PROTOCOLO

PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN
DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS

POR SALINIZACIÓN

IDEAM | CAR | U.D.C.A

PROTOCOLO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN EN COLOMBIA

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
Subdirección de ecosistemas e información ambiental

Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas (U.D.C.A)
Facultad de ingeniería

CÍTESE COMO

IDEAM, CAR y U.D.C.A, 2017. Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización. IDEAM.

ISBN: 978-958-8067-85-8

2017, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM.

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

Juan Manuel Santos Calderón
Presidente de la República de Colombia

Luis Gilberto Murillo
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

Carlos Alberto Botero López
Viceministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

Omar Franco Torres
Director General
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

María Saralux Valbuena
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental (IDEAM)











EDITORES
Javier Otero García
Reinaldo Sánchez López
Blanca Imelda Montañez Orozco
María Daniela Gómez Salcedo
Eliana Marcela Mendoza Parra

.Puntoaparte bookvertising

DIRECCIÓN EDITORIAL
Andrés Barragán
Juan Mikán

DIRECCIÓN DE ARTE
Mateo L. Zúñiga
Diego H. Cobos

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Gustavo Barrera
Ivana Vargas
Nicolás Carvajal Prada
Laura Triana

ILUSTRACIÓN
Diego H. Cobos

IMPRESIÓN
Zetta Comunicadores

ARCHIVO FOTOGRÁFICO
Grupo de Suelos y Tierras del IDEAM.

CARTOGRAFÍA
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Omar Franco Torres
Director General (IDEAM)

Adriana Jazmín Portillo Trujillo
Secretaria General (IDEAM)

CONSEJO DIRECTIVO
Luis Gilberto Murillo
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Jorge Eduardo Rojas
Ministro de Transporte

Simón Gaviria Muñoz
Director de Departamento Nacional de Planeación (DNP)

Mauricio Perffeti del Corral
Director del Departamento Nacional de Estadísticas (DANE)

Juan Pablo Ruiz Soto
Delegado de la Presidencia de la República

Ramón Leal Leal
Director Ejecutivo de la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (Asocars)

Yaneth Giha Tovar
Directora General del Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación (Colciencias)

Adriana Jazmín Portillo Trujillo
Secretaria técnica del Consejo

DIRECTIVAS
María Saralux Valbuena López
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

Rocío Rodríguez Granados
Subdirectora de Estudios Ambientales

Nelson Omar Vargas Martínez
Subdirector de Hidrología

Yadira Cárdenas Posso
Subdirectora de Meteorología

Christian Felipe Euscátegui Collazos
Jefe de Oficina de Pronósticos y Alertas

Juan Carlos Arturo Lobo Torres
Jefe de Oficina Asesora de Planeación

Ivonne Maritza Vargas Padilla
Coordinadora del Grupo de Comunicaciones

Leonardo Cárdenas Chitiva
Jefe de Oficina de Informática

Gilberto Antonio Ramos Suárez
Jefe de Oficina Asesora Jurídica

María Eugenia Patiño Jurado
Jefe de Oficina Control Interno

Diana Quimbay Valencia
Jefe de Oficina Cooperación Internacional

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)

Néstor Guillermo Franco González
Director General

Ana Érika Jineth Peña Castellanos
Secretaria General

CONSEJO DIRECTIVO

Juan Manuel Santos
Presidente de la República

Julio César Turbay
Representante del Señor Presidente

Jorge Emilio Rey Ángel
Gobernador de Cundinamarca

Carlos Andrés Amaya Rodríguez
Gobernador de Boyacá

Wilmer Leal Pérez
Delegado del Señor Gobernador de Boyacá

Enrique Peñalosa Londoño
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada
Delegado del Señor Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Luis Gilberto Murillo
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Luis Antonio Cifuentes Sabogal
Alcalde Municipal de Fusagasugá

Rafael Mauricio Forero Briceño
Alcalde Municipal de Machetá

Oscar Eduardo Rocha Ramírez
Alcalde Municipal de Susa

Rodrigo Ancízar Sánchez Suárez
Alcalde Municipal de San Miguel de Sema

Magdalena Collazos Luna
Representante del Sector Privado. Asociación de Tenderos de Girardot (Asotengir)

Luis Alfonso Rubiano López
Representante del Sector Privado. Asociación Colombiana de Criadores de Ganado (Limousin)

Julio Hernando Balsero
Representante de las comunidades indígenas

Luis Alejandro Motta Martínez
Representante de Entidades sin ánimo de lucro (Asoeco)

Andrés Iván Garzón
Representante de Entidades sin ánimo de lucro (ECO XXI)

DIRECTIVAS

César Clavijo Ríos
Monitoreo, Modelamiento y Laboratorio Ambiental

Juan Camilo Ferrer Tobón
Jurídico

Martha Mercedes Carrillo Silva
Cultura Ambiental y Servicio al Ciudadano

Sandra Cecilia Ramos Campos
Control Disciplinario Interno

Carlos Antonio Bello Quintero
Evaluación, Seguimiento y Control Ambiental

Germán Camilo Bello Zapata
Gestión del Ordenamiento Ambiental y Territorial

Manuel Andrés González Malagón
Operativo de la Infraestructura

Aníbal Segundo Acosta Pulido
Operativo Proyecto FIAB

Hugo Fernando Londoño Ulloa (E)
Administrativo y Financiero

Guillermo Berrío Gracia
Revisor Fiscal

Carlos Andrés Silva Sánchez
Comunicaciones

Claudia Rocío Sandoval Ruiz
Control Interno

Jesús Humberto Patiño Pesellín
Planeación

Olga Liliana Ramírez Mancera
Talento Humano

Luis Adolfo Romero Cardozo
Tecnologías de Información y Comunicación

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES (U.D.C.A)

Germán Anzola Montero
Rector

Xiomara Zarur Miranda
Vicerrectora de Extensión y Proyección Social

Lorena Carillo Barbosa
Decana Facultad de Ingeniería

Fernando Colorado López
Director Programa de Ingeniería Agronómica

AUTORES

Javier Otero García
Reinaldo Sánchez López
Blanca Imelda Montañez Orozco
Carlos Eduardo Gómez Sánchez
Ana Isabel Sevillano Cárdenas
Fredy Hernando Neira Méndez
Julio César Álvarez Peña

Equipo de trabajo Grupo de Suelos y Tierras IDEAM – Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A)

Ignacio Arias Burgos / Gustavo Edelmo Bonilla Arias / Carlos Jorge Caicedo Cuervo / Andrés Calle Méndez / Milton Antonio Camacho / Wilmar Daher Castaño Sánchez / Pablo Coy / María Angélica Fernández García / Daniel Gama Beltrán / María Daniela Gómez Salcedo / Angie Roxana González Cubides / Yolanda González Hernández / Maria Camila Gómez Bonilla / Giovanny Guarín Vargas / Camilo Andrés López Cuervo / Ángela Viviana Martínez Roa / Paula Milena Hernández Marroquín / Eliana Marcela Mendoza Parra / Yenny Beatriz Mendoza Parra / Alba Lucía Montoya Morales / Pablo Cesar Otálora Cárdenas / Juan David Palencia Rivera / José Alejandro Salamanca García / Marco Antonio Suárez Galeano / Edson Giovanni Urrego Marroquín / Inés Valencia Restrepo / Lina Rocio Viasus Figueredo / Jamer Zúñiga Galindo

Grupo de trabajo de CAR

César Clavijo Ríos
Director de Monitoreo, Modelamiento y Laboratorio Ambiental (CAR)

John Eduard Rojas Rojas
Dirección de Monitoreo, Modelamiento y Laboratorio Ambiental (CAR)

Sulma Alexandra Gómez B.
Dirección de Monitoreo, Modelamiento y Laboratorio Ambiental (CAR)

Coordinación y supervisión

María Saralux Valbuena López
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental (IDEAM)

Reinaldo Sánchez López
Coordinador Grupo de Suelos y Tierras. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental (IDEAM)

Blanca Imelda Montañez Orozco
Coordinadora Técnica (U.D.C.A)

Sulma Alexandra Gómez
Supervisora Convenio 1293 de 2016

COLABORADORES

Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca (CAR)

Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca (CVC)

Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAC)

Unidad de planificación Rural Agropecuaria (UPRA)

Servicio Geológico Colombiano (SGC)

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA)

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

Confederación Colombiana del Algodón (CONALGODON)

Universidad del Valle

Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

Universidad de Cundinamarca

Federación Nacional de Productores de Arroz – FEDEARROZ

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

Asociación Hortofruticultora de Colombia (ASOHOFRUCOL)

Alcaldías de los municipios de Cundinamarca:

Jerusalén, Albán, Nariño, Agua de Dios, Nilo, El Colegio, Guatavita, San Francisco, Tocaima, Villa Gómez, El Rosal, Zipacón, Tenjo, Facatativá, Madrid, Suesca, Gachancipá, Cota.



PRÓLOGO

El deterioro de la calidad de los suelos es un problema creciente y de preocupación mundial, ocasionado por dinámicas naturales y antrópicas, que se manifiesta con la degradación y la contaminación. En particular, la degradación mantiene una estrecha relación con la variabilidad y el cambio climático, la deforestación, el uso del territorio, la pobreza, el hambre, la inseguridad y la violencia social, la calidad de vida de las personas y el aumento de las amenazas naturales (deslizamientos, crecientes súbitas, sedimentación, inundaciones y sequías, entre otras).

Ante el aumento del deterioro de la calidad de los suelos en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) avanza en el proceso de oficialización e implementación de la *Política para la gestión sostenible del suelo en Colombia* (PGSS), por medio de programas y proyectos en cada una de las líneas estratégicas propuestas.

El IDEAM, en el marco de sus funciones, lidera el monitoreo del estado de la calidad de los suelos, como parte de la línea estratégica 4 de la PGSS, mediante la implementación del *Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras*, el cual prevé la elaboración de instrumentos y protocolos para la identificación y evaluación de los procesos de degradación.

En esta oportunidad, mediante una alianza estratégica entre el IDEAM, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A), con el aporte de los institutos de investigación, las corporaciones autónomas regionales, la academia y la sociedad en general, se presenta al país el documento metodológico *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de los suelos por salinización* como instrumento para consolidar el programa de monitoreo y seguimiento en el marco de la gestión sostenible.

El propósito de este protocolo es ofrecer los lineamientos técnicos y de planificación para la identificación, la zonificación, el análisis y la evaluación del proceso de degradación de los suelos por salinización a nivel nacional, regional y local, de cara al monitoreo y seguimiento del estado de la degradación de los suelos por salinización. De acuerdo a esto, la finalidad será la prevención, mitigación, rehabilitación y adaptación de los suelos del país frente a este proceso.

El protocolo presenta un marco conceptual y metodológico actualizado que aborda la clasificación y calificación de los procesos actuales y probables de salinización. Para ello, se apoya en referentes de investigación a nivel mundial y se fundamenta en el conocimiento, las técnicas y el diseño de muestreo en campo, los análisis de laboratorio y las experiencias internacionales y nacionales aplicables a nuestro medio. Además, propone elementos técnicos innovadores validados a nivel nacional, regional y local.

En el documento se presentan las fases, etapas y actividades enmarcadas en el modelo conceptual de los indicadores FPEIR (Fuerzas, Presión, Estado, Impacto y Respuesta), donde se establecen los lineamientos para su representación espacial y el diseño para el muestreo mediante la zonificación de los procesos de degradación por salinización actuales y probables en el corto, mediano y largo plazo. Así mismo se identifican y evalúan las principales causas directas e indirectas (fuerzas motrices, presiones) de esta problemática ambiental; y también se analizan y evalúan las consecuencias (impactos) que este proceso ha ocasionado en los ámbitos económico, social y ecológico. Además, se realiza un análisis de las respuestas, es decir, de la gestión que se está realizando y que se debería realizar, a diferentes niveles, para la prevención, la rehabilitación, la mitigación o la adaptación del proceso de degradación de suelos por salinización por medio de acciones, programas y proyectos estatales y privados.

En este contexto, el documento presenta una propuesta de indicadores y sus alternativas, de acuerdo con la disponibilidad de información, que permite la evaluación y priorización de acciones para la toma decisiones. Así, se espera que este protocolo sea un referente para el monitoreo y seguimiento de los procesos de degradación de los suelos por salinización en Colombia, en el marco de la gestión sostenible de este recurso natural.



CONTEXTO GENERAL

1. INTRODUCCIÓN [12]

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN [14]

3. ALCANCE [26]

4. OBJETIVOS [30]

5. MARCO DE REFERENCIA [32]

6. METODOLOGÍA GENERAL [48]



METODOLOGÍA A NIVEL REGIONAL Y NACIONAL

7. FASE DE ZONIFICACIÓN [62]

8. FASE DE CARACTERIZACIÓN [104]

9. FASE DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN [136]



METODOLOGÍA A NIVEL LOCAL

10. FASE DE ZONIFICACIÓN A NIVEL LOCAL [146]

11. FASE DE CARACTERIZACIÓN A NIVEL LOCAL [170]

12. FASE DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN A NIVEL LOCAL [180]



RECOMENDACIONES Y LINEAMIENTOS

13. RECOMENDACIONES PARA LA MPLEMENTACIÓN [188]

14. LINEAMIENTOS PARA EL MONITOREO Y EL SEGUIMIENTO DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN [200]



PROTOCOLO | IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA **DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN**

A. CONTEXTO GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN
3. ALCANCE
4. OBJETIVOS
5. MARCO DE REFERENCIA
6. METODOLOGÍA GENERAL

IDEAM | CAR | U.D.C.A



1. INTRODUCCIÓN

Las presiones antrópicas que se ejercen sobre los principales servicios ecosistémicos del suelo, esenciales para la vida humana (por ejemplo, la provisión de alimentos, materias primas y materiales genéticos y medicinales), han desencadenado procesos de degradación de los suelos que están amenazando el equilibrio ecológico, la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible de la sociedad. Por lo tanto, es de especial importancia implementar un manejo sostenible de los suelos que evite que estos procesos se presenten y pongan en riesgo la calidad del recurso. Entre estos procesos se encuentra la salinización: un grave problema que se deriva en gran parte de actividades humanas, principalmente la agricultura de regadío que no considera la calidad de las aguas para riego y las características de los suelos, por lo que realiza un uso inadecuado de ellos.

Colombia se encuentra en proceso para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde el manejo apropiado de los suelos juega un papel fundamental. En ese sentido, uno de los mecanismos más eficaces para el logro de los ODS es la *Política para la gestión sostenible del suelo*, aprobada desde el 2015, que desarrolla dentro de sus líneas estratégicas el monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos. En esa línea, el IDEAM lleva adelante la implementación del Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras, que considera, entre otras tareas, la identificación, zonificación y evaluación de la línea base de degradación de suelos por salinización.

En este contexto, el protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos por salinización es un instrumento clave que permite caracterizar la complejidad de tales eventos en cuanto a su composición, dinámica (variables biofísicas y socioeconómicas) y funcionalidad. A la vez, indica cómo obtener, a partir de indicadores naturales y antrópicos, un panorama de la vulnerabilidad de los ecosistemas [principalmente los secos] ante los efectos del cambio climático, con el fin de proponer medidas de compensación y adaptación.

Así las cosas, este documento contiene el conjunto de actividades, procedimientos, métodos y técnicas que permiten identificar, zonificar y evaluar la degradación de suelos por salinización a nivel nacional, regional y local. Su estructura cuenta con tres grandes componentes: un contexto general, que da cuenta del alcance, la justificación y los objetivos del documento y, asimismo, desarrolla los marcos de referencia (político, conceptual y metodológico); otro, de metodología, donde se exponen los métodos, técnicas e instrumentos de las actividades que se deben realizar para la zonificación, caracterización, análisis y evaluación de la degradación de suelos por salinización; finalmente, las recomendaciones y lineamientos para la implementación del protocolo y para el monitoreo y seguimiento del proceso de degradación de suelos por salinización.



2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

2.1 POLÍTICA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO

La *Política para la gestión sostenible del suelo* es un instrumento que se formuló desde el 2011 y fue aprobado por el Consejo Nacional Ambiental el 13 de agosto de 2015. Su objetivo general es "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 de riesgo, contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de los colombianos" (MADS, 2015). En cuanto a los objetivos específicos, se formularon los siguientes:

- 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 (MADS, 2015).

Dentro del diagnóstico realizado en el documento de la política, se encuentra que los procesos de degradación de suelos más relevantes en Colombia son:

- La erosión.
- El sellamiento de suelos.
- La contaminación.
- La pérdida de la materia orgánica.
- La salinización.
- La compactación.
- La desertificación.

Estos procesos afectan en gran medida a las regiones Caribe, Andina y Orinoquia y han comenzado a notarse en la Amazonia y en el litoral Pacífico, particularmente en zonas de acelerada deforestación y de explotación minera y petrolera.

Entre las causas de la degradación de los suelos en el país se tienen (MADS, 2015):

- La creciente demanda de bienes y servicios.
- El desconocimiento de las funciones e importancia de los suelos.

- La falta de alternativas para la prevención, mitigación, rehabilitación, restauración y adaptación.

- Procesos de planeación y de ordenamiento del territorio que no tienen en cuenta sus características.

- Debilidad en los procesos de seguimiento a la calidad de los suelos.

- Desarticulación institucional.

- Carencia de normas e instrumentos para su gestión sostenible.

Frente a esta seria problemática, se propuso el desarrollo de seis líneas estratégicas que permitan implementar la política:

1. Fortalecimiento institucional y armonización de normas y políticas.

2. Educación, capacitación y sensibilización.

3. Fortalecimiento de instrumentos de planificación ambiental y sectorial.

4. Monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos.

5. Investigación, innovación y transferencia de tecnología.

6. Preservación, restauración y uso sostenible del suelo.

Entre ellas se destaca en particular la línea estratégica 4, cuyo objetivo fundamental es implementar programas para prevenir, evitar y mitigar los efectos de la degradación del suelo en Colombia. De acuerdo con esto, se propone la formulación y puesta en marcha de un programa de monitoreo y seguimiento que involucre la generación de acuerdos o espacios interinstitucionales y el fortalecimiento de la capacidad institucional. Así mismo se plantea la formulación de protocolos, metodologías e indicadores que complementen los avances adelantados hasta la fecha (MADS, 2015).

El presente protocolo hace parte de las acciones de implementación de la PGSS y, en particular, de la línea estratégica 4, contribuyendo a la puesta en marcha del programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de los suelos en el país.

2.2 PROGRAMA DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS DEL PAÍS

De forma paralela a la *Política para la gestión sostenible del suelo,* se formuló el *Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de los suelos del país* (PM&SDS) (Sánchez y Gómez, 2012), cuya implementación ha sido liderada por el IDEAM desde el 2012. Se han establecido seis componentes estructurales:

1. La organización institucional.

2. Un sistema de información para el seguimiento a la degradación de los suelos, articulado al SIAC.

3. El fortalecimiento institucional.

4. El avance en el conocimiento e investigación de los procesos de degradación de suelos y tierras en Colombia.

5. La socialización, sensibilización y educación sobre el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras, sus causas y consecuencias, y sobre los planes de manejo, restauración y financiación.

6. La cooperación para la sostenibilidad del programa.

El cuarto componente, relacionado con el conocimiento e investigación, ha dado lugar a productos que conducen a:

1. Adelantar el estado actual de degradación de suelos.

2. Identificar sus causas.

3. Hacer un diagnóstico de sus consecuencias económicas, sociales y ecológicas.

4. Definir acciones para su mitigación y para recuperar y conservar los suelos del país.

Con este fin se definió la meta de generar la línea base actual de la degradación de suelos y tierras a nivel nacional y regional.

El IDEAM, junto con otras instituciones, ha venido trabajando en la implementación de este programa a través de la elaboración de los protocolos para la identificación y evaluación de la degradación de suelos y tierras por erosión, salinización y desertificación (IGAC, IDEAM y MAVDT, 2010) (primera versión). Uno de los primeros resultados de estos esfuerzos es la línea base de degradación de suelos por erosión a nivel nacional, a escala 1:100.000, y la actualización del respectivo protocolo (IDEAM y U.D.C.A, 2015). Desde el 2016 se ha avanzado en el establecimiento de la línea base de degradación de suelos por salinización a nivel nacional, regional y local, para lo cual es necesario la actualización y validación del protocolo (segunda versión), cuyo producto es esta publicación.

