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5		
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5
Fósforo Total (P)	(mg/L)	5,0	2,0	5,0	2,0
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	(mg/L)	15,0	10,0	15,0	10,0
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1	0,5	0,1
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1
Nitrógeno Total (N)	(mg/L)	30,0	20,0	30,0	20,0
Iones					
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2		
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)	250,0	140,0		
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mg/L)	250,0	250,0		
Otros Parámetros					
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 6: Parámetros para el sector Minería

PARÁMETROS	UNIDADES	Extracción de carbón de piedra y lignito		Extracción de minerales de hierro	
		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III
Generales					
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	9,0	90,0	9,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0
Fenoles	(mg/L)			0,1	0,01
Hidrocarburos					
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)	0,01	0,01		
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)	0,01	0,01		
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	(mg/L)	1,0	1,0		
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno					



Ambiente

PARÁMETROS	UNIDADES	Extracción de carbón de piedra y lignito		Extracción de minerales de hierro	
		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1	0,5	0,1
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1
Iones					
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2	0,2	0,2
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)	1,0	0,5	1,0	0,5
Metales y Metaloides					
Arsénico (As)	(mg/L)	0,05	0,01	0,05	0,01
Hierro (Fe)	(mg/L)	5,0	2,5	5,0	2,5
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02	0,2	0,02
Plomo (Pb)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cadmio (Cd)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Otros Parámetros					
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 7: Parámetros para el sector Minería

PARÁMETROS	UNIDADES	Extracción de oro y otros metales preciosos		Extracción de minerales de níquel y otros minerales metalíferos no ferrosos	
		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III
Generales					
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	9,0	90,0	9,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0
Fenoles	(mg/L)			0,1	0,01
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno					
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1	0,5	0,1
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1
Iones					
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2	0,2	0,2
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)	1,0	0,5	1,0	0,5
Metales y Metaloides					
Arsénico (As)	(mg/L)	0,05	0,01	0,05	0,01
Hierro (Fe)	(mg/L)	5,0	2,5	5,0	2,5
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02	0,2	0,02
Plomo (Pb)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Cadmio (Cd)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Otros Parámetros					
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte



Ambiente

PARÁMETROS	UNIDADES	Extracción de oro y otros metales preciosos		Extracción de minerales de níquel y otros minerales metalíferos no ferrosos	
		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 8: Parámetros para el sector Hidrocarburos

PARÁMETRO	UNIDADES	Exploración (upstream)		Producción (upstream)		Refino	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Fenoles	(mg/L)	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos							
Hidrocarburos Totales (HTP)	(mg/L)	2,5	1,0	2,5	1,0	2,5	1,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	(mg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Compuestos de Fósforo							
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fósforo Total (P)	(mg/L)	5,0	2,0	5,0	2,0	5,0	2,0
Compuestos de Nitrógeno							
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	(mg/L)	15,0	10,0				
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1				
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
Nitrógeno Total (N)	(mg/L)	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)	250,0	140,0	250,0	140,0	250,0	140,0
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mg/L)	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
Fluoruros (F ⁻)	(mg/L)					1,5	1,0
Metales y Metaloides							
Aluminio (Al)	(mg/L)	5,0	1,0	5,0	1,0	5,0	1,0
Arsénico (As)	(mg/L)	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
Bario (Ba)	(mg/L)	1,0	0,7	1,0	0,7	1,0	0,7
Berilio (Be)	(mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Boro (B)	(mg/L)	1,0	0,4	1,0	0,4	1,0	0,4
Cadmio (Cd)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Zinc (Zn)	(mg/L)	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0
Cobalto (Co)	(mg/L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cobre (Cu)	(mg/L)	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0
Cromo (Cr)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Estaño (Sn)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hierro (Fe)	(mg/L)	5,0	2,5	5,0	2,5	5,0	2,5
Manganeso (Mn)	(mg/L)	2,0	0,2	2,0	0,2	2,0	0,2



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Exploración (upstream)		Producción (upstream)		Refino	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Molibdeno (Mo)	(mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02
Plata (Ag)	(mg/L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Plomo (Pb)	(mg/L)	3,0	0,1	3,0	0,1	3,0	0,1
Selenio (Se)	(mg/L)	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Vanadio (V)	(mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 9: Parámetros para el sector Hidrocarburos