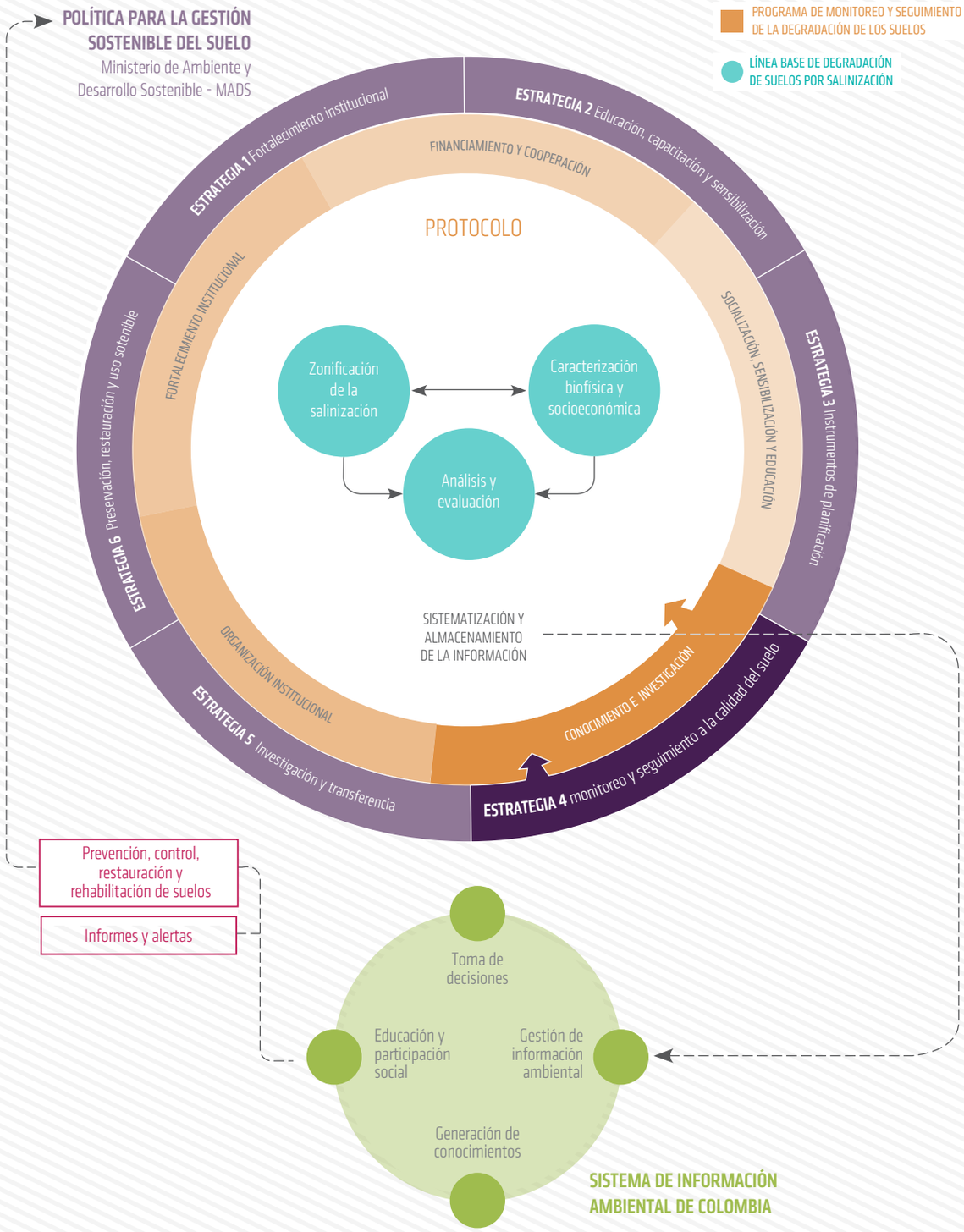


Figura 1. Política para la gestión sostenible del suelo y Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de las tierras en Colombia



2.3 CONTEXTO INTERNACIONAL

En las últimas décadas, la calidad ambiental a nivel global ha disminuido considerablemente, lo que ha conducido a una crisis caracterizada por una alta deforestación, contaminación hídrica y alteraciones de los ecosistemas (Sánchez, 2013), entre ellas la degradación de la calidad de los suelos. Frente a esta coyuntura, la comunidad internacional ha reconocido la importancia de adoptar medidas dirigidas a:

- Conservar los recursos naturales y utilizarlos sosteniblemente (entre ellos, los suelos).
- Mitigar los efectos adversos en beneficio de las generaciones presentes y futuras.
- Fomentar la participación justa y equitativa de los beneficios derivados.

Un primer referente global en este sentido es la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, celebrada en Johannesburgo en septiembre de 2002. En este evento se afirmó que la degradación de la tierra era uno de los principales desafíos del medio ambiente mundial y del desarrollo sostenible en el siglo XXI, y se pidió a los países adoptar medidas para "hacer frente a las causas de la desertificación y la degradación de los suelos, con el fin de conservar y recuperar las tierras y luchar contra la pobreza resultante de estos procesos" (ONU, 2002).

A la luz de ese propósito, a nivel mundial han surgido tres importantes convenciones internacionales de Naciones Unidas, cuyas metas propuestas contribuyen a mitigar la degradación de los suelos y a conservar el recurso:

1. El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB): formulado el 5 de junio de 1992 en Río de Janeiro como una herramienta práctica que busca traducir los principios de la Agenda 21. Este convenio reconoce dentro de la diversidad biológica —además de las plantas, los animales, los organismos y los ecosistemas— a las personas, las comunidades, la seguridad alimentaria, la salud, la calidad de los recursos y el ambiente limpio. Colombia se vinculó al CDB por medio de la Ley 165 de 1994, con el objetivo de promover el desarrollo sostenible.

2. La Convención Marco sobre el Cambio Climático (UNCMCC): fue aprobada en mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Establece una estructura general para aunar esfuerzos intergubernamentales y reconoce que el sistema climático es un recurso compartido, cuya estabilidad puede verse afectada por actividades industriales y de otro tipo que emiten dióxido de carbono y otros gases que retienen el calor. Su objetivo principal es "lograr, la estabilización de la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible".

   En Colombia se aprobó la adhesión a esta convención por medio de la Ley 164 del 27 de octubre de 1994, y fue ratificada por el Gobierno mediante el Decreto 2081 del 20 de noviembre de 2005. En 2003 se formuló el CONPES 3242, relacionado con la estrategia nacional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático, y se generaron los lineamientos esenciales para la introducción de los proyectos de mecanismos de desarrollo limpio.

3. La Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD): fue adoptada el 17 de junio de 1994 en París y entró en vigor el 26 de diciembre de 1996. Reconociendo que la desertificación —entendida como degradación de tierras secas— es un problema de importancia social y ambiental que concierne a muchos países en todas las regiones del mundo, esta convención se propuso forjar una alianza mundial para revertir y prevenir dicho fenómeno y para mitigar sus efectos en las zonas ya afectadas. De esta manera se espera apoyar la sostenibilidad ambiental y reducir la pobreza.

   Colombia aprobó su incorporación a esta iniciativa mediante la Ley 461 del 4 de agosto de 1998, y pasó a hacer parte de los 196 países adherentes a partir del 8 de septiembre de 1999. Posteriormente, cumpliendo uno de los compromisos adquiridos con dicha adhesión, el país formuló entre 2002 y 2004 el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación (PAN)[1]. Este plan, encabezado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), fue aprobado por el Consejo Nacional Ambiental el 13 de diciembre de 2004 con el objetivo de "adelantar acciones contra la degradación de tierras, desertificación y mitigación de los efectos de la sequía, así como para el manejo sostenible de los ecosistemas de las zonas secas, a partir de la aplicación de medidas prácti-

1 En este plan se formuló un portafolio de programas y proyectos, donde se resalta el programa *Monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos en Colombia: por erosión, salinización y desertificación en la gestión ambiental nacional y el cambio climático.* En desarrollo de esta iniciativa, la primera fase contempla la definición de los métodos y protocolos para identificar y evaluar la degradación de suelos por los procesos actuales y potenciales de erosión, salinización y desertificación.

cas que permitan prevenir, detener y revertir dichos procesos de degradación y contribuir al desarrollo sostenible de las zonas afectadas".

Esta última convención ha generado una nueva iniciativa, denominada Neutralidad en la Degradación de las Tierras (NDT), cuya finalidad es detener la actual pérdida de tierra fértil y revertir la degradación del pasado, de manera que se logre un estado de equilibrio que mantenga la calidad y la cantidad de los recursos de la tierra. Su marco conceptual es aplicable a todos los tipos de degradación de tierra, incluida la salinización de los suelos, que afectan la productividad primaria, generan cambios negativos en la cobertura de la tierra y alteran el contenido de carbono en los suelos. Para el año 2030, este programa evaluará cambios en estos indicadores, por lo que el monitoreo y seguimiento de la salinización permitirá no solo conocer su estado y dinámica, sino además tomar acciones para la prevención, el manejo, la mitigación y la recuperación de suelos degradados por este proceso.

Establecer objetivos nacionales para la NDT es voluntario. Los países son invitados a hacerlo de acuerdo con sus circunstancias nacionales específicas y prioridades en materia de desarrollo.

En el año 2014, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) publicó las evaluaciones de desempeño ambiental, en las que se establecen los desafíos para detener la degradación y la contaminación de los suelos. Con ese propósito, Colombia se encuentra en el proceso de adhesión al organismo, realizando reformas institucionales, políticas, económicas y ambientales, entre las cuales se resalta la *Política para la gestión sostenible del suelo*. A su vez, bajo el compromiso de la OCDE de promover políticas que mejoren el bienestar de las personas alrededor del mundo, se han venido implementando comités para cada aspecto económico dentro del país. Un ejemplo de ellos es el comité de agricultura, donde se busca apoyar la política agrícola y el sector agropecuario y agroalimentario. Para ello se evalúan las políticas diseñadas con a miras que sean transparentes, específicas, adaptadas, flexibles y equitativas dentro del marco del crecimiento verde.

Por otra parte, en 2015 se formularon los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), de cara al desarrollo potencial de las personas, el aumento de sus posibilidades y el disfrute de la libertad. En particular, el Objetivo 15 propone "Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, el manejo sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación; detener y revertir la degradación de la tierra y detener la pérdida de biodiversidad". Así, resalta la necesidad de revertir la degradación de tierras y se plantea una meta: "Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo".

Colombia se acogió a este pacto de desarrollo global a través de los CONPES (Consejo de Política Económica y Social) 91 y 140, y de esta manera lo convirtió en política pública nacional. Desde el compromiso político del país, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 "Todos por un nuevo país" contempla objetivos y metas estratégicas para abordar los ODS, cuya implementación se encuentra a cargo de la Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el Alistamiento y la Efectiva Implementación de la Agenda de Desarrollo Post 2015 y sus ODS, creada mediante Decreto 0280 del 18 de febrero de 2015.

2.4 CONTEXTO NORMATIVO

En Colombia, uno de los primeros antecedentes concretos de esfuerzos sobre gestión ambiental consiste en la formulación y aprobación del Código nacional de los recursos naturales renovables y protección al medio ambiente, mediante el Decreto Ley 2811 de 1974. En este código se estipulan normas sobre la tierra y los suelos; específicamente, sobre:

- El suelo agrícola.
- Las facultades de la administración, entre las cuales se destaca velar por la conservación de los suelos para prevenir y controlar, entre otros fenómenos, los de erosión, degradación, salinización.
- El uso y conservación de los suelos.
- Los distritos de conservación de suelos.

Luego, con la Ley 99 de 1993 se creó el Ministerio de Ambiente, se reordenó el sector público (encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales renovables) y se organizó el Sistema Nacional Ambiental (SINA). También se dictaron otras disposiciones; en-



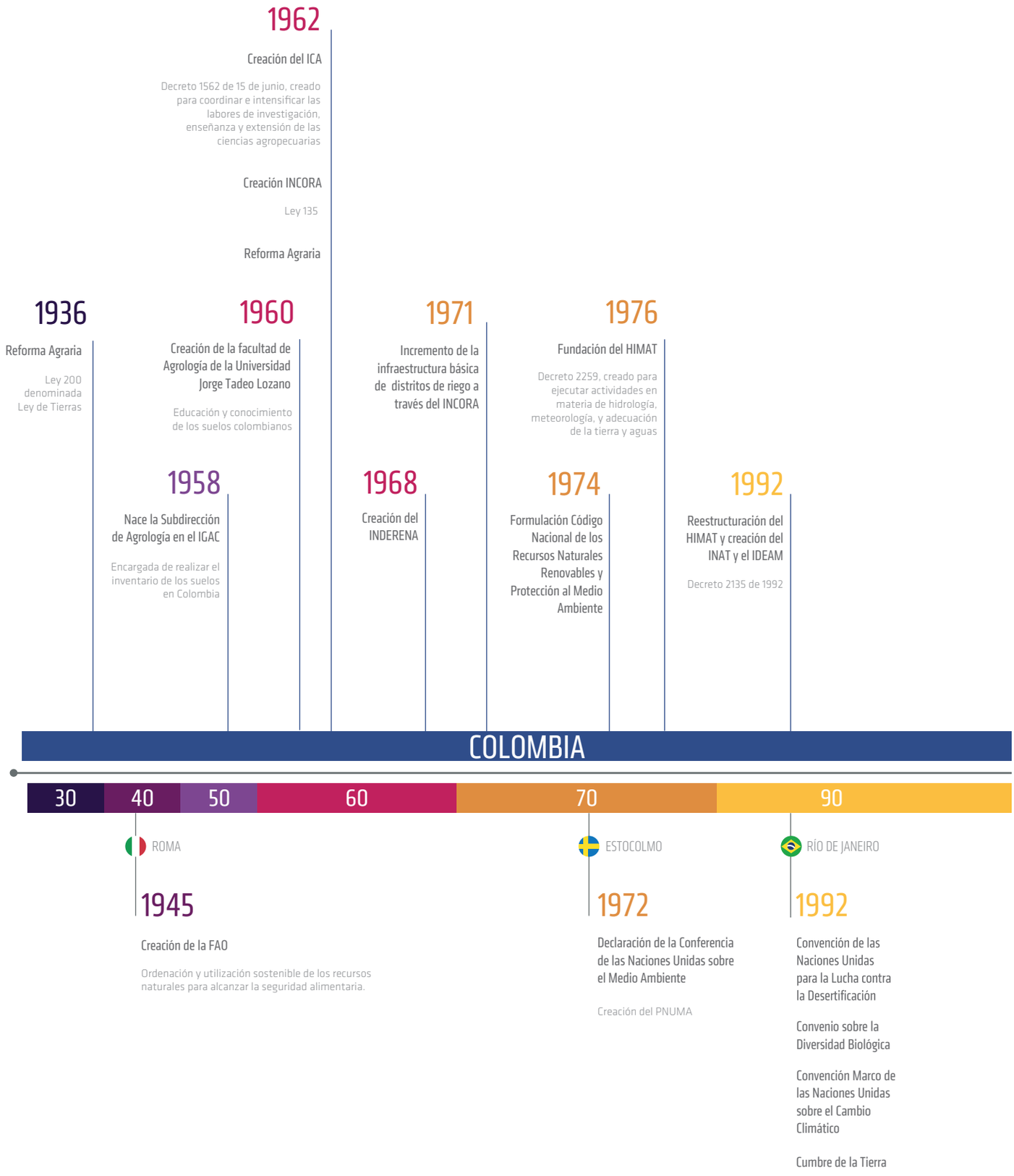
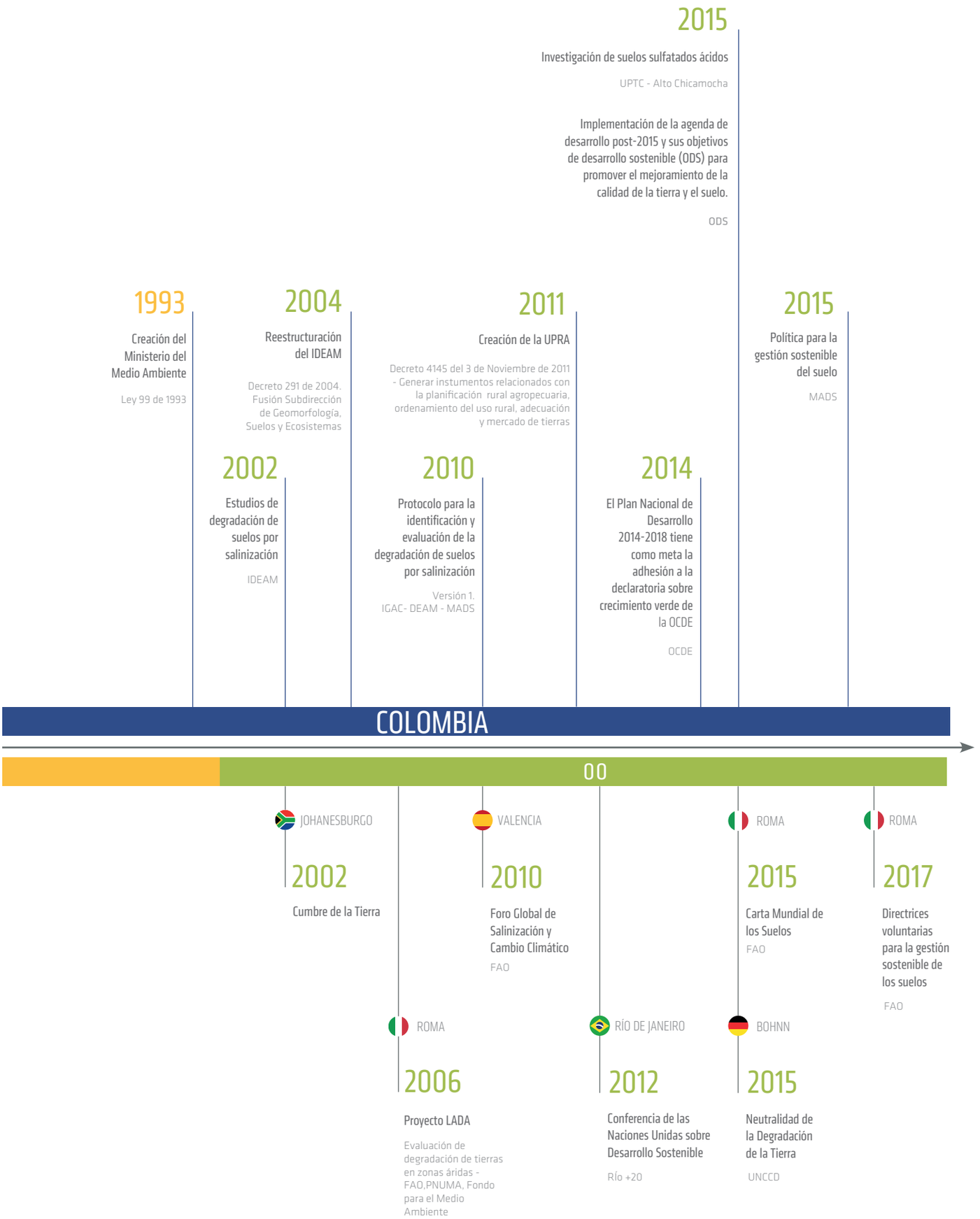


Figura 2. Línea de tiempo


2015
Investigación de suelos sulfatados ácidos
UPTC - Alto Chicamocha
Implementación de la agenda de desarrollo post-2015 y sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para promover el mejoramiento de la calidad de la tierra y el suelo.
ODS
1993
Creación del Ministerio del Medio Ambiente
Ley 99 de 1993
2004
Reestructuración del IDEAM
Decreto 291 de 2004. Fusión Subdirección de Geomorfología, Suelos y Ecosistemas
2011
Creación de la UPRA
Decreto 4145 del 3 de Noviembre de 2011 - Generar instumentos relacionados con la planificación rural agropecuaria, ordenamiento del uso rural, adecuación y mercado de tierras
2015
Política para la gestión sostenible del suelo
MADS
2002
Estudios de degradación de suelos por salinización
IDEAM
2010
Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización
Versión 1. IGAC- DEAM - MADS
2014
El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 tiene como meta la adhesión a la declaratoria sobre crecimiento verde de la OCDE
OCDE
COLOMBIA
00
JOHANESBURGO
2002
Cumbre de la Tierra
VALENCIA
2010
Foro Global de Salinización y Cambio Climático
FAO
ROMA
2015
Carta Mundial de los Suelos
FAO
ROMA
2017
Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos
FAO
ROMA
2006
Proyecto LADA
Evaluación de degradación de tierras en zonas áridas - FAO,PNUMA, Fondo para el Medio Ambiente
RÍO DE JANEIRO
2012
Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible
Río +20
BOHNN
2015
Neutralidad de la Degradación de la Tierra
UNCCD

tre ellas las funciones del Ministerio y del IDEAM:

- El Ministerio debe definir las políticas y regulaciones que orienten la recuperación, la conservación, la protección, el ordenamiento, el manejo, el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales renovables y del medio ambiente de la nación.

- El IDEAM deberá obtener, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología y geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la nación. Además, tendrá a su cargo el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad.

Posteriormente, el Decreto 1277 de 1994 organizó y estableció las funciones del IDEAM para que efectúe seguimiento sobre la contaminación y degradación de los recursos biofísicos de la nación para la toma de decisiones de las autoridades ambientales (compilado en el Decreto Único Sector Ambiente 1076 de 2015, Parte 2, Título 1, artículo 1.2.1.1). Así mismo, el artículo 5 del Decreto 291 de 2004 estableció, entre las funciones de la Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental, observar lo referente a los aspectos bióticos, biogeopedológicos y ecosistémicos del país, en especial lo relacionado con recursos forestales y conservación de suelos.

Por último, el Decreto Único Sector Ambiente 1076 de 2015 relaciona, en el Título 5, la naturaleza de las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible y define que son las encargadas de "administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender a su desarrollo sostenible" (Artículo 1.2.5.1.1).

No se puede desconocer el suelo como elemento fundamental en los ecosistemas y los recursos naturales.

2.5 JUSTIFICACIÓN

En cuanto a la salinización de los suelos en el país, la información más significativa proviene de:

- Diversas investigaciones académicas relacionadas con la salinidad de los suelos, el crecimiento vegetal y su influencia en la producción agrícola, que se reflejan en un centenar de artículos y ponencias publicadas en varias revistas científicas a nivel nacional e internacional.

- Los adelantos que se siguen en la academia, especialmente en el centro de investigación ILAMA de la Universidad del Valle del Cauca, el grupo GISSAT (Grupo de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales) en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, la Universidad de Córdoba, y la Universidad Nacional de Colombia en las sedes de Palmira, Medellín y Bogotá, entre otras.

- Los resúmenes de los eventos realizados por la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y los artículos publicados en la revista *Suelos ecuatoriales,* donde se presenta información relacionada a nivel local.

- Los estudios de suelos realizados por el IGAC a nivel general, semidetallado y detallado, donde consideran las características genéticas y taxonómicas de los suelos salinos y realizan un diagnóstico de su importancia para el uso y manejo apropiado. Asimismo, su último libro, *Suelos y Tierras* (IGAC, 2016), dedica un capítulo completo al desarrollo de los suelos salinos en Colombia y su problemática.

- El IDEAM, en el 2002, realizó estudios y presentó información sobre los suelos salinos a partir del mapa de suelos del IGAC a escala nacional (1:500.000) y de estudios departamentales.

- A nivel regional, la Corporación Autónoma Valle del Cauca (CVC) ha adelantado estudios y cartografía sobre salinidad de suelos en el valle geográfico del río Cauca, entre los que se incluye un monitoreo de la salinidad de los suelos cultivados con caña de azúcar, conjuntamente con Cenicaña, la Universidad Nacional sede Palmira y la Universidad del Valle.

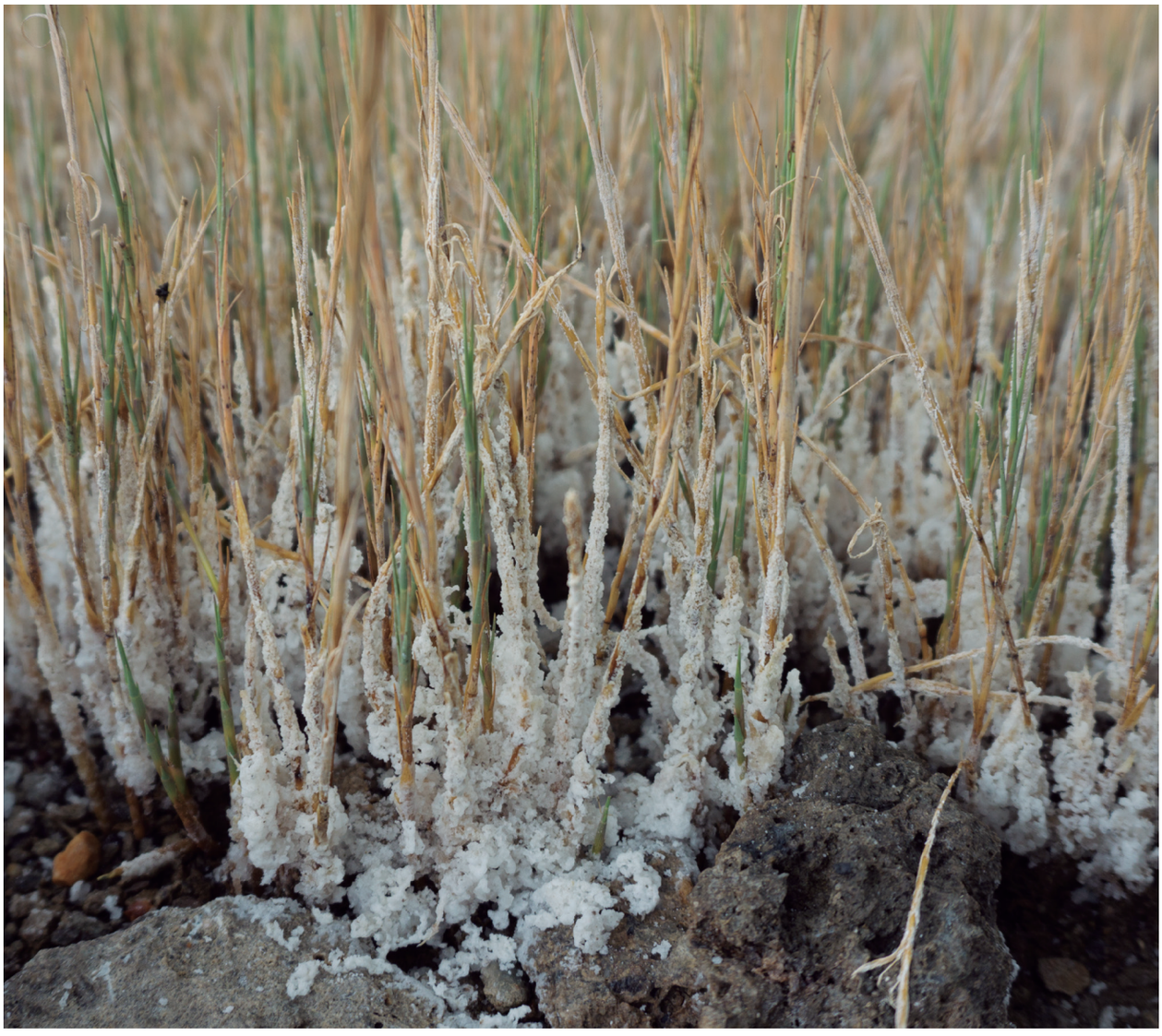
En resumen, los resultados coinciden en que los suelos salinos se localizan en la región Caribe, en los valles altos de los ríos Magdalena y Cauca, en zonas depresionales del altiplano cundiboyacense y en las zonas áridas del país. Los datos del estado de la salinidad y la salinización de los diferentes suelos se encuentran de forma localizada y asociada a las actividades agrícolas como un problema en la producción. Tales son los casos de caña de azúcar en el Valle del Cauca, los cultivos de arroz en los distritos de riego del Tolima y Huila, las zonas algodoneras de Cesar y Córdoba, o los suelos sulfatados ácidos de la cuenca alta del río Chicamocha

Ahora bien, pese a este acervo de información no se cuenta con un conocimiento del estado actual de la degra-

dación de los suelos por salinización en todo el territorio colombiano. Por tanto, existe incertidumbre sobre la verdadera problemática de este proceso a nivel nacional, regional y local. De otra parte, se observa que hay discrepancias en las metodologías de valoración de la salinidad, tanto a nivel de laboratorio como en la interpretación de los resultados. Así mismo, la terminología utilizada puede variar según las escuelas o fuentes sobre el tema.

Es necesario aunar esfuerzos institucionales con el fin de contribuir al conocimiento unificado de los procesos de salinización, de manera que se puedan tomar acciones oportunas para la prevención, la mitigación y el control.

Ante estas circunstancias, el presente protocolo cobra relevancia en tanto permitirá estandarizar conceptos, metodologías y procedimientos para el diagnóstico de la problemática de la salinización en los suelos del país, al tiempo que brindará información multitemporal que constate que los cambios detectados en el monitoreo corresponden en realidad a procesos actuales que ocurren en la naturaleza. El protocolo es, por tanto, una herramienta fundamental para implementar el Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de los suelos como fuente de datos confiables para tomar acciones dirigidas a la conservación de este recurso y a la prevención de los procesos de degradación, a la vez que contribuirá a restablecer y conservar las funciones ecosistémicas del suelo como factor importante en el bienestar de la población.





3.
ALCANCE



El *Protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos por salinización* busca proponer y adoptar las bases conceptuales y metodológicas para identificar y evaluar los procesos de salinización en los suelos del país a nivel nacional, regional y local. En ese sentido, este documento ofrece los elementos necesarios para:

- Reconocer los rasgos y manifestaciones de la degradación por salinización.
- Elaborar el mapa de zonificación según la escala de trabajo.
- Realizar la evaluación de su estado, sus causas y consecuencias desde lo social, lo económico, lo cultural y lo ecológico.
- Establecer los referentes para la prevención, mitigación, rehabilitación y adaptación.

En este orden de ideas, el presente protocolo maneja tres aspectos importantes:

1. Un desarrollo metodológico conformado por fases, etapas y actividades.
2. Una modelación para establecer la susceptibilidad de un territorio a los procesos de degradación de suelos por salinización.
3. Una propuesta de recomendaciones para implementar el protocolo y de lineamientos para el monitoreo y seguimiento de dichos procesos, tanto en su estado como en sus causas y consecuencias.



Figura 3. Definición y alcance del protocolo

¿Para quién es el protocolo?

El protocolo está dirigido a quienes están encargados de difundirlo, ejecutarlo y desarrollarlo, Especialmente, a las autoridades ambientales, a la academia y a los centros de investigación de los principales sectores de la producción nacional. Igualmente, a todas aquellas instituciones o personas que lo consideren necesario para el mejor conocimiento y/o manejo técnico-científico de los procesos de salinización de suelos.

La difusión está a cargo de las entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA), en cabeza del MADS y bajo la coordinación del IDEAM y las autoridades ambientales regionales. También debe intervenir el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), junto con sus instituciones vinculadas, así como las entidades asociadas a actividades mineras o que causen contaminación.

¿Quiénes ejecutarán y supervisarán la implementación del protocolo?

- Las instituciones componentes del Sistema Nacional Ambiental (SINA).
- Los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y de Minas y Energía.
- Las entidades territoriales: departamentos, municipios y demás instituciones político-administrativas.
- Gremios u organizaciones agrícolas, pecuarias, mineras, pesqueras, silvícolas y de explotación de recursos naturales.
- Las asociaciones de distritos de riego y demás usuarios de sistemas de riego de baja escala.
- Organizaciones no gubernamentales (ONG) de los sectores ambiental, agrícola, pecuario, minero.
- También se pueden involucrar instituciones educativas públicas y privadas, industrias de agroquímicos y entidades prestadoras de servicios públicos con énfasis en manejo de aguas residuales.





4. OBJETIVOS

El principal objetivo del protocolo es proponer las bases conceptuales, los métodos, los procedimientos y las técnicas necesarias para identificar y evaluar los procesos de degradación de los suelos por salinización a escalas nacional, regional y local, de cara al monitoreo y seguimiento de esta problemática en un área de interés.

Para este propósito, es necesario:

1. Definir un marco conceptual que sustente la metodología para la zonificación, caracterización y evaluación de la degradación de suelos por salinización.

2. Formular métodos y procedimientos para identificar, delimitar, clasificar y evaluar la salinización de los suelos en un área de interés.

3. Describir los procesos, las técnicas y las herramientas adecuadas para la identificación, zonificación, caracterización y evaluación de la degradación de suelos por salinización en los distintos niveles de análisis.

4. Formular los indicadores para el monitoreo y seguimiento de los procesos de degradación de suelos por salinización.



5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual se refiere al grupo central de conceptos y teorías que se van a utilizar en el desarrollo del protocolo, emanadas principalmente de la *Política para la gestión sostenible del suelo.* En particular, se hace énfasis en el suelo como sujeto de análisis y en la degradación por salinización como el problema por identificar y evaluar. En esta parte se destaca la importancia ambiental de los suelos, sus funciones y servicios ecosistémicos.

5.1.1 CONCEPTOS DE TIERRA, SUELO Y DEGRADACIÓN

Para el protocolo se adoptan los siguientes conceptos de suelo, tierra y degradación:

- **Tierra:** Según la FAO (2000), es "un área delineable que reúne todos los atributos de la biósfera inmediatamente por encima o por debajo de la superficie terrestre, incluyendo el suelo, el terreno, la superficie hidrológica, el clima cerca de la superficie, los sedimentos y las reservas de agua asociadas, los recursos biológicos, así como los modelos de establecimientos humanos y la infraestructura resultante de las actividades humanas" (FAO, 2000).

- **Suelo:** Tal como lo establece la *Política para la gestión sostenible del suelo,* es un "componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro, meso y microorganismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta" (MADS, 2015).

- **Degradación de suelos:** Siguiendo con lo planteado en la *Política para la gestión sostenible del suelo*, la degradación es "el resultado de la interacción de factores naturales y antrópicos que activan y desencadenan procesos que generan cambios negativos en las propiedades del suelo". Entre los tres tipos de degradación establecidos por este referente nacional (física, química y biológica), la salinización corresponde al segundo.

5.1.2 CONTEXTO E IMPORTANCIA AMBIENTAL DE LOS SUELOS

El suelo, como capa superior de la corteza terrestre, desempeña una serie de funciones, tanto ambientales como sociales y económicas, que resultan fundamentales para la vida. Entre ellas, cabe mencionar (CCE, 2002):

- Suministra agua, nutrientes y soporte físico para la agricultura y la silvicultura. De hecho, es la base del 90% de producción de alimentos, forrajes, fibras y combustible.
- Protege y regula el agua, y favorece el intercambio de gases con la atmósfera.
- Sostiene la actividad y la producción biológica.
- Regula el flujo de agua y solutos.
- Filtra y amortigua los materiales orgánicos e inorgánicos.
- Constituye un hábitat biológico y una reserva genética de muchas plantas, animales y organismos.
- Hace parte de la dimensión espacial del desarrollo de asentamientos humanos. Por ejemplo, es soporte para la construcción de viviendas e infraestructuras, o de instalaciones de eliminación de residuos.
- Integra el patrimonio cultural, como un elemento de herencia que contiene restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad.
- Provee materias primas (agua, arcilla, arena, grava, minerales, etc.).

Según Bautista y Etchevers (2004), "la calidad del suelo incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental, constituyéndose es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. El término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran y Parkin, 1994)". En consecuencia, la calidad del suelo es la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o tratado para sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y sustentar la salud humana y su morada.

Con el fin de mantener las numerosas funciones del suelo, es imperativo preservar su calidad, sobre todo si se tiene en cuenta que se trata de un recurso limitado y no renovable, que no se recupera del deterioro con facilidad (AEMA, 2002). Además, atributos como la capacidad de amortiguación, la tolerancia a diferentes presiones y la filtración y degradación de contaminantes hacen que los daños solo puedan ser percibidos en fases muy avanzadas.

Estas complejas particularidades precisan advertir que algunas de las actividades humanas, sumadas al impacto del cambio climático (CCE, 2002), están contribuyendo a la degradación de este importante sistema natural. Es por eso que en la actualidad el suelo se ve enfrentado a procesos como:

- Erosión.
- Disminución de materia orgánica.
- Movimientos en masa.
- Contaminación.
- Sellado.
- Compactación.
- Pérdida de biodiversidad.
- Pérdida de la fertilidad.
- Salinización.

Dado el amplio espectro de actores que interactúan con el suelo y dependen de él, una gestión sostenible de estas demandas podría reportar múltiples beneficios en distintos niveles; por ejemplo:

- A escala nacional, preservar la diversidad natural y cultural.
- A escala mundial, mitigar las emisiones de gases con efecto invernadero mediante la captura de carbono para generar un ambiente de mayor calidad. Esto garantizará más alimentos para una población que no cesa de aumentar y contribuirá al progreso económico de las generaciones futuras (CCE, 2002).

5.1.3 FUNCIONES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS SUELOS

La humanidad siempre ha dependido de los servicios que prestan la biósfera y sus ecosistemas. Más aún, la biósfera es, en sí misma, el resultado de la vida en la Tierra. La composición de la atmósfera y el suelo, el ciclo de los elementos a través del aire y el agua y muchos otros bienes ecológicos son el resultado de procesos orgánicos que se mantienen y restablecen gracias a los ecosistemas. Si bien la cultura y la tecnología permiten a la humanidad amortiguar el contacto inmediato con el ambiente, en definitiva, la especie humana depende plenamente del flujo de los servicios que prestan los ecosistemas, esto es, de los servicios ecosistémicos (MEA, 2005). Por lo tanto, cualquier cambio en ellos, en especial en un momento en el que el crecimiento económico y los cambios demográficos han incrementado la demanda de estos beneficios, puede afectar el bienestar humano (Figura 4).

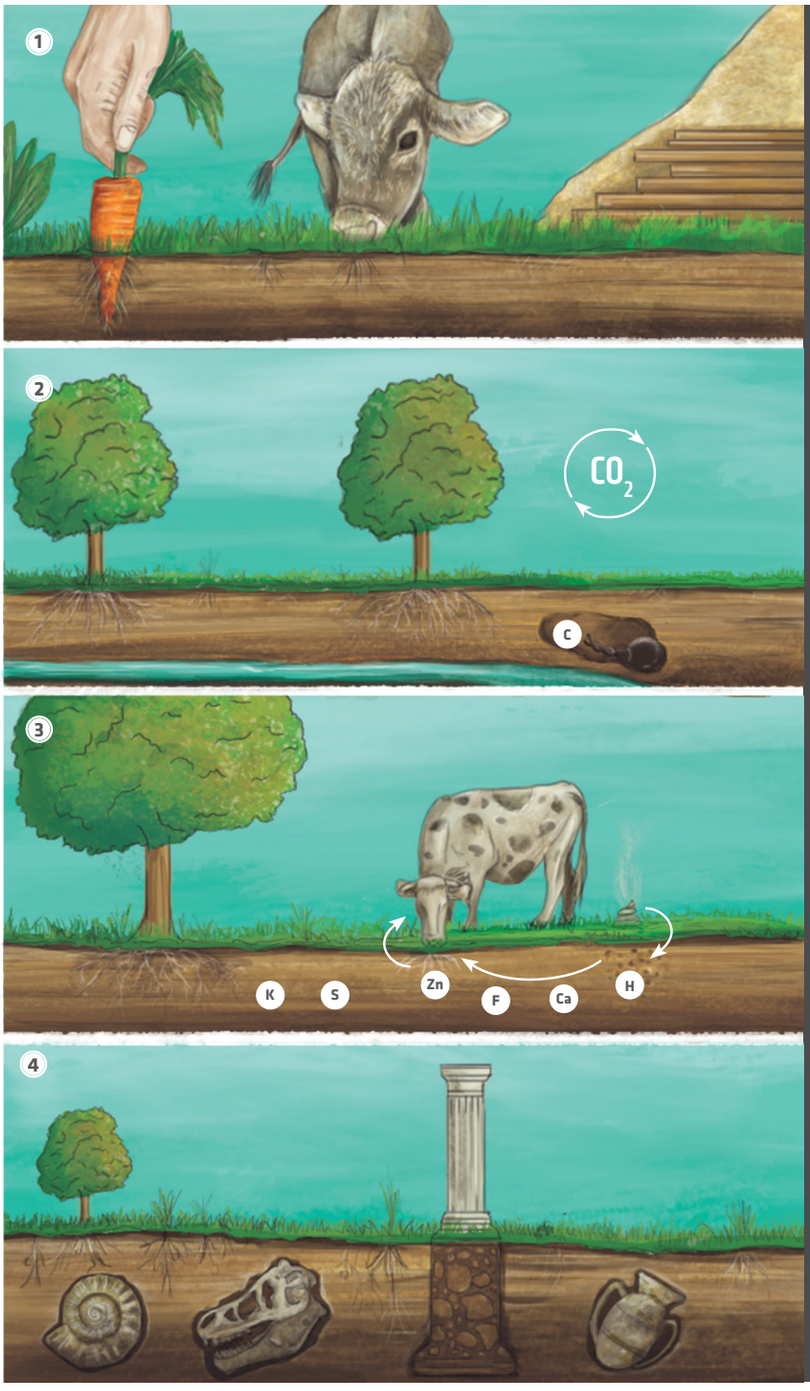


Figura 4. Funciones y servicios ecosistémicos de los suelos

1 Servicios de provisión
- Maderas
- Agua potable
- Materiales para construcción

2 Servicios de regulación
- Regulación del ciclo hidrológico
- Filtro de contaminantes
- Captura de CO_2 y gases efecto invernadero
- Control de riesgos naturales

3 Servicios de soporte
- Ciclo de nutrientes
- Descomposición de material orgánico
- Formación de suelo
- Producción primaria

4 Servicios culturales
- Belleza escénica
- Turismo y recreación
- Construcciones
- Vestigios arqueológicos

Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA), los servicios ecosistémicos comprenden:

1. La provisión de alimentos, agua, madera, fibras y recursos genéticos esenciales para la población humana, la industria y la ciencia.

2. La regulación de la oferta y calidad del agua, así como del clima, las inundaciones, las pestes y las enfermedades.

3. Los servicios culturales, tales como recreación y valores estéticos y espirituales o religiosos.

4. Los servicios de soporte, necesarios para mantener los demás beneficios (por ejemplo, la formación de suelos y la polinización).