PARÁMETRO	UNIDADES	Venta y distribución (downstream)		Transporte y almacenamiento (midstream)	
		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III
Generales					
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0
Fenoles	(mg/L)	0,1	0,01	0,1	0,01
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos					
Hidrocarburos Totales (HTP)	(mg/L)	2,5	1,0	2,5	1,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	(mg/L)	1,0	1,0		
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5		
Fósforo Total (P)		5,0	2,0		
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	(mg/L)	15,0	10,0		
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1		
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1		
Nitrógeno Total (N)	(mg/L)	30,0	20,0		
Iones					
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0		
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2		
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)	250,0	140,0		
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mg/L)	250,0	250,0		
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)	1,0	0,5		
Metales y Metaloides					
Aluminio (Al)	(mg/L)	5,0	1,0		
Arsénico (As)	(mg/L)	0,05	0,01		
Bario (Ba)	(mg/L)	1,0	0,7		
Berilio (Be)	(mg/L)	0,1	0,1		
Boro (B)	(mg/L)	1,0	0,4		



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Venta y distribución (downstream)		Transporte y almacenamiento (midstream)	
		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III
Cadmio (Cd)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Zinc (Zn)	(mg/L)	3,0	2,0		
Cobalto (Co)	(mg/L)	0,05	0,05		
Cobre (Cu)	(mg/L)	2,0	1,0		
Cromo (Cr)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Estaño (Sn)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Hierro (Fe)	(mg/L)	5,0	2,5		
Manganeso (Mn)	(mg/L)	2,0	0,2		
Molibdeno (Mo)	(mg/L)	0,1	0,1		
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02		
Plata (Ag)	(mg/L)	0,05	0,05		
Plomo (Pb)	(mg/L)	3,0	0,1		
Selenio (Se)	(mg/L)	0,02	0,01		
Vanadio (V)	(mg/L)	0,1	0,1		
Otros Parámetros					
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 10: Parámetros para el sector alimentos y bebidas

PARÁMETRO	UNIDADES	Elaboración de productos alimenticios		Elaboración de alimentos preparados para animales		Elaboración de maltas y cervezas		Elaboración de bebidas no alcohólicas, aguas minerales y otras aguas embotelladas	
		Categoría		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales									
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	(mg/L)	0,002	0,002			0,002	0,002	0,002	0,002
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Fósforo									
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno									
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1	0,5	0,1				
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1		
Iones									
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2	0,2	0,2				



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Elaboración de productos alimenticios		Elaboración de alimentos preparados para animales		Elaboración de maltas y cervezas		Elaboración de bebidas no alcohólicas, aguas minerales y otras aguas embotelladas	
		Categoría		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Metales y Metaloides									
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02						
Otros Parámetros									
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 ml)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 11: Parámetros para el sector alimentos y bebidas

PARÁMETRO	UNIDADES	Elaboración de productos lácteos		Elaboración de aceites y grasas de origen animal y vegetal		Elaboración de café soluble	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(μS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	(mg/L)			0,002	0,002	0,002	0,002
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5		
Compuestos de Fósforo							
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5		
Compuestos de Nitrógeno							
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1	0,5	0,1		
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1		
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0		
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2	0,2	0,2		
Metales y Metaloides							
Níquel (Ni)	(mg/L)			0,2	0,02		
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 ml.)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte



Ambiente

Tabla 12: Parámetros para el sector fabricación y manufactura de bienes

PARÁMETRO	UNIDADES	Fabricación de productos derivados del tabaco		Fabricación de productos textiles		Fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(μS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0				
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos							
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)			0,01	0,01	0,01	0,01
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)					0,01	0,01
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	(mg/L)			1,0	1,0	1,0	1,0
Compuestos de Fósforo							
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno							
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)			250,0	140,0		
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)			1,0	0,5	1,0	0,5
Metales y Metaloides							
Aluminio (Al)	(mg/L)			5,0	1,0	5,0	1,0
Cobalto (Co)	(mg/L)			0,05	0,05	0,05	0,05
Cromo (Cr)	(mg/L)					Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Níquel (Ni)	(mg/L)			0,2	0,02		
Cadmio (Cd)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Plomo (Pb)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte				
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 13: Parámetros para el sector fabricación y manufactura de bienes



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Fabricación de gases industriales y medicinales		Fabricación de papel y cartón - plantas integradas de pulpa blanqueada (maderables y no maderables)		Fabricación de papel y cartón a partir de fibras recicladas	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	(mg/L)	0,002	0,002	0,002	0,002		
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos							
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)			0,01	0,01	0,01	0,01
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)			0,01	0,01	0,01	0,01
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	(mg/L)			1,0	1,0	1,0	1,0
Compuestos de Fósforo							
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)			0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno							
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)			0,3	0,1	0,3	0,1
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Cloruros (Cl ⁻)	(mg/L)			250,0	140,0		
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)			1,0	0,5	1,0	0,5
Metales y Metaloides							
Bario (Ba)	(mg/L)					1,0	0,7
Níquel (Ni)	(mg/L)					0,2	0,02
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 14: Parámetros para el sector fabricación y manufactura de bienes