Desde un punto de vista ecológico, el suelo es el "subsistema de los ecosistemas terrestres en donde se realiza principalmente el proceso de descomposición, fundamental para la reobtención y reciclado de nutrientes que aseguren el otro gran proceso vital: la producción, que se manifiesta para nosotros claramente en el subsistema epigeo" (Progeo, 2016).

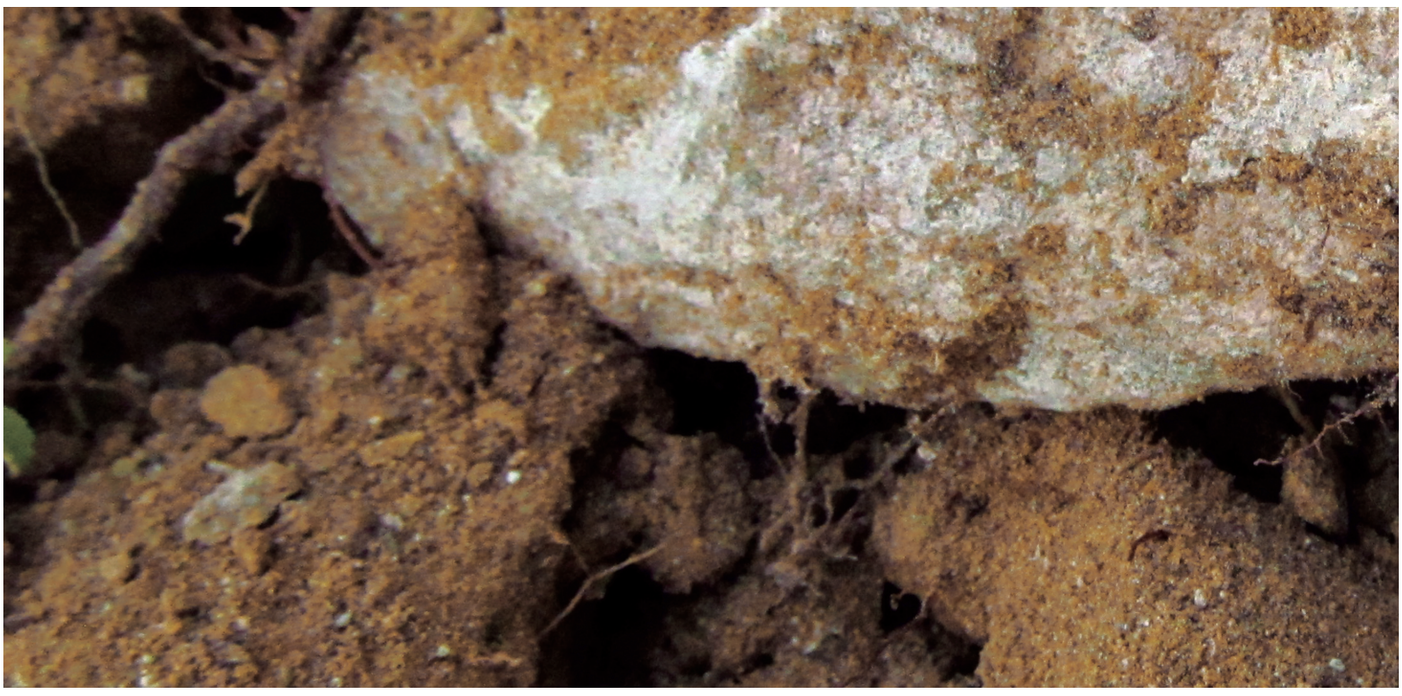
Es evidente que los suelos juegan un papel importante en la mayoría de estos servicios. Además de su función ya señalada en la provisión de alimentos, fibras y recursos genéticos, contribuyen a la regulación hídrica y climática (por ejemplo, como sumideros de carbono) y en general en los servicios de soporte relacionados con los ciclos bioquímicos y geoquímicos que se realizan en ellos. En consecuencia, la degradación del suelo puede tener efectos como los siguientes:

- Aumento de escorrentía e inundaciones.
- Disminución en la producción de alimentos.
- Pérdida de calidad de los recursos naturales.
- Reducción de biodiversidad.
- Alteraciones en los ciclos de nutrientes.
- Falta de regulación en desastres naturales.

Debido a estos serios impactos, cualquier esfuerzo de gestión ambiental debe reconocer la transversalidad de este recurso.

5.1.4 DEFINICIÓN DE SALINIDAD Y SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS

En el presente protocolo se definen y adoptan conceptos relacionados con salinidad y salinización con el objeto de establecer un lenguaje común que sirva de base para el estudio y moni-



toreo de degradación de suelos por estos procesos.

Sales en suelos: En términos químicos, una sal es la unión de un ácido y una base. Existen diferentes tipos de sales, clasificadas por grupos químicos según su afinidad o composición. En términos edáficos, se hace referencia a las sales que se encuentran en los suelos, generadas *in situ,* por condiciones naturales o que han llegado al suelo por diversos agentes (incluido el hombre). Se presentan en tres formas:

- Sales solubles: Presentes en forma iónica en la solución o fase acuosa del suelo. Generalmente, son más solubles que carbonatos de calcio y yeso (sulfato de calcio). Corresponden principalmente a cationes básicos (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}) y a aniones como cloruros y sulfatos (Cl^{-} y SO_4).

- Sales intercambiables: Son aquellas en forma iónica presentes en la fase cambiable del suelo. Se relacionan con la capacidad de cambio catiónico (CIC) o aniónico (CIA).

- Sales poco solubles: Como carbonatos, yeso y otras sales de poca solubilidad, que generalmente se encuentran precipitadas en forma mineral.

Origen de la salinidad en los suelos: Algunos autores (Biggs y Watling, 2010) clasifican el origen de las sales como primario o secundario. El primario se refiere a aquellas sales originadas directamente en el suelo; el secundario está asociado a aquellas sales que llegan al suelo provenientes de zonas aledañas por diferentes procesos, entre ellos: efectos catena, depresión cerrada, efectos de riego (por ascensos de agua del nivel freático o por calidad del agua de riego), efecto de represas, estratigrafía y litología, basines, etc. También se puede diferenciar el origen de las sales entre antrópicas y naturales.

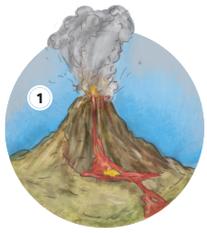
Salinidad de suelos: Se define como la concentración de sales totales en el suelo (se incluyen las sales en solución, intercambiables y poco solubles). El estado de salinidad de un suelo no indica por sí solo su origen, es decir, si es natural (primario o secundario) o antrópico. La medición de la salinidad se realiza con la *conductividad eléctrica* (CE) y sus relaciones con el contenido de bases intercambiables (Na, K, Ca, Mg) y de aniones.

Salinización de suelos: Corresponde al proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales en el suelo, es decir, al *incremento de la salinidad.* Por lo general, el aumento de sales en el suelo y en concentraciones elevadas afecta las características fisicoquímicas y biológicas de los suelos y sus servicios ecosistémicos, entre ellos el desarrollo de las plantas, especialmente de cultivos y la biota edáfica. En consecuencia, se considera como un proceso de degradación de suelos.

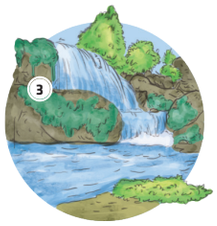
Susceptibilidad a salinización: Es la capacidad potencial y/o probabilidad de los suelos a aumentar la concentración de sales por condiciones intrínsecas y/o factores externos naturales o antrópicos.

Alcalinidad: Se define como la concentración de iones OH^{-}, mientras que la acidez se refiere a la concentración de iones H^{+}. La alcalinidad se determina según el pH elevado en los suelos (Brady & Weil, 2002).

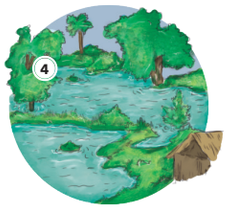




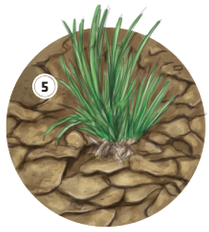
Erupción de cenizas



Aguas con minerales salinos



Zonas de inundación



Suelos en climas secos

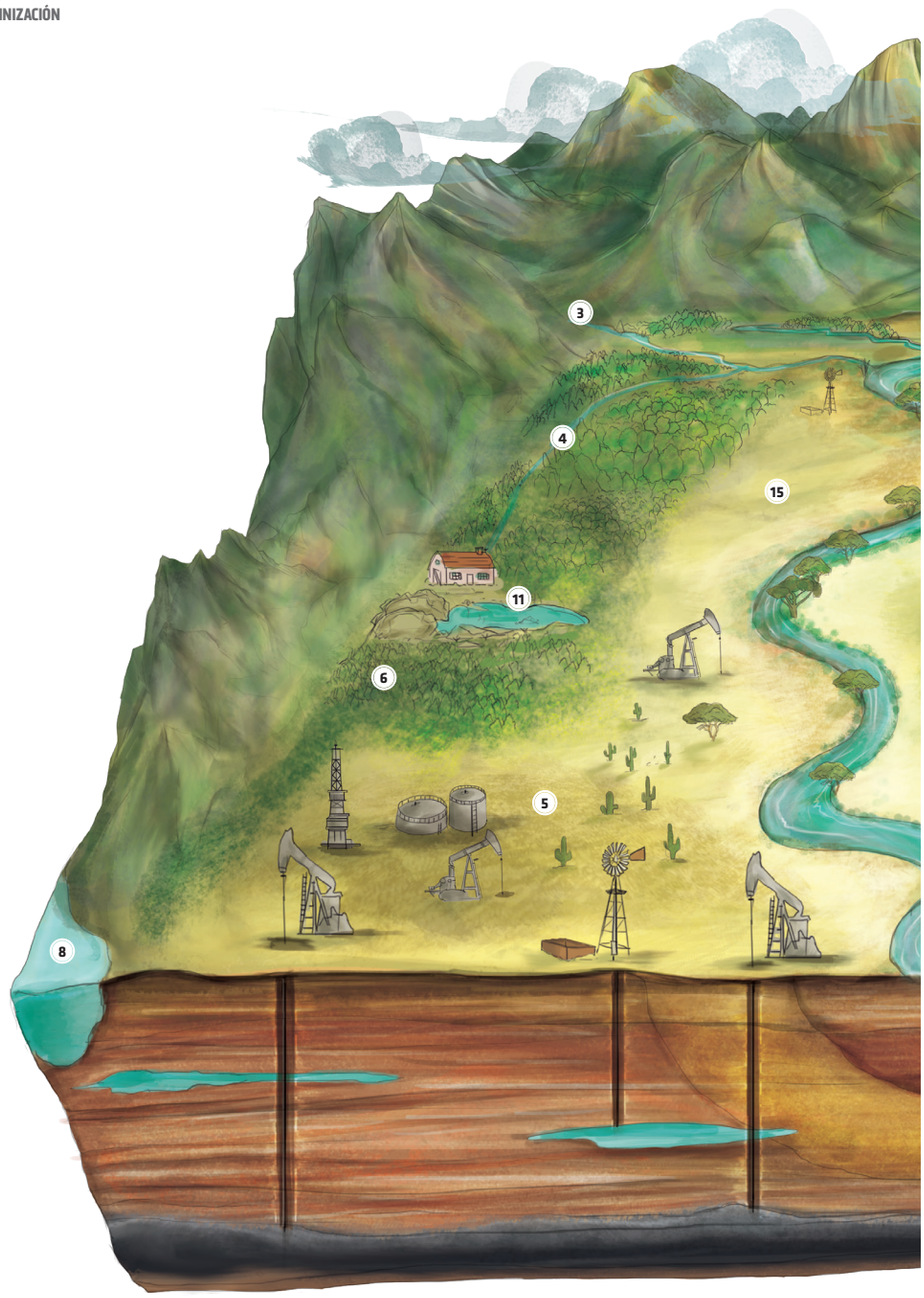


Figura 5. Causas naturales y antrópicas de la salinización de suelos

Causas de salinización de los suelos: Entre las causas naturales, relacionadas con el material parental, las geoformas o la naturaleza del ecosistema, se pueden mencionar las siguientes (ver Figura 5):

1 Erupción de cenizas volcánicas con contenidos de sales derivadas de azufre (sulfatos, sulfuros o sulfitos), entre otros.

2 Rocas o material parental con contenidos altos en sales, como rocas calizas, fosforitas, halitas, mármol, etc.

3 Aguas ricas en minerales salinos (nacimientos, corrientes, termales).

4 Zonas con inundaciones de corrientes de aguas con alto contenido de sales.

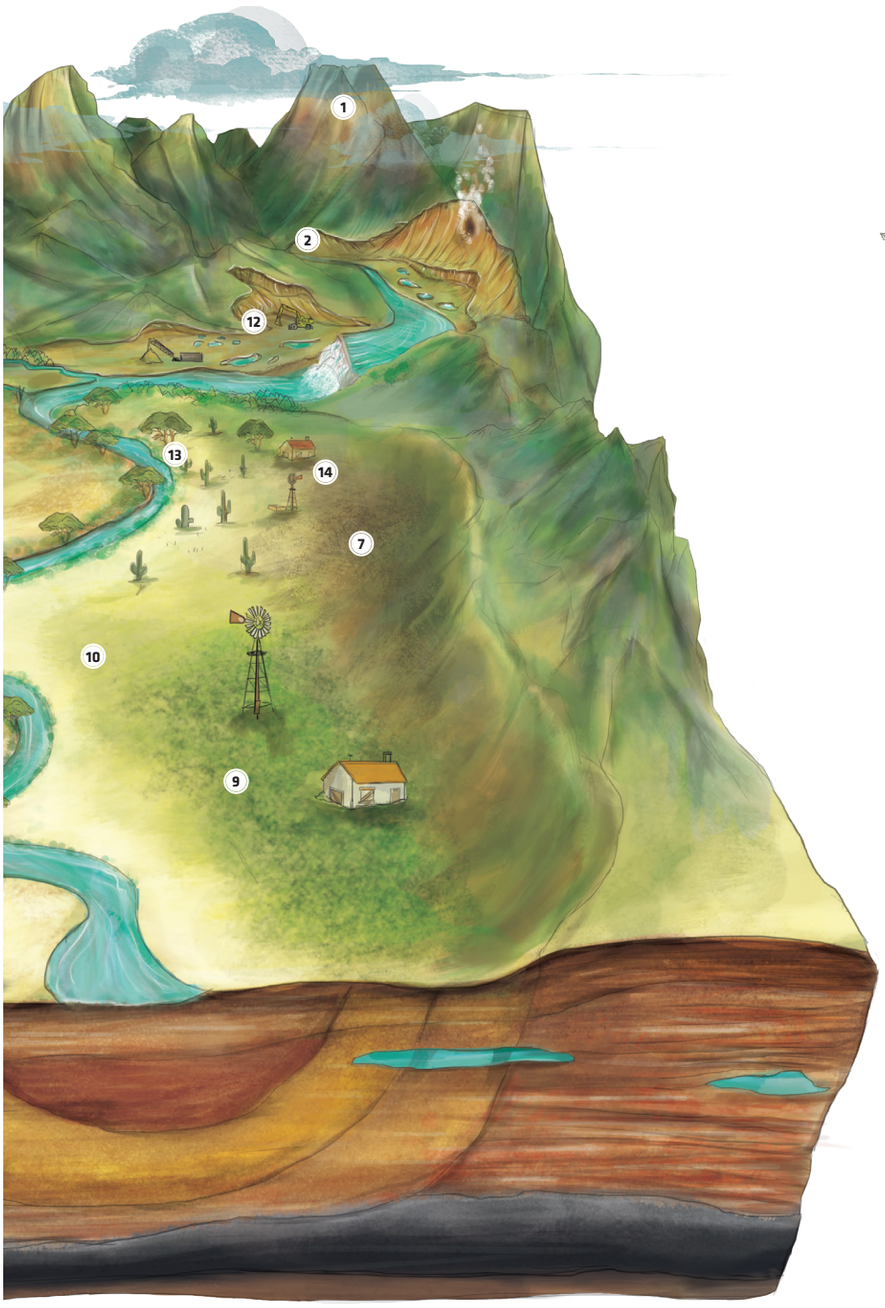
5 Suelos en climas secos o áridos, donde no hay lixiviación.

6 Ascenso de aguas freáticas salinas.

7 Escurrimientos de aguas lluvias o sedimentos con sales, provenientes de suelos salinos o afloramientos de rocas calcáreas.

8 Flujos de aguas fluviales salinas o marinas (intrusión salina).

Las causas antrópicas de la salinización se relacionan con las prácticas de manejo en los sistemas productivos. Entre las principales se pueden citar las siguientes (ver Figura 5):





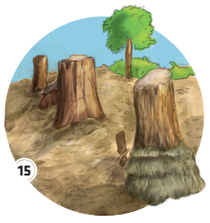
Actividades agropecuarias excesivas



Actividades turísticas inadecuadas



Minería Inadecuada



La deforestación

9 Los sistemas productivos agrícolas con prácticas inadecuadas, como el exceso de riego o drenaje (que afectan la calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas), la mecanización (al exponer horizontes subsuperficiales del perfil de suelo con concentración de sales), la sobrefertilización y aplicación excesiva de agroquímicos (por los efectos residuales de sales en el suelo).

10 Los usos del suelo con sistemas productivos ganaderos, especialmente por las quemas para renovación de pasturas y la ganadería intensiva con prácticas inadecuadas.

11 Los usos en actividades turísticas, por la inadecuada disposición de vertimiento de aguas minerales/termales.

12 Los usos en minería, por la exposición de minerales con altos contenidos de sales e inadecuada disposición de lixiviados y de vertimientos. Igualmente, por el inadecuado manejo de aguas asociadas a la explotación del petróleo.

13 El manejo inadecuado de humedales debido a la acumulación de altos contenidos de aguas salinas (por ejemplo, pantanos costeros) o de producción de sulfatos, entre otros (tales como humedales sulfatados en zonas continentales).

14 El poco tratamiento de aguas servidas debido al urbanismo acelerado y el turismo, en particular en tierras de climas secos.

15 La deforestación y los usos y manejos inapropiados de los ecosistemas secos tropicales.



Clasificación de salinización: La clasificación de la degradación de suelos por salinización se realiza de modo jerárquico en cuatro categorías:

- ***Tipo de la salinización:*** Hace referencia a la condición por la cual se presenta la acumulación de sales, esto es, su origen. En este caso, se distingue un origen natural, otro antrópico y uno mixto.

- ***Grado:*** Indica el nivel o contenido de sales en los suelos y su relación entre ellas. Para determinarlo se utilizan los indicadores conductividad eléctrica (CE), razón de adsorción de sodio (RAS), porcentaje de sodio intercambiable (PSI), reacción de sales poco solubles o contenidos de sulfatos. De forma indirecta, se puede utilizar la reacción del suelo (pH) y saturación de bases (SB), entre otros. Con ellos se establecen cinco grados de menor a mayor relación con degradación de las funciones y servicios de los suelos:

1 Muy ligero.

2 Ligero.

3 Moderado.

4 Severo.

5 Muy severo.

- ***Clase:*** Se refiere al tipo de sal o ion dominante en la solución y el complejo de cambio del suelo, y se diferencian así:

1 Suelos sódicos: Son aquellos que contienen alta cantidad de sodio intercambiable (PSI>15%) y bajo nivel de sales solubles (CE<4). Estos tienen una connotación especial debido a los efectos específicos adversos sobre el crecimiento de plantas y estructura del suelo. En los suelos sódicos, las partículas de arcilla tienden a separarse, proceso que técnicamente se denomina dispersión. Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla se interrumpen por los iones de sodio. Corresponde a la concentración específica del ion sodio (Na^+) en la solución del suelo. Se caracteriza a partir del porcentaje de sodio intercambiable (Na^+) y de la razón de adsorción de sodio (RAS) (Brady & Weil, 2002).

2 Suelos calcáreos: Son aquellos que contienen frecuentemente más de 15% de $CaCO_3$ en el suelo, el cual puede hallarse en distintas formas (polvo, nódulos, costras, etc.) (FAO, 1973).

3 Suelos magnésicos: Para Colombia se propone una clasificación de suelos magnésicos cuando el contenido de magnesio intercambiable es mayor a 40%.

4 Suelos yesíferos: Son aquellos que contienen cantidades altas de yeso (sulfato de calcio hidratado) para interferir en el crecimiento de las plantas. Estos suelos ocurren generalmente en condiciones secas a áridas, donde existen fuentes de sulfato de calcio. En muchos casos, el yeso está asociado con otras sales de calcio, sodio y magnesio (FAO, 1990).

5 Suelos alcalinos: Comprende los suelos cuyo pH es superior a 7,4, y en los que no hay dominancia de una sal o ion específico. Se considera que hay una relación entre pH altos y el contenido de sales.

6 Suelos sulfatados ácidos: Son suelos recientes que han evolucionado bajo condiciones hidromórficas (inundados o encharcados) y a partir de materiales minerales y orgánicos ricos en hierro y azufre. Al ser sometidos a prácticas de drenaje o labranza intensiva, se promueve la oxigenación de estos suelos y posterior oxidación de los materiales de hierro y azufre como la pirita (sulfuros de hierro, FeS), transformándolos en jarosita (sulfatos de hierro) y ácido sulfúrico como producto de disolución. De forma general, estos suelos tienen pH menor a 3,5, concentración de sulfatos mayor a 0,05% y moteados amarillos claros de jarosita a través del perfil del suelo (Castro y Gómez, 2015).

◉ ***Procesos de salinización:*** Diversos trabajos identifican tipos o formas de salinización para condiciones locales, y estudios detallados reportan algunos procesos por origen o forma de llegada de las sales a los suelos. Sin embargo, no se precisa una clasificación específica al respecto. Se pueden, entonces, mencionar las actividades más importantes que aportan a la salinización:

- Sequías y climas áridos.
- Inundaciones con fuentes salinas.
- Aplicación excesiva o continua de fertilizantes.
- Adición excesiva de enmiendas.
- Riegos continuos con aguas con altos contenidos de sales.
- Avenamiento o drenajes que generan oxidación de azufre.
- Vertimiento de aguas servidas o residuales industriales o mineras.
- Erosión que permite el afloramiento de horizontes o capas salinas.

5.1.5 LA SALINIZACIÓN DE SUELOS Y SUS PRINCIPALES IMPACTOS

Las sales pueden formarse naturalmente por procesos químicos de intemperismo de minerales o llegar a los suelos desde las capas subterráneas. Este proceso natural ha ocurrido siempre y la velocidad y magnitud varían de acuerdo con factores locales de formación (relieve, material parental o geológico, clima, vegetación y tiempo). Así, aunque existan suelos con mayores niveles de sales por condición y evolución natural, estos estarán incluso en equilibrio con su vegetación y funciones ecológicas.

Ahora bien, cuando el proceso pasa de ser natural a antrópico (mediante la incorporación de sistemas de riego, mecanización agrícola, fertilización excesiva y falta de drenajes adecuados), sucede en formas mucho más aceleradas y es más agresivo y nocivo. En términos sencillos, las sales afectan la vegetación natural o introducida, en la medida en que compiten con ella por el agua, o restringen la capacidad de esta para tomar agua. Técnicamente, lo que ocurre es que se altera la presión osmótica de las plantas, por lo que, al presentarse altas concentraciones de sal en el suelo, mayores a la de las plantas, el agua por presión osmótica se mueve de la planta al suelo, lo que causa deshidratación y marchitamiento. De este modo se reduce la productividad primaria de los suelos y, con ello, las condiciones de vida de otros sistemas de vida que dependen de ellos. Además, otros cambios que ocurren en el suelo, como el incremento en el pH, repercuten en la deficiencia de algunos elementos esenciales para la vegetación, lo mismo que la pérdida total de la estructura, que afecta totalmente a las poblaciones de macro y microorganismos que habitan allí.

La salinización se ha asociado a zonas secas y a procesos de desertificación. Principalmente, se produce en las regiones áridas y semiáridas, donde la lluvia es demasiado baja para mantener la percolación del agua a través del suelo y donde se practica el riego sin un sistema de drenaje natural o artificial. De hecho, se estima que a diario se pierden 2.000 hectáreas de tierras irrigables en el mundo por salinización, principalmente en zonas secas, afectando a 75 países (FAO, 2013).

Existen casos a nivel mundial donde zonas muy productivas se han degradado hasta convertirse en "desiertos", con lo que se ha perdido, no solo el aprovechamiento de los suelos para agricultura, sino también todas las funciones ecosistémicas en conjunto, entre ellas la posibilidad de vida y de establecimiento o colonización humana. Tal es el caso del mar de Aral en el Asia central (antigua Unión Soviética), donde gracias a la facilidad de mecanización y de implementación de sistemas de riego se utilizaron estas tierras fértiles para extraer gran cantidad de alimentos. No obstante, en unas décadas este territorio se transformó en un "desierto" salino de más de dos millones de kilómetros cuadrados (casi dos veces el tamaño de Colombia), perdiéndose un cuerpo de agua del tamaño un poco más grande que Costa Rica.

Otro caso destacado es el de Australia, el continente seco, donde la situación ha sido tan crítica que los agricultores han llamado a la salinidad "La Muerte Blanca" con razones más que justas (INFFER, 2013). Más de 5 millones de hectáreas se vieron afectadas cuando se incorporaron sistemas de riego que permitían el ascenso de sales del subsuelo a la superficie, lo que ocasionó pérdidas económicas por la muerte de cultivos y árboles y afectó directamente a la población humana y animal. El estudio en la zona de Queensland, que involucró investigación de campo y toma de datos durante un largo tiempo, identificó ocho

formas de salinización: efecto catena, depresión cerrada, riego con ascenso de aguas freáticas, riego con mala calidad de agua, constricción de cuenca, estratigrafía, forma de represas y evaporación (Biggs & Watling, 2010).

A partir de esta base de conocimiento se han establecido impactos en los siguientes niveles:

1 **Productividad de cultivos:** El principal efecto de este proceso se puede reconocer en las zonas de agricultura con uso de riego, pues impide el crecimiento normal de las plantas y, por ende, disminuye la productividad de los cultivos. Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2002), por lo menos el 8% de las tierras de regadío del mundo dan muestras de saturación de sales, cifra que se incrementa a alrededor del 25% cuando se trata de regiones áridas y semiáridas. Dado que es en dichas tierras donde se produce el 40% de los alimentos del mundo, esta problemática ambiental debe tomarse como un serio peligro para la seguridad alimentaria a nivel global, sobre todo si se considera que la población prevista para el 2050 será de nueve mil millones de personas (FAO, 2015) y que los suelos productivos disponibles son escasos y además disminuyen a medida que se incorporan usos diferentes a la agricultura (vías, minas, zonas urbanas, industriales, entre otras). A nivel mundial, las tierras de regadío cubren más de 310 millones de hectáreas, de las cuales el 20% están afectadas por salinidad (62 millones de hectáreas) (FAO, 2013).

2 **Economía:** El costo ajustado por inflación de la degradación del suelo inducida por salinización en 2013 se estimó en US$ 441 por hectárea, con una estimación de las pérdidas económicas mundiales en US$ 27,3 mil millones por año (Qadir, 2014). También se han señalado impactos en las empresas dependientes de materias primas o de recursos naturales (madera, papel), de alimentos y bebidas, construcción y materiales, bienes industriales y servicios (transporte y empaque), servicios públicos (agua y electricidad), efectos personales y enseres domésticos (ropa, calzado y muebles), el ocio y los viajes (hoteles y restaurantes), y los bienes raíces (Qadir, 2014).

3 **Ambiente:** Entre otros costos ambientales asociados con la salinización, se encuentra el calentamiento global ya que los suelos afectados por el fenómeno emiten más gases de efecto invernadero y reflejan más radiación solar (Qadir, 2014). Asimismo, aunque no existe una evaluación científica de la relación directa entre la salinización y la inundación, se ha observado que en los casos de aumento de salinidad por sodio la estructura del suelo se pierde. Así el suelo, como sistema trifásico que presenta poros para albergar agua y aire, pasa a ser sólido, cerrado y sellado, lo que impide la penetración, permeabilidad e infiltración del agua, con lo cual aumenta la susceptibilidad a inundación. Es decir, los impactos de la salinización son también indirectos y catastróficos.

Como se mencionó, la salinización ha sido reconocida a nivel mundial como un problema de degradación de suelos, y se han identificado las causas directas y los ambientes climáticos propicios. Por lo tanto, la mayor parte de inventarios globales se centran en las zonas o regiones secas de gran extensión, con condiciones generalmente extremas (Australia, Estados Unidos, Asia Central, China, Medio Oriente y Mediterráneo). Asimismo, dichos estudios se han orientado principalmente a zonas agrícolas, y las clases de salinización se han determinado de acuerdo con umbrales de daño a cultivos o plantas. Sin embargo, los procesos de salinización no son exclusivos de los ambientes secos; también se presentan en zonas húmedas (tal es el caso de algunos cultivos de flores en la planicie de Bogotá).

La salinización en las zonas tropicales ecuatoriales no se presenta en condiciones similares a las de las regiones estudiadas a nivel mundial. Colombia, al ser en su mayoría ecuatorial, presenta un patrón climático diferente al de zonas con condiciones extremas climáticas dadas por las diferencias estacionales (inviernos fríos, veranos cálidos). Resulta fundamental, entonces, analizar el problema desde una perspectiva que comprenda e interprete la diversidad dinámica y geográfica (climática, edafológica y de paisajes) que ha enmascarado la situación del país frente a la mirada global.

Finalmente, es necesario resaltar que, mientras algunos países desarrollados que se han visto afectados han diseñado e implementado políticas y planes de manejo alrededor de esta problemática, en los países en desarrollo la gestión de los suelos ha sido marginada. De esta manera la degradación por salinización le ha ganado paso a la planeación del uso y manejo de los suelos en estas regiones, una tendencia preocupante si se tiene en cuenta que generalmente estos países serán los más golpeados por los impactos del cambio climático, dada su escasa capacidad para adaptarse y su consecuente vulnerabilidad a estos efectos negativos (IPCC, 2001).

5.1.6 IMPLICACIONES DE LA SALINIZACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS TENDENCIAS DE USO Y OCUPACIÓN

Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), el incremento en la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera genera un desequili-

brio en el balance térmico del planeta, que se traduce en un aumento de la temperatura (IPCC, 2001). Se estima que en el transcurso del siglo XX el incremento de la temperatura promedio de la superficie del planeta fue de 0,6 °C (±0,2 °C). Esto hizo que el nivel de los océanos subiera entre 10 y 20 cm a causa de la expansión térmica del agua y la descongelación parcial de los casquetes polares (IPCC, 2001). Asimismo, el IPCC advierte que las concentraciones de CO_2 podrán aumentar de 490 a 1.260 ppm (entre un 75% a un 350% por encima de la concentración del año 1750, época preindustrial) para el final del año 2100.

Con base en estas proyecciones, principalmente, se prevé:

- Aumento en el promedio global de la temperatura de la superficie de la Tierra entre 1,4 °C y 5,8 °C.

- Calentamiento de las áreas terrestres más rápido que el promedio global.

- Incremento en la precipitación media anual, con más lluvias y mayores variaciones anuales en algunas regiones y menores en otras (los aumentos y las disminuciones serán generalmente de un 5 a un 10%).

- Disminución del contenido de hielo de los glaciares y las capas de hielo.

- Aumento proyectado en el nivel del mar de 9 a 88 cm entre 1990 y el 2100.

- Mayores riesgos por inundaciones y deslizamientos en zonas de asentamientos humanos.

- Escasez de agua acentuada, contribuyendo a que el número de personas que habitan en países donde existe presión sobre este recurso se incremente de los 1,7 billones actuales hasta alrededor de 5 billones en 2025.

- Daño irreversible a ecosistemas y alto riesgo de extinción de especies animales y vegetales.

- Incremento de la presión sobre el recurso hídrico en zonas áridas y semiáridas.

- Alteraciones en la producción de cultivos (en los trópicos y subtrópicos se espera que la producción disminuya).

- Efectos negativos sobre la salud humana (riesgo de expansión geográfica de malaria y dengue).

No obstante la percepción generalizada sobre la relación entre el cambio climático y los riesgos de fenómenos climáticos más intensos y frecuentes, los modelos que permiten estas proyecciones tienen aún incertidumbres de diversa magnitud. En cuanto al potencial del cambio climático para generar catástrofes a gran escala, no se prevén en el corto plazo, pero sí se da una alerta para el largo plazo. Las proyecciones más confiables muestran lluvias más intensas en algunas áreas, junto a un mayor riesgo de sequías en latitudes medias y ciclones tropicales más intensos —aunque su frecuencia es difícil de predecir—, así como temperaturas máximas más altas y días



más calientes, junto con temperaturas mínimas más altas y menos días fríos (IPCC, 2001).

De acuerdo con los escenarios de cambio climático en Colombia, se han estudiado las implicaciones de los procesos de degradación de los suelos y las tierras en los diferentes sistemas biofísicos y socioeconómicos del país. A continuación se describen algunos de ellos:

- **Regiones costeras:** Para el análisis de vulnerabilidad en las zonas costeras e insulares se tomó, por recomendación del IPCC, un incremento del nivel medio del mar en las costas colombianas de un metro, con lo cual se causaría la inundación permanente de 4.900 km^2 de costas bajas, el encharcamiento fuerte a total anegamiento de 5.100 km^2 de áreas costeras moderadamente susceptibles, así como el encharcamiento de zonas aledañas y la profundización de los cuerpos de agua localizados en la zona litoral y la plataforma continental. Bajo estas condiciones, la salinización natural de los suelos por influencia marina se incrementaría en la mayoría de las zonas bajas del litoral Caribe y Pacífico.

- **Sector agrícola:** El análisis de la vulnerabilidad del sector agrícola se hizo mediante la metodología denominada analogía espacial. De acuerdo con lo establecido, las zonas bioclimáticas más seriamente afectadas serían las de alta montaña (>2.700 msnm), los valles interandinos y la región seca caribeña. La disminución del área de páramos afectaría la oferta de agua para aquellas ciudades y zonas agrícolas que se encuentran en áreas de subpáramo y de ladera. La región Caribe, los valles interandinos, La Guajira y los altiplanos cundiboyacense y nariñense son altamente susceptibles a procesos de avance e intensificación de la desertificación (CIAT, 2013). Como consecuencia, los suelos de estas zonas tendrían mayor susceptibilidad a salinización debido a efectos de sequía, mayor utilización de riego y mayor uso de agroquímicos.

Los valles interandinos albergan cultivos de arroz, caña, soya y sorgo, mientras que en la región Caribe los principales cultivos son sorgo, arroz y ganadería. En general, se determinó que los cultivos más vulnerables son: arroz secano manual, arroz secano mecanizado, tomate de árbol, trigo y papa (CIAT, 2013).

En síntesis, según las previsiones de los escenarios de cambio climático, las zonas secas a áridas tendrían mayor presión por el recurso hídrico, lo que obligaría a un mayor uso de aguas para riego y a buscar y utilizar aguas subterráneas, generalmente con altos contenidos de sales. Así, en estas regiones podría aumentar la salinización de los suelos. De igual manera, el incremento de temperatura elevaría la evapotranspiración, proceso que facilita la acumulación de bases como sodio, calcio y otras sales.

Por otro lado, en el Foro Global sobre Salinización y Cambio Climático del 2010 (FAO, 2011) se ubica a la salinización como una de las principales causas de la degradación de los suelos y se alerta sobre el aumento de las áreas con suelos afectados por sales debido a la intensificación de la agricultura y a las modificaciones en los patrones de temperatura y precipitación como resultado del cambio climático.

5.2 MARCO DE REFERENCIA METODOLÓGICO

5.2.1 MODELO FPEIR

El modelo FPEIR (fuerzas motrices, presiones, estado, impactos y respuestas) o DPSIR (*Driven Forces, Preassure, State, Impact, Response*, en su sigla en inglés) es un sistema completo de organización de indicadores que permite comprender los diferentes factores que intervienen en un proceso determinado: en este caso particular, la degradación de suelos por salinización. Su metodología tiene una relación causal entre sus componentes así:

1. Las *fuerzas motrices* son causas indirectas del estado actual del suelo (políticas económicas, usos históricos del suelo, auges económicos, entre otros). Estas a su vez producen

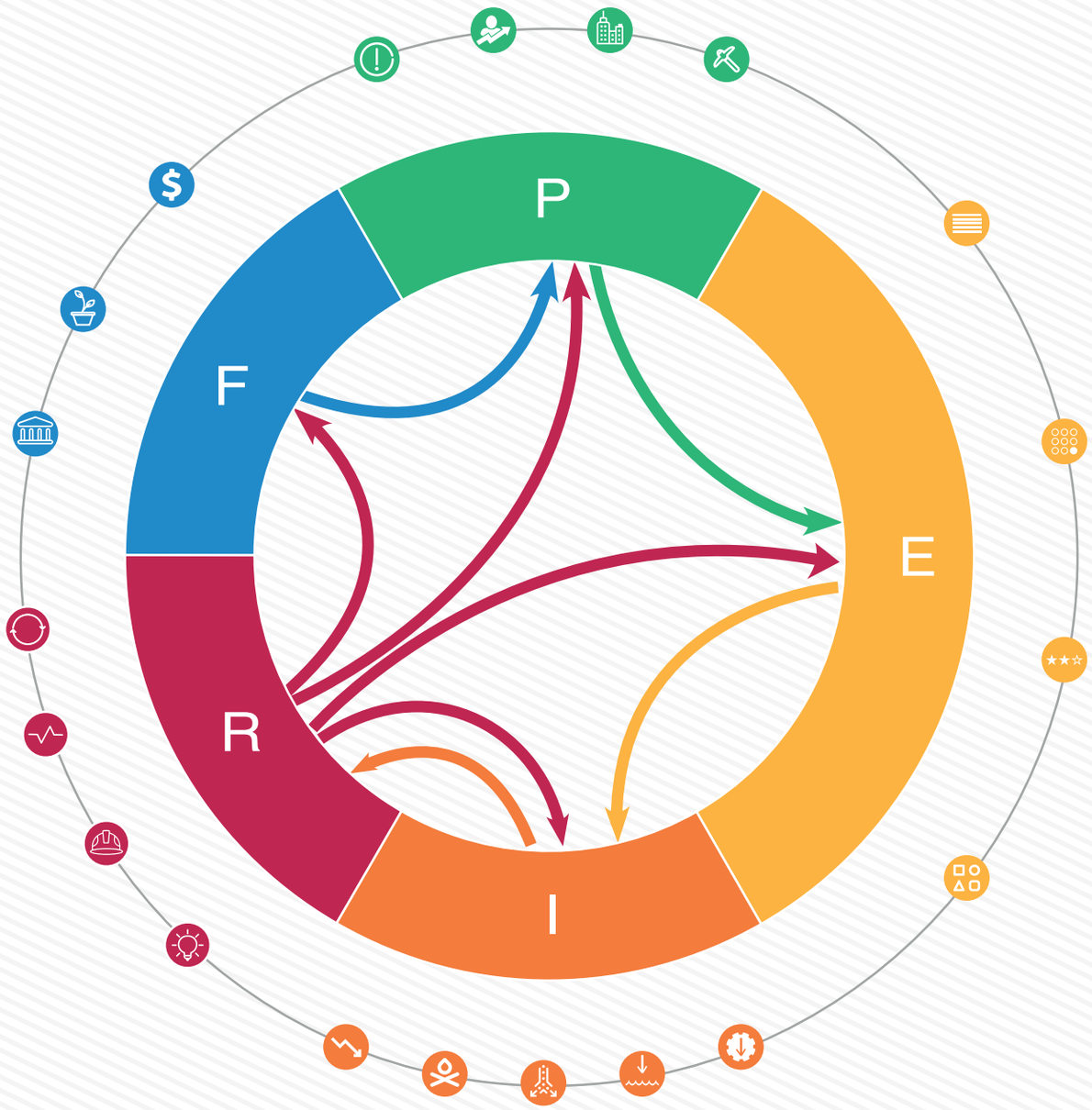
2. *Presiones,* que son causas directas (usos intensivos del suelo, crecimiento poblacional, urbanización, cambio de uso del suelo, transformación de cobertura, entre otros). Estos dos componentes generan un

3. *Estado* del recurso, en este caso, de la calidad y degradación del suelo.

4. Luego se presentan las consecuencias o *impactos* (pérdida de fertilidad de las tierras, baja productividad, pérdida de la biodiversidad, cambios en estructura y función del suelo).

5. Finalmente, se generan *respuestas* para el control y seguimiento del estado del recurso y de toda la cadena relacional multivariable, con el fin de contrarrestar o mitigar los problemas que trae la degradación del suelo.

La metodología propuesta en este protocolo está relacionada con el proceso lógico de estudio de la salinización de suelos a distintas escalas de análisis. En este sentido, se parte de la adopción del marco conceptual que orienta la metodología, sustentado en la *Política para la gestión sostenible del suelo* del MADS, dentro de la estrategia de monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos. Es así como la línea base se desarrolla en el contexto del *Programa de monitoreo y seguimiento a la degradación de los suelos,* cuyos datos deben alimentar el sistema de información SIAC (ver Figura 6).



FUERZAS MOTRICES

- Auges económicos
- Usos históricos del suelo
- Políticas económicas

PRESIONES

- Usos intensivos del suelo
- Crecimiento poblacional
- Urbanización
- Minería

ESTADO

- Calidad y degradación del suelo
- Tipo (natural, antrópica, mixta)
- Grado (Severo, Muy severo)
- Clase (Sódico, Magnésico, Calcáreo, etc.)