PARÁMETRO	UNIDADES	Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados		Fabricación de sustancias y productos químicos		Fabricación de ácidos inorgánicos y sus sales		Fabricación de plásticos en formas primarias, de formas básicas y artículos de plástico	
		Categoría		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales									
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Dirección: Calle 37 #8 - 40, Bogotá D.C., Colombia

Conmutador: (+57) 601 332 3400 - 3133463676

Línea Gratuita: (+57) 01 8000 919301



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados		Fabricación de sustancias y productos químicos		Fabricación de ácidos inorgánicos y sus sales		Fabricación de plásticos en formas primarias, de formas básicas y artículos de plástico	
		Categoría		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Formaldehído	(mg/L)			AR	AR				
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5			0,5	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos									
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)							0,01	0,01
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)							0,01	0,01
Compuestos de Fósforo									
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5						
Compuestos de Nitrógeno									
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1						
Iones									
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fluoruros (F ⁻)	(mg/L)							1,5	1,0
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
Metales y Metaloides									
Arsénico (As)	(mg/L)	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01
Cobalto (Co)	(mg/L)			0,05	0,05	0,05	0,05		
Estaño (Sn)	(mg/L)							AR	AR
Hierro (Fe)	(mg/L)							5,0	2,5
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02
Selenio (Se)	(mg/L)			0,02	0,01	0,02	0,01		
Otros Parámetros									
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 15: Parámetros para las Actividades asociadas con servicios

PARÁMETRO	UNIDADES	Generación de energía eléctrica		Tratamiento y disposición de residuos		Reciclaje de materiales plásticos y similares		Reciclaje de tambores	
		Categoría		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales									
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(μS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	(mg/L)			0,002	0,002				
Fenoles	(mg/L)	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01
Formaldehído	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Generación de energía eléctrica		Tratamiento y disposición de residuos		Reciclaje de materiales plásticos y similares		Reciclaje de tambores	
		Categoría		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hidrocarburos									
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	(mg/L)			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Compuestos de Fósforo									
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5				
Compuestos de Nitrógeno									
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)			0,3	0,1				
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)			0,5	0,1				
Iones									
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)			0,2	0,2				
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	(mg/L)	250,0	250,0	250,0	250,0				
Sulfuros (S ²⁻)	(mg/L)			1,0	0,5				
Metales y Metaloides									
Aluminio (Al)	(mg/L)	5,0	1,0	5,0	1,0				
Antimonio (Sb)	(mg/L)	0,1	0,02						
Arsénico (As)	(mg/L)	0,05	0,01	0,05	0,01			0,05	0,01
Bario (Ba)	(mg/L)	1,0	0,7	1,0	0,7				
Berilio (Be)	(mg/L)			0,1	0,1				
Boro (B)	(mg/L)			1,0	0,4				
Cadmio (Cd)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte				
Zinc (Zn)	(mg/L)			3,0	2,0				
Cobalto (Co)	(mg/L)			0,05	0,05				
Cobre (Cu)	(mg/L)	2,0	1,0	2,0	1,0				
Cromo (Cr)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte				
Estaño (Sn)	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hierro (Fe)	(mg/L)	5,0	2,5	5,0	2,5	5,0	2,5	5,0	2,5
Manganeso (Mn)	(mg/L)	2,0	0,2	2,0	0,2				
Molibdeno (Mo)	(mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1				
Níquel (Ni)	(mg/L)	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02	0,2	0,02
Plomo (Pb)	(mg/L)	3,0	0,1	3,0	0,1				
Selenio (Se)	(mg/L)	0,02	0,01	0,02	0,01				
Vanadio (V)	(mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1				
Otros Parámetros									
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 16: Parámetros para las Actividades asociadas con servicios



Ambiente

PARÁMETRO	UNIDADES	Actividades de atención a la salud humana - atención médica con y sin internación		Actividades de atención a la salud humana - hemodiálisis y diálisis peritoneal		Pompas fúnebres y actividades relacionadas	
		Categoría		Categoría		Categoría	
		I	II Y III	I	II Y III	I	II Y III
Generales							
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Fenoles	(mg/L)	0,1	0,01			0,1	0,01
Formaldehído	(mg/L)					Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)			0,5	0,5	0,5	0,5
Compuestos de Fósforo							
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	(mg/L)	0,5	0,5			0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno							
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	(mg/L)	0,3	0,1			0,3	0,1
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	0,5	0,1				
Iones							
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	6,0	3,0	6,0	3,0	6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)	(mg/L)	0,2	0,2				
Otros Parámetros							
Color Real 436 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm	(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 17: Parámetros para las Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas previamente