IMPACTO

- Baja productividad
- Disminución de agua útil
- Dispersión por sodio
- Toxicidad por sales (Na, Mg)
- Pèrdida de estructura

RESPUESTAS

- Acciones y obras de manejo sostenible
- Proyectos de prevención, mitigación y recuperación
- Programa de monitoreo
- Gestión sostenible

Figura 6. Modelo FPEIR y su relación con los procesos de degradación de suelos por salinización

5.2.2 MARCO CARTOGRÁFICO Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN

La representación espacial de fenómenos naturales es de gran importancia para la toma de decisiones, sobre todo en la actualidad, cuando las herramientas de información geográfica son particularmente útiles para generar, almacenar, representar y analizar información variada. El hecho de que faciliten procesos masivos de manejo de datos y su correlación espacial con otras variables territoriales les otorga a estas tecnologías una enorme utilidad de cara al monitoreo y seguimiento de la calidad de los suelos en el país. Es por eso que se propone hacer uso de un sistema de información geográfica (SIG) como herramienta fundamental para implementar las diferentes etapas y fases del protocolo y, en particular, elaborar la zonificación de degradación de suelos por salinización y sus análisis espaciales respectivos.

Para efectos del presente protocolo, el SIG se encuentra definido por un modelo de datos y un catálogo de objetos (según los estándares estipulados en la Norma Técnica Colombiana 5661). Estos últimos son representados bajo un *sistema de referencia,* es decir, un conjunto de convenciones y conceptos teóricos adecuadamente modelados que definen, en cualquier momento, la orientación, ubicación y escala de tres ejes coordenados [X, Y, Z]. Para su aplicación es imprescindible un *marco de referencia,* el cual, a su vez, proporciona los puntos de control que permiten mantener actualizado el sistema. Si el origen de coordenadas del sistema [X, Y, Z] coincide con el centro de masas terrestre, este se define como *sistema geocéntrico de referencia,* mientras que si dicho origen está desplazado del geocentro, se conoce como *sistema geodésico local.* Convencionalmente, estas posiciones pueden expresarse en términos de coordenadas curvilíneas latitud (ϕ) y longitud (λ), las cuales requieren de la introducción de un elipsoide. Por otra parte, la orientación y ubicación del elipsoide biaxial asociado a un sistema coordenado [X, Y, Z] se conoce como datum. Si este es geocéntrico, se tendrá un *datum geocéntrico* y, si es local, se tendrá un *datum geodésico local.*

Es necesario definir la escala de trabajo considerando si el estudio es a nivel nacional (1:100.000-1:500.000), regional (1:25.000-1:100.000) o local (1:5.000-1:25.000).

Con el propósito de unificar la plataforma de referencia para la definición de coordenadas a nivel mundial, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos implementó la serie de World Geodetic System (WGS): WGS60, WGS66, WGS72 y WGS84, cuya característica fundamental es que su origen de coordenadas cartesianas es geocéntrico. Dado que la concepción de los sistemas WGS fue estrictamente militar, la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) promueve la versión civil de los sistemas globales de referencia, conocidos como GRS (Geodetic Reference System): GRS67 y GRS80. De hecho, el elipsoide asociado al WGS84 es el del sistema GRS80.

A nivel continental, el Directorio de Directores de Institutos Geográficos de América del Sur, España y Portugal (DIGSA) acordó que todos los sistemas nacionales de referencia en América del Sur deben estar definidos sobre SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) y serán una densificación de este (IGAC, 2004).

Concretamente en Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, organismo nacional encargado de determinar, establecer, mantener y proporcionar los sistemas de referencia geodésico, gravimétrico y magnético (Decretos 2113/1992 y 208/2004), determinó a partir de las estaciones SIRGAS la red básica GPS, denominada *MAGNA* (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia). Por estar referida a SIRGAS, esta se denomina convencionalmente *MAGNA-SIRGAS.*

Así las cosas, con el objeto de formular y ejecutar un SIG para implementar el protocolo y elaborar la zonificación de la degradación por salinización, es necesario identificar las siguientes variables (Figura 7):

1. Zona geográfica de estudio.
2. Escala nacional, regional o local.
3. Sistema de referencia y sistema de proyección en caso de ser escala regional o local.
4. Modelo de datos y catálogo de objetos (Norma Técnica Colombiana, NTC 5661).
5. Estructuración de la base de datos espacial.
6. Conceptos básicos de calidad de los datos geográficos (Norma Técnica Colombiana, NTC 5660).
7. Metadatos (Norma Técnica Colombiana, NTC 4611).



Zona geográfica de estudio.

Escala nacional, regional o local.

Sistema de referencia y sistema de proyección en caso de ser escala regional o local.

Modelo de datos y catálogo de objetos (Norma Técnica Colombiana, NTC 5661).

Estructuración de la base de datos espacial.

Conceptos básicos de calidad de los datos geográficos (Norma Técnica Colombiana, NTC 5660).

Metadatos (Norma Técnica Colombiana, NTC 4611).

Figura 7. Estructura metodológica del marco cartográfico y sistemas de información



6. METODOLOGÍA GENERAL

6.1 ESTRUCTURA METODOLÓGICA

La estructura metodológica permite desarrollar actividades tendientes a la elaboración del estudio de la identificación, zonificación, caracterización, análisis y evaluación de la degradación de suelos por salinización a distintas escalas. El resultado se constituirá en la línea base o punto de referencia para implementar el programa de monitoreo y seguimiento. En ese sentido, será un valioso instrumento para abordar las fases de control y vigilancia de la degradación de los suelos por salinización del país.

Con el fin de organizar el desarrollo del protocolo, la metodología está estructurada en fases, etapas y actividades orientadas a la generación de un producto en cada una (Figura 8).



Figura 8. Estructura metodológica del *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización*

6.2 FASES, ETAPAS Y ACTIVIDADES DE LA LÍNEA BASE DE DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

Para identificar, delimitar y evaluar la degradación de suelos por salinización, se deben cumplir las siguientes **fases,** *etapas* y principales actividades:

◉ **Zonificación de la degradación de suelos por salinización[2].**

- *Zonificación preliminar.*

  1 Definir unidad de análisis espacial y escala de trabajo.

  2 Adquirir información requerida (oficial y disponible).

  3 Definir el sistema de clasificación y calificación.

  4 Realizar análisis cartográficos digitales.

  5 Elaborar zonificación preliminar (en particular, cartografía base y cartografía temática de referencia).

- *Preparación de trabajos de campo.*

  1 Definir puntos de validación de la zonificación preliminar.

  2 Establecer las rutas a seguir.

  3 Diseñar los formularios para el levantamiento de información de campo.

- *Trabajo de campo.*

  1 Realizar recorridos para la verificación y validación de la zonificación preliminar.

  2 Levantar información en terreno que permita caracterizar y tipificar los distintos procesos de salinización.

  3 Toma de muestras de suelo, agua y material vegetal.

- *Postcampo.*

  1 Organizar la información.

  2 Elaborar leyenda del mapa.

  3 Realizar ajustes para la zonificación final de degradación de suelos por salinización.

  4 Identificar el indicador o indicadores de estado de la degradación de suelos por salinización.

◉ **Caracterización de aspectos biofísicos y socioeconómicos relacionados.**

- *Planeación.*

  1 Identificar y definir variables y criterios.

  2 Definir unidades espaciales de referencia.

  3 Analizar y generar mapas temáticos de referencia.

- *Preparación de trabajos de campo.*

  1 Diseñar y elaborar instrumentos para la toma de información.

  2 Identificar actores relacionados con los procesos de salinización.

  3 Definir los lugares que se van a visitar, recorridos y actores relevantes para entrevistar.

  4 Diseñar y convocar a talleres regionales y locales.

- *Trabajo de campo.*

  1 Hacer recorridos de observaciones en terreno para verificar información secundaria.

  2 Llevar a cabo reuniones con actores regionales y locales (aplicar instrumentos).

  3 Talleres regionales o locales con actores clave.

- *Postcampo.*

  1 Organizar información primaria y secundaria.

  2 Construir indicadores biofísicos y socioeconómicos.

  3 Elaborar mapas de caracterización biofísica y socioeconómica.

  4 Caracterización biofísica relacionada con procesos de salinización.

  5 Caracterización socioeconómica y cultural relacionada con procesos de salinización.

◉ **Análisis y evaluación.**

- *Generar indicadores de estado actual de degradación de suelos por salinización.*

- *Evaluar los factores determinantes de los problemas de la degradación de suelos por salinización.*

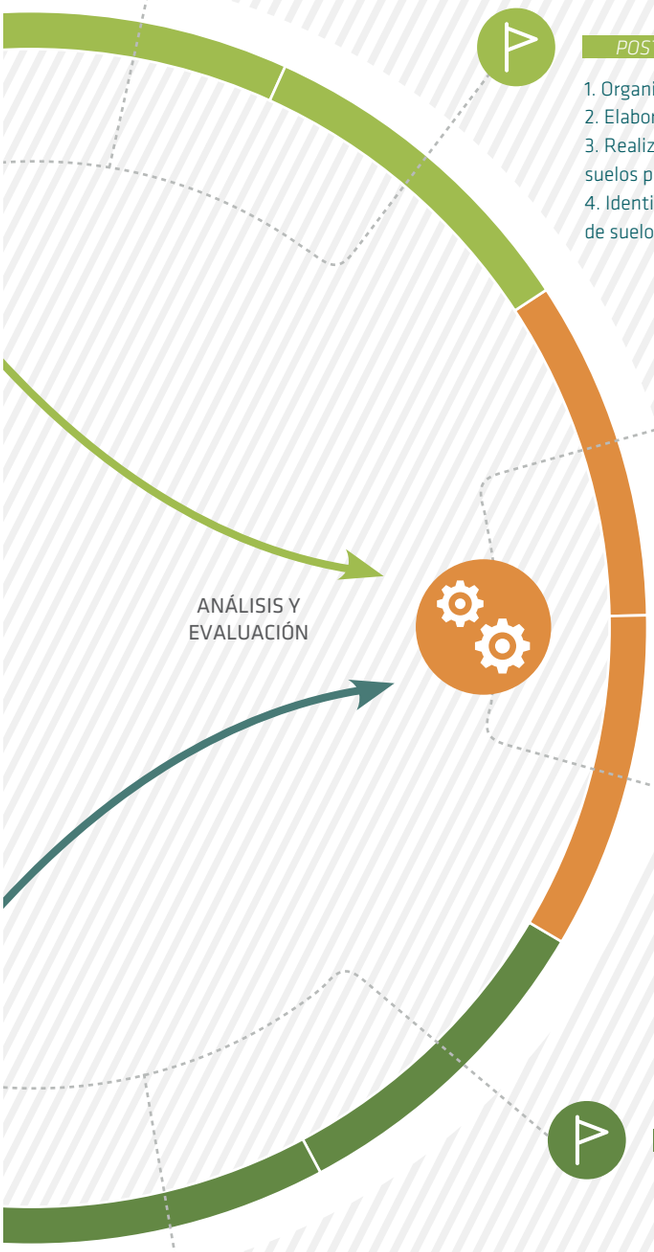
2 Las fases de zonificación y caracterización se pueden iniciar en simultáneo.



A partir de esta estructura metodológica, en el capítulo siguiente se describen los métodos, procedimientos, técnicas e instrumentos para cada una de las actividades definidas para el desarrollo y elaboración de la línea base.



Figura 9. Fases, etapas y actividades del protocolo



TRABAJO DE CAMPO

1. Realizar recorridos para la verificación y validación de la zonificación preliminar
2. Levantar información en terreno que permita caracterizar y tipificar los distintos procesos de salinización
3. Toma de muestras de suelo, agua y material vegetal

POSTCAMPO

1. Organizar la información
2. Elaborar leyenda del mapa
3. Realizar ajustes para la zonificación final de degradación de suelos por salinización
4. Identificar el indicador o indicadores de estado de la degradación de suelos por salinización

ANÁLISIS

· Salinización vs. variables ambientales, socioeconómicas y culturales
· Espacialización y estadísticas de la relación entre salinización (estado)
· Generación de los los indicadores FPEIR por componentes

EVALUACIÓN

· Evaluación de la magnitud y severidad de la salinización por áreas de análisis
· Evaluación integral por componente; ponderación y representación (causas, estado, impactos y respuestas a la degradación del suelo por salinización)

POSTCAMPO

1. Organizar información primaria y secundaria
2. Construir indicadores biofísicos y socioeconómicos
3. Elaborar mapas de caracterización biofísica y socioeconómica
4. Caracterización biofísica relacionada con procesos de salinización
5. Caracterización socioeconómica y cultural relacionada con procesos de salinización

TRABAJO DE CAMPO

1. Hacer recorridos de observaciones en terreno para verificar información secundaria
2. Llevar a cabo reuniones con actores regionales y locales (aplicar instrumentos)
3. Talleres regionales o locales con actores clave

6.3 NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA EJECUCIÓN

Los niveles de análisis de estudio se presentan en tres escalas:

- Nacional: Tiene por objeto el análisis integral del proceso a nivel de país y sus principales subdivisiones, como áreas hidrográficas, departamentos o autoridades ambientales regionales. Genera la estadística del estado de degradación de suelos por salinización y define los lineamientos para establecer políticas, programas y proyectos que conduzcan a la prevención, mitigación y uso sostenible de los suelos.

- Regional: Corresponde a sectores o zonas del país donde se deben realizar estudios de mayor escala cartográfica que aborden el problema de la salinización de forma integral, considerando su estado actual, sus causas y consecuencias, con miras a tomar decisiones y acciones para su prevención, mitigación, rehabilitación y restauración. Las corporaciones autónomas regionales y los departamentos político-administrativos serán los responsables de adelantar estos estudios, de tal manera que ejecuten las políticas e implementen programas y proyectos para la conservación y uso sostenible de los suelos.

- Local: Debe incluir áreas no muy extensas donde se considere que el problema de salinización de los suelos está afectando de manera considerable los servicios ecosistémicos y se tengan consecuencias económicas, sociales y ecológicas. Una primera aproximación hacia la definición de las zonas donde se deben llevar a cabo este tipo de estudios es la de las áreas con susceptibilidad alta y muy alta a la degradación de suelos por salinización en el mapa elaborado a escala regional y nacional. Las unidades de análisis para el nivel local serán sectores de las corporaciones regionales, subzonas hidrográficas, municipios, distritos de riego o unidades productivas de gran envergadura, donde las prácticas agronómicas, industriales o de minería generen procesos de salinización de suelos.

En cuanto a nivel de información, se tiene que:

- Para el nivel nacional es general y se presenta a escala cartográfica desde 1:1.500.000 hasta 1:100.000. En este caso las unidades de análisis se determinan utilizando las unidades cartográficas de los estudios generales departamentales de suelos y las unidades de cobertura y uso de la tierra.

- Para el nivel regional, las escalas cartográficas de trabajo pueden fluctuar entre 1:25.000 hasta 1:100.000. Es posible utilizar unidades de suelos de los estudios generales departamentales y de los semidetallados de zonas específicas, así como las unidades de tipos de uso actual.

- Para el nivel local, las escalas adecuadas son 1:5.000 a 1:25.000 según la extensión de las unidades productivas o ventanas de interés. Se deben realizar muestreos detallados o ultradetallados de suelos y considerar los sistemas de uso de la tierra con sus diversas prácticas.

6.4 PLANEACIÓN Y APRESTAMIENTO

Antes de iniciar el trabajo de la zonificación, caracterización y evaluación de la degradación de suelos por salinización, es necesario ejecutar la planeación inicial y el aprestamiento. En este momento se definen:

1. Los principios para la ejecución, donde se plantean las reglas de juego para su desarrollo y para el cumplimiento de objetivos y metas.

2. Los perfiles de los profesionales requeridos y el grupo de trabajo y sus roles.

3. Los equipos, implementos y software necesarios.

4. Los presupuestos y los costos para cada una de las fases y etapas.

6.4.1 PRINCIPIOS PARA LA EJECUCIÓN

Enfoque participativo: El monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por salinización debe involucrar a diferentes actores (comunitarios, etnias, organizaciones, gremios, instituciones, academia, entre otros) en sus diferentes escalas (local, regional, nacional e incluso internacional). Esta interacción participativa con los actores permite una continua retroalimentación para ajustar procesos, métodos y técnicas a los contextos particulares de cada escala y lugar. En particular, en la escala local se debe dar relevancia al conocimiento y experiencia práctica de los actores locales (campesinos, productores, indígenas, entre otros), referenciando las causas e impactos en las transformaciones del paisaje y en la utilización de los suelos, pero también las consecuencias sociales, económicas y culturales.

La aplicación del protocolo debe tener un énfasis ambiental, especialmente en la evaluación de las funciones y servicios ecosistémicos de los suelos, que repercuten en el bienestar humano. Sus



afectaciones por la degradación tienen relación con aspectos económicos, ecológicos, sociales y culturales de la tierra y el territorio.

Enfoque multidisciplinario: El enfoque multidisciplinario debe garantizar que concurran diferentes visiones del problema en cuanto a lo técnico y a las causas y consecuencias. Esta visión desde varias disciplinas permite tener un contexto integral del proceso, por lo que su análisis y evaluación será más acorde a la realidad de cada región. De este modo se contribuye considerablemente al monitoreo y seguimiento del proceso de salinización y, de igual manera, a las acciones para su control, mitigación y manejo sostenible.

Este enfoque se debe reflejar en la conformación del equipo de trabajo, con la concurrencia de profesionales de diferentes ramas tales como agrólogos, agrónomos, biólogos, ecólogos, economistas, administradores y del área social. Además, los perfiles de los profesionales, en lo posible, deben ser transdisciplinarios, o sea, deben ser capaces de darle una visión integral al problema, pero aportando desde su especialidad o formación.

Flexibilidad de la metodología: La metodología del protocolo debe tener flexibilidad para su implementación. En ese sentido, es necesario reconocer las particularidades de cada zona como premisa, de manera que siempre se puedan hacer adaptaciones en procura de ajustar las fases, las etapas y las actividades a los contextos particulares de las unidades de análisis, de la información disponible y de las sugerencias de complementación al protocolo.

La implementación del protocolo debe estar basada en principios científicos sólidos, siempre tratando de actualizar las tecnologías requeridas, produciendo métodos y procedimientos simples y accesibles, pero a su vez lo suficientemente rigurosos para ser reproducibles en las diferentes escalas. La metodología deberá considerar adaptaciones a las distintas realidades de las zonas de trabajo e incluso a los presupuestos que las entidades o instituciones puedan aportar. Es importante la viabilidad del proyecto, garantizando la calidad de los resultados y productos propuestos.

Aseguramiento de la calidad: El control de calidad en cada una de las actividades de las diferentes etapas y fases es muy importante, con el fin de garantizar los productos finales, en particular la zonificación. Se recomienda tener procesos y reprocesos de revisión de los resultados parciales y finales para realizar los ajustes necesarios en cada una de las actividades.

Los aspectos con mayor sensibilidad, donde se debe centrar la atención, son:

- La delimitación de las unidades de análisis de degradación.
- La calificación de las unidades según su tipo, grado y clase.
- Los trabajos de campo en su distribución y la representatividad del muestreo.
- La rigurosidad en las marchas analíticas de los análisis de laboratorio.
- La actualización de la información de los sistemas de uso de la tierra y de los datos de presiones e impactos.

La actualización frecuente y el control de calidad permanente son prioritarios.

Aunque la estructura metodológica está armonizada por los postulados del FPEIR, la implementación a diferentes escalas depende de la experiencia de los profesionales, de voluntades políticas y de la asignación de recursos e insumos. Por lo tanto, se debe evaluar la calidad de los datos producidos y considerar su alcance y limitaciones con el fin de estandarizar los resultados para su uso y aplicación en los distintos niveles de análisis.

6.4.2 PERFIL Y CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

Para ejecutar el protocolo se debe contar con un equipo humano de profesionales y técnicos expertos en suelos, medio ambiente, producción agrícola y pecuaria y dinamismo del territorio, que tengan conocimiento claro de los procesos de degradación de suelos y que estén abiertos a la comprensión de las problemáticas socioculturales y económicas. También conviene integrar a expertos en temas sociales que a su vez comprendan las dinámicas de los ecosistemas y su relación con las funciones y servicios de los suelos, y sus efectos sobre la comunidad y la sociedad.

Los profesionales que conformen el equipo de trabajo deben contar con experiencia en varios temas:

- Degradación de suelos (en especial, análisis de problemas de la química de los suelos).
- Levantamientos edafológicos (trabajos de campo: descripción de suelos y toma de muestras de suelos).
- Procedimientos químicos y físicos de laboratorio en muestras de suelos.
- Uso de la tierra, sistemas de producción y prácticas agronómicas en el manejo de cultivos y ganadería.
- Dinámicas ecosistémicas y funciones y servicios de los suelos.
- Análisis y evaluación de problemáticas ambientales y socioculturales.
- Manejo e implementación de sistemas de información geográfica, cartografía y sensores remotos.
- Apoyos en la parte logística, jurídica y administrativa.

El equipo de trabajo deberá estar conformado por una gama personas de distintas profesiones. La cantidad estará determinada por la magnitud de las actividades y el tiempo destinado para su ejecución, el cual depende de la escala de análisis (nacional, regional o local).

Para conformar el equipo se sugiere:

1. Un coordinador del grupo de trabajo, preferiblemente experto en análisis de problemáticas relacionadas con la degradación de suelos. Además, es importante que el profesional tenga conocimiento sobre las funciones y servicios que prestan los suelos, así como su relación con las actividades de la región.
2. Un coordinador o líder por cada fase (zonificación, caracterización, análisis y evaluación), con experiencia en suelos y dinámicas del territorio y, preferiblemente, conocimientos de sistemas de información geográfica.
3. Profesionales expertos en suelos y en actividades y metodologías de levantamiento de campo, interpretación de análisis de laboratorio, cartografía de suelos y sensores remotos. Según el nivel de análisis, se deben conformar equipos de trabajo de campo: cuanto mayor sea el nivel (local), más cantidad de personal se requiere.
4. Profesionales con formación en análisis de problemáticas agropecuarias, ambientales y socioculturales, con énfasis en aspectos rurales.
5. Profesionales de apoyo con experiencia en el manejo e implementación de cartografía digital, sistemas de información geográfica y, en lo posible, sensores remotos.
6. Auxiliares de investigación, con formación en temas agronómicos, biológicos, ambientales, químicos y socioculturales.

Fase		Planeación inicial	Zonificación	Caracterización	Análisis y evaluación
Profesionales	Profesionales expertos en degradación de suelos por salinización – Cartografía de suelos para zonificación		X		X
	Profesional experto en degradación de suelos para realizar el análisis y la evaluación de los procesos de salinización	X		X	X
	Profesionales expertos en el área social – Análisis y evaluación socioeconómica y cultural de los procesos de degradación de suelos por salinización			X	X
	Profesional en control de calidad		X		X
	Profesional experto en sistemas de información geográfica		X	X	X
	Profesional para el apoyo del componente administrativo y de oficina	X	X	X	X
	Asistentes SIG	X	X	X	X
Formación	Capacitación, grupos de trabajo, talleres, cursos, conferencias	X	X	X	X
	Socialización	X	X	X	X
Campo	Trabajos de campo, gastos de transporte aéreo y terrestre, auxiliares y viáticos		X	X	
Laboratorio	Análisis de laboratorio		X	X	

Tabla 1. Propuesta de conformación del equipo de trabajo

6.4.3 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS NECESARIOS

Los equipos e insumos requeridos para la implementación del protocolo son los necesarios para que el grupo de trabajo se desempeñe eficientemente en su labor. Algunos de ellos se relacionan a continuación:

- Juego de computadores (puestos de trabajo en oficina o portátiles).
- Una o varias cámaras fotográficas y de video para documentar las observaciones en campo.
- Al menos una grabadora de voz para grabar las reuniones, conversatorios, etc.
- Un juego de navegadores GPS para tomar la ubicación geográfica de las observaciones en campo.
- Software de edición de documentos, estadísticas, entre otros.
- Software de sistemas de información geográfica y procesamiento de sensores remotos.
- Equipos de campo: equipo para toma de muestras de suelo indisturbadas, pala, barreno, bolsas, pHmetro, conductímetro, tabla Munsell.
- Materiales para la colección de muestras de agua.
- Juego de materiales para colectar material vegetal: tijeras para podar, bolsas, papel y prensas.
- Impresoras, plotter, papel de impresión.
- Cartografía base a distintas escalas (1:100.000, 1:25.000, etc.).

6.4.4 COSTOS Y PRESUPUESTO ESTIMADO PARA LA EJECUCIÓN

Los costos de implementación del presente protocolo dependen de diferentes factores, entre los que se encuentran:

- El área de estudio.
- El nivel de análisis y la escala cartográfica de trabajo y de salida.
- Las condiciones y la infraestructura del área.
- La calidad y la cantidad de la información existente.
- El tiempo disponible de ejecución.
- Los recursos logísticos, económicos y humanos.

Teniendo en cuenta la aplicación y validación de este protocolo, se ha elaborado una tabla que referencia costos aproximados por kilómetro cuadrado para la implementación de la metodología y para el desarrollo de una línea base y/o monitoreo para una unidad de análisis según las necesidades y condiciones particulares del estudio. Para calcular el costo aproximado de implementación de este protocolo, se debe primero seleccionar la escala de trabajo. Esta define un índice que se debe multiplicar por el valor del salario mínimo del año en el que el proyecto se va a ejecutar. El resultado de esta operación es el valor aproximado por kilómetro cuadrado, el cual se deberá multiplicar por la cantidad de kilómetros cuadrados que tenga el área que se va a trabajar (municipio, departamento, zona hidrográfica, región) (ver Tabla 2).

Los insumos, la logística, el personal, la cantidad de talleres y reuniones, la calidad y cantidad de imágenes, la información primaria y secundaria, así como los demás elementos necesarios para el desarrollo de un proyecto de estas características, dependen del nivel de detalle de la escala de trabajo. Las características de cada estudio hacen que una estrategia o herramienta, la cantidad de trabajos de campo, el uso de drones u otros artefactos, el perfil profesional del equipo y demás elementos sean determinados por la necesidad particular de los objetivos de cada proyecto.

A partir de la experiencia de ejecución de la línea base, en la Tabla 2 se relaciona el nivel de estudio, la escala cartográfica de salida y los costos unitarios aproximados.

Nivel de estudio	Escala	smlv/km²
Nacional	Entre 1:100.000 y 1:500.000	0,1 - 0,3
Regional	Entre 1:25.000 y 1:100.000	0,5 - 0,8
Local	Entre 1:10.000 y 1:25.000	1,0 - 1,5

Tabla 2. Relación de nivel de estudio, escala cartográfica y costos aproximados





PROTOCOLO | IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA **DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN**

B. METODOLOGÍA A NIVEL REGIONAL Y NACIONAL

7. FASE DE ZONIFICACIÓN
8. FASE DE CARACTERIZACIÓN
9. FASE DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

IDEAM | CAR | U.D.C.A





7. FASE DE ZONIFICACIÓN

El propósito de esta fase es generar una representación cartográfica del estado actual de la salinidad, que constituirá *la línea base* o punto de partida para monitorear los procesos de degradación por salinización. Las etapas de la zonificación son:

- Zonificación preliminar.
- Preparación de campo.
- Trabajo de campo de verificación y toma de muestras.
- Postcampo, que implica la elaboración final del mapa de zonificación de línea base.

Para elaborar la zonificación se consideran una serie de variables, insumos y procesos que permiten generar la representación cartográfica con sus distintas categorías (Figura 10).

En términos generales, en esta fase:

a) Se analiza y evalúa la información documental y cartográfica (normalmente realizada por entidades oficiales) de:

- Suelos.
- Uso de la tierra.
- Otras actividades generadoras de salinidad.

↗ Minería Contaminación

b) Por medio de un sistema de clasificación y calificación, se reclasifican y generan las unidades espaciales del estado actual de la salinidad.

c) Se genera una zonificación preliminar.

d) Con el apoyo de mapas de susceptibilidad a los procesos de salinización, se realizan los trabajos de campo. En ellos se verifican las delineaciones y se toman las muestras de suelos y aguas que serán enviadas al laboratorio.

e) Con los resultados del trabajo de campo de verificación de unidades y con los resultados de laboratorio, se ajusta y elabora la zonificación final junto con su leyenda. Este será el producto de esta fase.

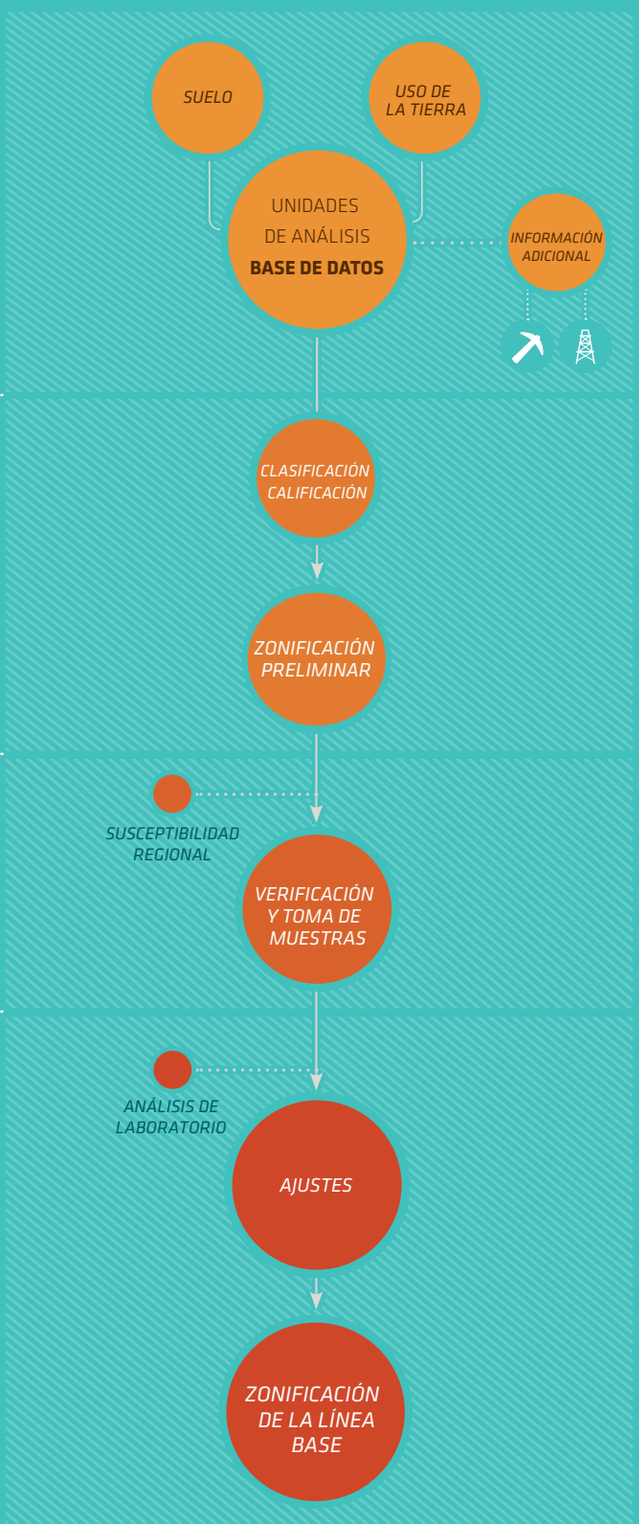


Figura 10. Modelo de zonificación de la línea base de la degradación de suelos por salinización

A continuación, se explican los métodos, técnicas y procedimientos para elaborar la zonificación de la línea base de degradación de suelos por salinización.

7.1 ETAPA DE ZONIFICACIÓN PRELIMINAR

El objetivo de esta etapa es elaborar la zonificación preliminar de la línea base de degradación de suelos por salinización recolectando, organizando y analizando la información disponible. Para tal fin:

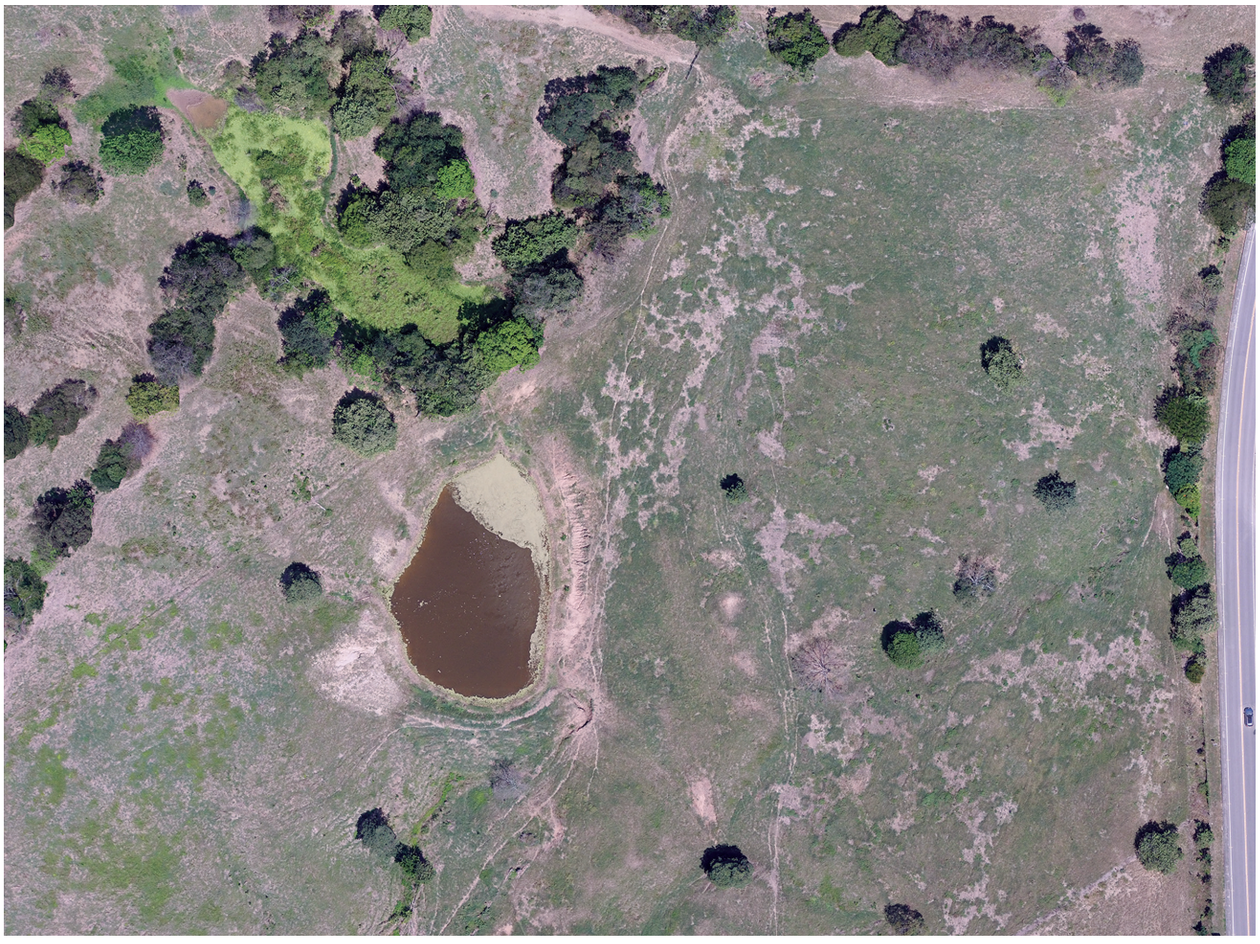
1. Se adquiere y revisa la información secundaria.
2. Se formulan un modelo conceptual y un modelo cartográfico.
3. Se definen, delimitan y caracterizan las unidades espaciales de análisis.
4. Estas unidades se valoran por medio del sistema de calificación que define el estado actual de la salinización de los suelos.
5. Finalmente, con estos procesos se elabora el mapa de zonificación preliminar.

7.1.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En primer lugar, se requiere analizar datos e información cartográfica que permitan realizar una aproximación para definir el estado actual de la degradación de los suelos por salinización. La información que se considera determinante en este sentido corresponde a la relacionada con:

- Los suelos.
- Las coberturas terrestres y el uso actual de la tierra.
- Otras actividades como la minería, fuentes de contaminación y sistemas de riego, entre otros.

También es importante contar con un mapa de áreas susceptibles a salinización. Asimismo, es conveniente tener información adicional de apoyo. En la Tabla 3 se enuncian los principales insumos y las fuentes para su adquisición.



Tema	Información	Fuente
Suelos	Estudios generales de suelos, que incluyan la cartografía (digital) y bases de datos de características físicas, químicas y morfológicas	IGAC, CAR, MADS, MADR
Uso actual de la tierra	Mapas de cobertura terrestre (Corine Land Cover)	IGAC-IDEAM, CAR
	Mapas de uso actual y ocupación del territorio	Corpoica
		Gobernaciones, Alcaldías
Zonificación de áreas susceptibles a salinización	Zonificación nacional* de áreas susceptibles a la salinización del suelo	IDEAM-CAR
	Ejercicios regionales de susceptibilidad a la salinización	
Clima	Datos y mapas multitemporales de precipitación, temperatura y evapotranspiración	IDEAM-CAR
	Clasificación climática y análisis de sequías	Corpoica, Universidades
	Escenarios o tendencias de variabilidad y cambio climático	Organizaciones internacionales
Paisaje y relieve	Modelos de pendientes o DEM	SGC, IGAC, IDEAM
	Mapas de geomorfología y procesos dinámicos	Universidades
Geología	Minería (tipo y localización) y contaminación superficial	Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía
	Formaciones geológicas superficiales	IGAC, MADS, MADR
	Materiales parentales de suelos	
Aguas e Hidrogeología	Acuíferos, niveles freáticos	SGC, IDEAM, CAR, IGAC, Federiego
	Calidad de aguas	
	Distritos de riego	

Tabla 3. Información relevante para elaborar la zonificación de la degradación de suelos por salinización a escala regional y nacional

*El IDEAM ha elaborado un mapa de zonificación de susceptibilidad de los suelos a la salinización, que puede ser utilizado como base para el análisis. Se sugiere que a nivel regional se elabore una zonificación con información de mayor detalle.

A nivel regional, también se debe consultar y utilizar información territorial de las instituciones encargadas del manejo, control y vigilancia del recurso como las corporaciones autónomas regionales, los planes de ordenamiento territorial, programas departamentales y municipales, los estudios e investigaciones realizados por las instituciones y empresas del sector privado.

7.1.2 CLASIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

La clasificación y calificación de la degradación de suelos por salinización, en el nivel regional y nacional, se realiza a partir de un sistema jerárquico que considera tres categorías: tipo, grado y clase. A continuación, se explican y describen cada una de ellas.

Tipo

Como se señaló, el tipo se refiere al origen o procedencia de las sales en el suelo, que bien puede ser natural, antrópico o mixto.

- **Natural:** Considera los procesos que ocurren en la naturaleza para la formación o acumulación de sales. Entre ellos están los procesos de formación de suelos y factores como el material parental, el clima y la geomorfología, que definen condiciones de salinidad natural.

- **Antrópico:** Considera los procesos debidos a actividades que desarrolla el ser humano e influyen en la acumulación de sales en los suelos, ocasionando un incremento en los niveles normales de la salinidad. Las actividades antrópicas más relevantes que inciden en este fenómeno se relacionan con el uso de la tierra y, en particular, con los sistemas de riego, la fertilización y el uso de agroquímicos, los sistemas de drenaje, la preparación del terreno y las quemas. Otras actividades como la minería en superficie y la explotación de hidrocarburos también tienen relación por medio de la contaminación del agua o por su directo impacto en el suelo. Lo mismo ocurre con algunas actividades industriales y con la disposición de desechos urbanos, que contaminan las aguas de riego.

- **Mixto:** considera los suelos que por material parental o pedogénesis contienen sales y en los cuales se desarrolla alguna actividad antrópica que incrementa las sales en el suelo.

En la Tabla 4 se describen las principales fuentes de origen de las sales en los suelos, junto con algunos ejemplos.



Criterio	Condiciones	Clasificación	Descripción		Ejemplos
Origen o procedencia de las sales presentes en el suelo	Materiales parentales de suelos que originan suelos genéticamente salinos	**Natural**	Primaria	Las sales son generadas *in situ*, normalmente heredadas del material parental	Suelos derivados de rocas químicas como calizas, halitas, dolomitas, yeso, entre otros
					También, suelos cuyo material parental es rico en sales como los sistemas marinos y de litoral, salares, etc.
	Coberturas terrestres naturales (bosques, arbustales, herbazales)		Secundaria	Las sales provienen de otros lugares y son depositadas generalmente por sedimentación	Suelos en zonas depresionales o de acumulación, como estuarios, basines, cubetas, deltas de los ríos, etc.
	Coberturas terrestres de origen antrópico o usos actuales de la tierra	**Antrópico**	Primaria	Las actividades realizadas por el hombre directamente sobre el suelo que de forma continua o excesiva ocasionan acumulaciones de sales	Suelos sometidos a riego o drenaje de forma permanente u ocasional con aguas ricas en sales
					La fertilización y la aplicación de agroquímicos (insecticidas, fungicidas, herbicidas, etc.) de forma constante o excesiva
					La preparación de suelos donde se invierten horizontes profundos ricos en sales
	Suelos genéticamente no salinos				Las quemas continuas de material vegetal, industrial o de desechos realizadas sobre los suelos o incorporadas sobre ellos
			Secundaria	Otras actividades realizadas por el hombre y que tienen influencia directa o indirecta sobre los suelos y generan incremento de sales	Actividades mineras, industriales o urbanas que contaminan directamente el suelo o las fuentes hídricas que luego son usadas como riego o pasan por los suelos
	Suelos genéticamente salinos y usos actuales de la tierra	**Mixta**	Las sales son generadas *in situ*, normalmente heredadas del material parental y las actividades realizadas por el hombre directamente sobre el suelo que de forma continua o excesiva ocasionan acumulaciones de sales		Combinación de las anteriores

Tabla 4. Calificación del tipo de salinidad en los suelos

Grado

Químicamente, el suelo es considerado como una colección de sales, donde ocurre actividad iónica (cationes y aniones) tanto en fase soluble como en fase coloidal (fase de intercambio).