PARÁMETRO	UNIDADES	Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas previamente	
		CAT I	CAT II y III
Generales			
pH	Unidades de pH	6,5-8,5	6,5-8,5
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	1.000,0	700,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg O ₂ /L)	200,0	200,0
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	(mg O ₂ /L)	90,0	9,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	(mg/L)	100,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	(mL/L)	3,5	1,5
Grasas y Aceites	(mg/L)	20,0	20,0
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	(mg/L)	0,002	0,002
Fenoles	(mg/L)	0,1	0,01
Formaldehído	(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	(mg/L)	0,5	0,5
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	(mg/L)	2,5	1,0
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	(mg/L)	0,01	0,01
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	(mg/L)	0,01	0,01



Ambiente

Compuestos Orgánicos Adsorbibles (AOX)	Halogenados	(mg/L)	1,0	1,0
Compuestos de Fósforo				
Fósforo total		(mg/L)	5,0	2,0
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)		(mg/L)	0,5	0,5
Compuestos de Nitrógeno				
Nitrógeno total		(mg/L)	30,0	20,0
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)		(mg/L)	15,0	10,0
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)		(mg/L)	0,5	0,1
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)		(mg/L)	0,3	0,1
Iones				
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional		6,0	3,0
Cianuro Total (CN ⁻)		(mg/L)	0,2	0,2
Cloruros (Cl ⁻)		(mg/L)	250,0	140,0
Fluoruros (F ⁻)		(mg/L)	1,5	1,0
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)		(mg/L)	250,0	250,0
Sulfuros (S ²⁻)		(mg/L)	1,0	0,5
Metales y Metaloides				
Aluminio (Al)		(mg/L)	5,0	1,0
Antimonio (Sb)		(mg/L)	0,1	0,02
Arsénico (As)		(mg/L)	0,05	0,01
Bario (Ba)		(mg/L)	1,0	0,7
Berilio (Be)		(mg/L)	0,1	0,1
Boro (B)		(mg/L)	1,0	0,4
Cadmio (Cd)		(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Zinc (Zn)		(mg/L)	3,0	2,0
Cobalto (Co)		(mg/L)	0,05	0,05
Cobre (Cu)		(mg/L)	2,0	1,0
Cromo (Cr)		(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Estaño (Sn)		(mg/L)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hierro (Fe)		(mg/L)	5,0	2,5
Manganeso (Mn)		(mg/L)	2,0	0,2
Molibdeno (Mo)		(mg/L)	0,1	0,07
Níquel (Ni)		(mg/L)	0,2	0,02
Plata (Ag)		(mg/L)	0,05	0,05
Plomo (Pb)		(mg/L)	3,0	0,1
Selenio (Se)		(mg/L)	0,02	0,01
Litio (Li)		(mg/L)	2,5	2,5
Vanadio (V)		(mg/L)	0,1	0,1
Otros Parámetros				
Color Real 436 nm		(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 525 nm		(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real 620 nm		(m ⁻¹)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Coliformes Termotolerantes		(NMP/100 mL)	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

5 Bibliografía

- Adams, R. H., Zavala-Cruz, J., & Morales García, F. A. (2008). Concentración residual de hidrocarburos en el suelo del trópico. II: afectación a la fertilidad y su recuperación. *INTERCIENCIA*, 33(7).
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33933703>
- Alloy, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils* (B. J. Alloway, Ed.; 3rd ed., Vol. 22). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- ATSDR. (n.d.). *Resumen de Salud Pública Cadmio*. www.atsdr.cdc.gov/es
- Ayers, R. S., & Westcott, D. W. (1994). *Water quality for agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/4/T0234e/T0234e00.htm#TOC>



Ambiente

- Barrera Gallegos, L. A., & Velecela Romero, F. A. (2015). *Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el gobierno autónomo descentralizado del Cantón Azogues*.
- Burbano Orjuela, H. (2010). *Ciencia de Suelo Principios básicos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Burt, R. (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual*.
- Can Chulim, Á., Ramírez Ayala, C., Ortega Escobar, M., Trejo López, C., & Cruz Díaz, J. (2008). Evaluation of the Sodium Adsorption Ratio in Waters of the Tulancingo River, State of Hidalgo, Mexico. *TerraLatinoamericana*, 26, 243–252.
- CAR-Cundinamarca. (2018). *Metodologías De Toma De Muestras Para Degradación De Suelos Para Envío a Laboratorio Y/O in Situ Para Diagnóstico Rápido Dirección De Recursos Naturales-Drn*. 1–35.
- Chae, Y., Kim, L., Kim, D., Cui, R., Lee, J., & An, Y. J. (2020). Deriving hazardous concentrations of phenol in soil ecosystems using a species sensitivity distribution approach. *Journal of Hazardous Materials*, 399. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123036>
- Cárdenas Calvachi, G. L., & Sánchez Ortiz, I. A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 72–88. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007&lang=pt
- Decreto 050 (2018).
- Estándares de calidad ambiental de agua*. (n.d.). Retrieved September 1, 2024, from http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf
- FAO. (2016). Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. In *Boletín De La Tierra Y Su Uso Para La Agricultura Sostenible Y El Desarrollo Rural* (Vol. 5, p. pp.48-59). <http://www.fao.org/tempref/agl/agll/docs/lw5s.pdf>
- FAO. (2017). *Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos*. 1 a 15–15. <http://www.fao.org/3/i6874es/I6874ES.pdf>
- FAO, & ITPS. (2015). Chapter 12. Regional assessment of soil changes in Latin America and the Caribbean. In *Status of the World's Soil Resources* (p. 650).
- IGAC. (2014). *INSTRUCTIVO CÓDIGOS PARA LOS LEVANTAMIENTOS DE SUELOS*.
- Kahru, A., Maloverjan, A., Sillak, H., & P611umaa, L. (2002). The Toxicity and Fate of Phenolic Pollutants in the Contaminated Soils Associated with the OibShale Industry. *Environ Sci & Pollut Res*, 1, 27–33.
- MADS - PGSS. (2016). *POLÍTICA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO*.
- MADS, ANH, U. Nacional de Colombia, & FUCOLDE. (2020). *Guía para la modelación del flujo de contaminantes en la zona no saturada del suelo*.
- MADS, IDEAM, & U.D.C.A. (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*.



Ambiente

- <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
- McClean, J. E., & Bledsoe, B. E. (1992). *Ground Water Issue. Behavior of Metals in Soils*.
- Murcia-Sarmiento, M. L., Calderón-Montoya, O. G., & Díaz-Ortiz, J. E. (2014). Grey water impact on soil physical properties. In *Tecno Lógicas* (Vol. 17, Issue 32).
- Oluwasanu, A. A. (2018). Fate and Toxicity of Chlorinated Phenols of Environmental Implications: A Review. *Medicinal & Analytical Chemistry International Journal*, 2(4). <https://doi.org/10.23880/macij-16000126>
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4).
- Parra Terraza, S. (2016). Cloruro/Aniones y Sodio/Cationes en soluciones nutritivas y composición mineral de cultivares de tomate. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 219-227.
- Peana, M., Medici, S., Dadar, M., Zoroddu, M. A., Pelucelli, A., Chasapis, C. T., & Bjørklund, G. (2021). Environmental barium: potential exposure and health-hazards. In *Archives of Toxicology* (Vol. 95, Issue 8, pp. 2605-2612). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00204-021-03049-5>
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., & Roquero de Laburu, C. (1994). *Edafología : para la agricultura y el medio ambiente* (Mundi-Pren).
- Resolución Número 2115 Por Medio de La Cual Se Señalan Características, Instrumentos Básicos y Frecuencias Del Sistema de Control y Vigilancia Para La Calidad Del Agua Para Consumo Humano. (2007).
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., & Romero, H. (2015). La toxicidad por aluminio (Al 3+) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite* Aluminum (Al 3+) Toxicity as a Limiting Factor for Growth and Agricultural Productivity: The Case of Oil Palm. *Revista Palmas*, 37(1).
- Shah, A. N., Tanveer, M., Hussain, S., & Yang, G. (2016). Beryllium in the environment: Whether fatal for plant growth? In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 15, Issue 4, pp. 549-561). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9412-z>
- Srogi, K. (2007). Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 5, Issue 4, pp. 169-195). Springer Verlag.
- Winpenny, J., Heinz, I., & Koo-Oshima, S. (2013). *Reutilización del agua y agricultura: Beneficios para todos?* <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/916c897d-a65a-4e72-8b0b-c1022154c7df/content>

6 Anexo 1



Ambiente

Anexo 1. Comparación de normas calidad de aguas 1594 del DUR 1076, 2115 2007, 631, 883 (501 de 2022), 699, resolución 622 del 2020 Calidad y vertimiento

EN CONSULTA PÚBLICA