El grado indica el nivel, cantidad o concentración de las sales en los suelos. Para determinarlo, es posible:

- Utilizar métodos químicos de laboratorio, como la medición del pH, la conductividad eléctrica (CE) en el extracto de la pasta de saturación y las bases adsorbidas en la fase coloidal (calcio, magnesio, sodio y potasio, conocidas como bases intercambiables) en la fase de cambio.
- Con estos datos, realizar cálculos de la saturación de bases (SB), la razón de adsorción de sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).
- También, determinar las sales en solución y precipitadas en la matriz del suelo como el carbonato de calcio ($CaCO_3$) y el yeso ($CaSO_4*2H_2O$).

Para la zonificación a nivel nacional y regional, se establecen cinco grados de salinidad en términos de severidad. La Tabla 5 indica los rangos de CE, RAS, PSI o porcentaje de sales precipitadas ($CaCO_3$ y $CaSO_4*2H_2O$) considerados para calificar el grado de salinidad de los suelos.

- **Muy severo:** Son aquellos suelos donde los valores de la CE están por encima de 16 dS/m, cuya RAS supera el 13%, el PSI es mayor al 15% o los contenidos de sulfatos (SO_4) están por encima de 0,05%. En estos casos los contenidos de sales en la solución del suelo o de sales precipitadas o de cationes limitantes (Na o Mg) en la fase de cambio son excesivos, evidenciándose limitaciones en la disponibilidad de agua para los organismos, destrucción de la estructura del suelo, dispersión de la materia orgánica, encostramiento y sellamiento superficial, o acidez extrema en el caso de los suelos sulfatados ácidos.
- **Severo:** Son aquellos suelos donde los valores de CE están entre 8 y 16 dS/m, el porcentaje de saturación de magnesio (PSMg) es mayor a 40% o los contenidos de $CaCO_3$ y $CaSO_4*2H_2O$ están por encima del 25% y del 15%, respectivamente. En estos casos, también los contenidos de sales en la solución del suelo o de sales precipitadas o de cationes limitantes son altos y se evidencian las mismas limitaciones del grado muy severo.

Variables	Rangos para calificación	Calificación
PSI, RAS, CE, pH y SO_4	RAS≥13 o PSI≥15	Muy severo
	CE≥16 dS/m	
	CE≥4 y pH<4 y $[SO_4]$≥0,05%	
CE, PSMg, $CaCO_3$eq y $CaSO_4*2H_2O$	CE≥8 dS/m<16 dS/m	Severo
	PSMg≥40	
	$[CaCO_3eq]$≥10%	
	$[CaSO_4*2H_2O]$≥15%	
CE, PSMg, $CaCO_3$eq Y $CaSO_4*2H_2O$	CE≥4 dS/m<8 dS/m	Moderado
	PSMg≥30<40	
	$[CaCO_3eq]$ ≥2<10%	
	$[CaSO_4*2H_2O]$ ≥ 5 < 15%	
CE	CE≥2 dS/m<4 dS/m	Ligero
CE	CE<2	Muy ligero

Tabla 5. Calificación del grado de salinidad

- **Moderado:** Son aquellos suelos donde los valores de CE están entre 4 y 8 dS/m, el PMgI está entre 30% y 40%, o los contenidos de $CaCO_3$ y $CaSO_4*2H_2O$ están entre 2-10% y el 5-15%, respectivamente. En estos casos los contenidos de sales son ya importantes, por lo que su manejo debe ser cuidadoso (pueden pasar con facilidad a grados severos).

- **Ligero:** Son aquellos suelos donde los valores de CE están entre 2 y 4 dS/m. En estos casos los contenidos de sales son bajos pero existe una posibilidad de que, sin un manejo adecuado, avancen a grados moderados de salinidad.

- **Muy ligero:** Son aquellos suelos donde los valores de CE son menores a 2 dS/m.

Clase

La clase se refiere a la dominancia de una sal, catión o anión en la solución del suelo. De acuerdo a las distintas fuentes de las sales, los suelos pueden estar dominados por un catión o anión o sal que los identifica y que determina su comportamiento. Dentro de las clases más específicas, se encuentran los suelos sódicos, calcáreos, magnésicos, yesíferos y sulfatados ácidos. Sin embargo, hay suelos salinos donde no hay una dominancia específica y son considerados en forma general salinos o alcalinos, según sus características de conductividad eléctrica y de pH. La Tabla 6 define los rangos específicos para las diferentes clases.

En la medida de lo posible, se debe evaluar la clase en precampo con la información química de las tablas de los estudios generales de suelos, calculando el porcentaje de saturación de sodio intercambiable y el de magnesio intercambiable, el porcentaje de carbonato de calcio equivalente y el porcentaje de yeso y sulfatos.

Variables	Criterio	Clase
CE (conductividad eléctrica) (dS/m)	CE≥2 dS/m	Salino
PSI (porcentaje de sodio intercambiable)	PSI≥7,5 o RAS≥13	Sódico
PMgI (porcentaje de magnesio intercambiable)	PMgI≥30	Magnésico
$CaCO_3$eq (porcentaje de carbonato de calcio equivalente)	$CaCO_3$eq≥2%	Calcáreo
Yeso ($CaSO_4*2H_2O$) (porcentaje de yeso)	Yeso($CaSO_4*2H_2O$)>5%	Gypsico
CE (conductividad eléctrica), pH y sulfatos [SO_4]	pH<6 (horizonte orgánico) y SO_4>0,05 o S>2%	Sulfatado ácido
pH * si no cumplen ningún criterio anterior	pH≥7,4	Alcalino

Tabla 6. Calificación de la clase de salinidad

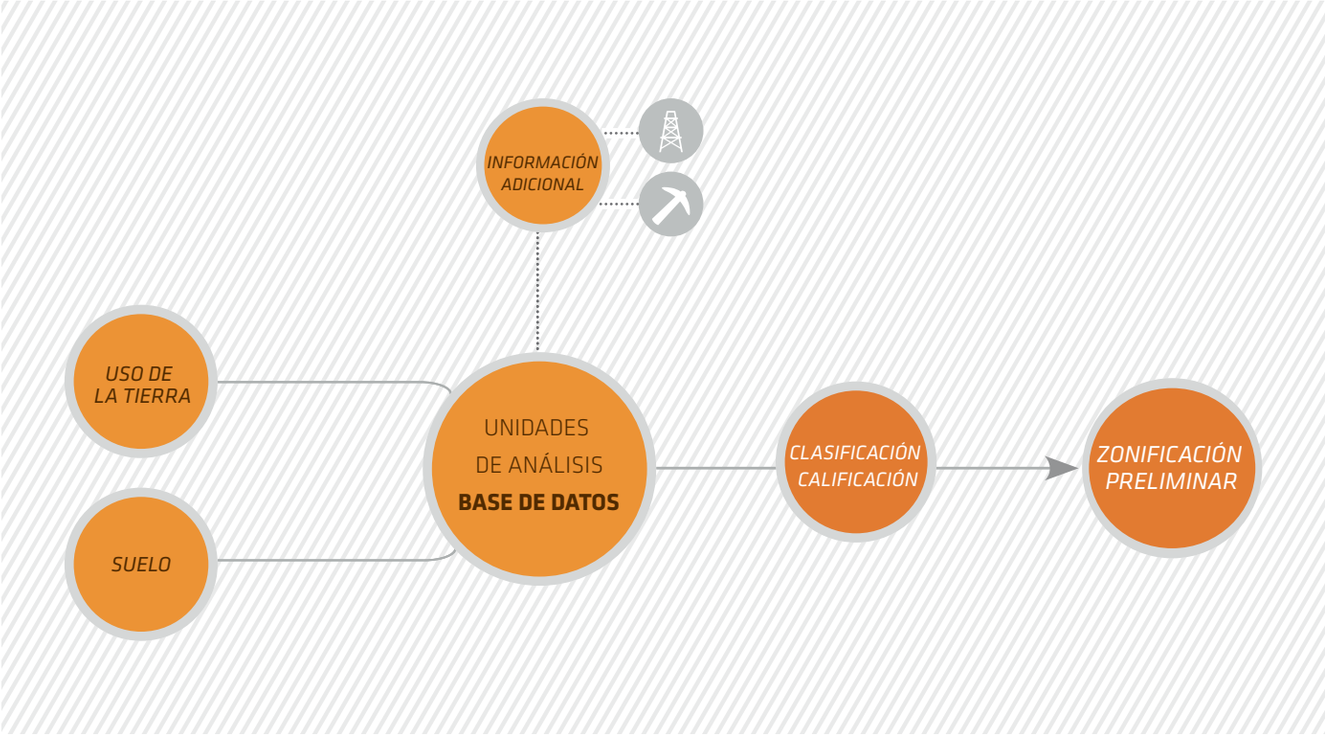


Figura 11. Modelo conceptual de la zonificación preliminar de la línea base de degradación de suelos por salinización, escala nacional y regional

- **Sódicos:** Son suelos cuyo PSI es superior a 7,5% o el RAS es mayor a 13. Pueden tener problemas como dispersión de la materia orgánica, destrucción de la estructura, sellamiento superficial y disminución en el movimiento del agua a través del perfil.

- **Magnésicos:** Son suelos cuyo porcentaje de magnesio intercambiable es superior al 40%. Al igual que en los suelos sódicos, en los suelos magnésicos también puede haber problemas de pérdida de estructura y dispersión de la materia orgánica. En estos casos la relación Ca/Mg está desbalanceada.

- **Calcáreos:** Son suelos con una concentración de $CaCO_3$ superior al 15%. Se asocian con pH, por lo general, superiores a 7,5, y su principal problema es la relación de antagonismo con los nutrientes disponibles para las plantas.

- **Sulfatados ácidos:** Son suelos con concentraciones de azufre (S) mayores al 2% o del anión sulfato (SO^{-4}) superiores al 0,05%. En condiciones oxidantes (no anegados), estos suelos tienen pH inferiores a 4,0, mientras que en condiciones reductoras (anegados) el pH puede ser inferior a 6 (para suelos orgánicos). Son suelos característicos de paisajes fluvio-lacustres.

- **Gypsicos:** Son aquellos suelos con concentraciones altas de yeso (sulfato de calcio hidratado).

- **Alcalinos:** Son suelos con altas concentraciones de sales (CE>4 dS/m), donde no domina ninguna sal o ion en particular, pero su pH es superior a 7,4.

- **Salinos:** Son suelos con altas concentraciones de sales (CE>4 dS/m), donde no domina ninguna sal o ion en particular, pero su pH puede ser inferior a 7,4.

7.1.3 ELABORACIÓN DEL MAPA PRELIMINAR DE ZONIFICACIÓN

El mapa preliminar de zonificación se realiza por medio de dos tipos de procesos:

- Analíticos de las bases de datos de las características de las unidades de análisis espacial.

- Cartográficos elaborados en un SIG.

Las características de las unidades espaciales se confrontan con el sistema de clasificación y calificación descrito en el ítem anterior y, de esta manera, se obtiene la zonificación preliminar, que deberá ser revisada y validada en campo.

7.1.3.1 Definición de unidades espaciales de análisis

Para definir y delimitar las unidades espaciales de análisis para la zonificación, se debe integrar información cartográfica de suelos, coberturas y uso de la tierra, y susceptibilidad a la salinización:

- Las unidades cartográficas de suelos sirven como límites preliminares para las unidades de degradación de suelos por salinización ya que contienen información del estado actual o de "variables proxi" que pueden calificar la salinidad.

- Las unidades espaciales de cobertura y uso actual de la tierra contribuyen en la construcción de las unidades de análisis espacial en la medida en que muchos procesos de la degradación de suelos por salinización provienen de las prácticas agronómicas utilizadas y asociadas al uso, tales como la preparación del terreno, la fertilización, el uso de riego con aguas salinas, entre otras.

- Los mapas de susceptibilidad a la salinización de los suelos también contribuyen de forma indirecta en la delimitación de las unidades espaciales, ya que aportan información de modelos conceptuales relacionadas con clima, geología, geomorfología, entre otros.

- Otros insumos también son útiles en la definición de las unidades de análisis, como la delimitación de los distritos de riego, las zonas de minería y su área de influencia, o las zonas de contaminación industrial, urbana o por minería.

Análisis de la información de suelos

Se consideran las unidades cartográficas de suelos utilizadas en los estudios generales elaborados por el IGAC. Estas unidades están a escala 1:100.000 y comprenden asociaciones, consociaciones, complejos y grupos indiferenciados de los estudios departamentales o del mapa de correlación de geopedología. Para caracterizarlas y analizarlas, se debe utilizar la información registrada en los perfiles representativos como:

- Clasificación taxonómica.

- Características generales (pendiente, paisaje, tipo de relieve, drenaje, régimen de humedad, ambiente edafogenético).

- Características y propiedades químicas y físicas de cada unidad (pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de cationes y aniones, textura, densidad aparente, entre otros).

El primer paso es elaborar una base de datos de suelos que se relacione o vincule con las unidades cartográficas. Esta base u hoja de datos relacional entre la unidad cartográfica de suelos, el perfil modal y los horizontes debe registrar la información asociada a cada horizonte de las características o datos indicadores para calificar la salinidad; entre otros:

- Reacción del suelo (pH).

- Conductividad eléctrica (CE).

- Bases intercambiables (Ca, Mg, Na, K).

- Capacidad de intercambio catiónico.

- Contenido de carbonatos y sulfatos.

- Profundidad o espesor del horizonte.

- Textura y densidad aparente.

También debe contener los cálculos de:

- Porcentaje de saturación de bases (por capacidad catiónica de cambio -CICA- y capacidad de intercambio catiónico efectiva -CICE-).

- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

- Porcentaje de calcio intercambiable.

- Porcentaje de magnesio intercambiable.

- Sumatoria de bases totales.

Los estudios de suelos por lo general suministran estos datos. Sin embargo, es posible que no se encuentre la información completa por cada horizonte o perfil de suelo; y es frecuente que no contenga los datos de CE en suelos cuyo pH es inferior a 6,5. En ese sentido, es muy útil recopilar información de los análisis de suelos de otros laboratorios o estudios. Esto requiere analizar esos datos y su geolocalización.

Análisis de la información de uso de la tierra

La información de uso actual de la tierra es necesaria para la zonificación preliminar debido a que varias causas de la salinización de los suelos dependen de las prácticas agronómicas realizadas (riego, fertilización, etc.). Por lo tanto, es importante contar con información actualizada de los tipos de usos a nivel cartográfico, junto con su caracterización de prácticas frecuentes de manejo agronómico.

En caso de no contar con ninguna información espacial de tipos de uso de la tierra, se podría realizar un ejercicio de aproximación por medio del análisis de los mapas de cobertura vegetal. El país cuenta con mapas nacionales de cobertura terrestre de forma multitem-

poral a escala 1:100.000, realizados mediante el sistema de Corine Land Cover (IDEAM-IGAC, 2014). Sin embargo, estos mapas requieren análisis de reclasificación hacia usos específicos, con el objeto de diferenciar las coberturas naturales de las antrópicas. Para estas últimas se realiza un análisis de cada tipo de cobertura (cultivos permanentes, perennes, pastos, etc.) para así establecer una relación con la incidencia del proceso de salinización.

A nivel regional se pueden utilizar mapas de cobertura terrestre, pero conviene, en lo posible, elaborar mapas de uso actual de la tierra con su tipificación y caracterización.

Las unidades de uso actual, a nivel nacional y regional, se deben categorizar de acuerdo a su relación con los procesos de salinización así:

- **Usos intensivos:** Son aquellos que implican prácticas que pueden favorecer la acumulación de sales, como riego, labranza, fertilización, drenaje, quemas, etc.

- **Usos de menor intensidad:** Corresponden a usos que por su tipo o manejo tienen una baja relación con los procesos de salinización (cultivos de secano, perennes, con baja aplicación de insumos, etc.).

- **Usos que no contribuyen en procesos de salinización:** Son aquellos que corresponden a coberturas naturales (bosques, sabanas, arbustales, vegetación de páramo, vegetación xerofítica) donde no hay intervención antrópica directa.

Análisis de la información de susceptibilidad a salinización

Un mapa de susceptibilidad a salinización de suelos permite reducir el universo de estudio, priorizar y seleccionar zonas concretas y direccionar los trabajos de campo para una mayor eficiencia. De igual manera, contribuye a concentrar las actividades de monitoreo y evaluación.

La información de susceptibilidad de los suelos a la salinización contribuye en el proceso de la elaboración de la zonificación preliminar. La metodología general para elaborar el mapa de dicha susceptibilidad consiste en:

1. Identificar los principales componentes o factores que inciden en los procesos de salinización. A partir de ellos se elabora un modelo conceptual y, luego, un modelo cartográfico que los integre para llegar a la delimitación de zonas con distintos grados de susceptibilidad.

2. En cada uno de los factores que intervienen en los procesos de salinización (litología y material parental de los suelos, condiciones climáticas, geoformas, relieve, características intrínsecas de los suelos y distintas prácticas realizadas en los usos de la tierra) se identifican las variables determinantes que deben ser valoradas o calculadas. Entre las más importantes se distinguen las siguientes (ver Figura 12):

   - Clima: clasificación climática (Caldas-Lang), índice de evapotranspiración potencial (ETP), trimestre más seco, escenarios de variabilidad climática, entre otros.

   - Suelos: clasificación taxonómica, drenaje natural, textura y propiedades químicas como pH y saturación de bases.

   - Geomorfología: paisaje y tipo de relieve, rangos de gradientes de pendientes.

   - Geología: litología (tipos de roca o sedimentos), formaciones superficiales, materiales parentales de los suelos.

Tipo de uso	Agrupación por tipo de uso
No intensivo	Áreas húmedas, bosques y áreas seminaturales
Menor intensidad	Cultivos permanentes, cultivos agroforestales, pastos, mosaicos de cultivos, mosaico de pastos
Intensivo	Cultivos transitorios, cultivos permanentes, cultivos confinados

Tabla 7. Ejemplo de clasificación de tipo de uso del suelo, según categorías Corine Land Cover

- Aguas: niveles freáticos, calidad de aguas someras, hidrogeología.

- Coberturas y uso de la tierra: tipos y sistemas de uso, intensidad, prácticas agronómicas utilizadas, entre otras.

3 Cada una de las variables analizadas se califica de acuerdo con su relación o probabilidad de ocurrencia de salinización, según cinco categorías de susceptibilidad: "Muy alta (5)", "Alta (4)", "Media (3)", "Baja (2)" y "Muy baja (1)". En la Tabla 8 se identifica la simbología que se puede utilizar para cada categoría.

4 Se determina la importancia relativa de cada uno de los factores y las variables por medio de la ponderación. Así, para la valoración del grado de susceptibilidad de los suelos a salinización, se asigna un peso en valor porcentual a cada factor evaluado y finalmente se integran las calificaciones independientes por factor para obtener un valor final.

5 Con los insumos del paso anterior se realizan procesos cartográficos en un SIG hasta obtener el mapa de áreas susceptibles a la salinización de los suelos (ver Figura 12).

A manera de ejemplo, se presentan los pesos porcentuales de cada factor que fueron utilizados para el mapa a nivel nacional:

- Suelo: 31%.
- Geomorfología: 16%.
- Uso: 26%.
- Geología: 3%.
- Aguas: 3%.
- Clima: 21%.

El modelo cartográfico presentado en la Figura 12 se implementó en la elaboración del mapa de susceptibilidad de los suelos a la salinización a nivel nacional, escala 1:100.000, elaborado por el IDEAM y la U.D.C.A en 2016. A partir del desarrollo de este modelo, se obtuvo el mapa nacional de susceptibilidad de los suelos a la salinización (Figura 13). Ahora bien, en cuanto al nivel regional, es necesario elaborar un mapa de susceptibilidad con información más detallada de la región.

Análisis de otros datos e información

De otra parte, es necesario considerar información y cartografía de otras posibles fuentes de salinización de los suelos, tales como actividades relacionadas con la minería, la contaminación del aire y, en particular, de las aguas por minería, industrias o zonas urbanas, que pueden ser utilizadas para riego o tienen influencia en inundaciones o niveles freáticos.

Además, se deben tener en cuenta las zonas de los distritos de riego, así como los pequeños sistemas de irrigación. Asociada a lo anterior, se puede considerar otra información de apoyo y de referencia como datos hidrológicos (calidad de agua de niveles freáticos), calidad de agua de riego, zonas de influencia de minería y urbana y, en general, toda la información disponible sobre actividades antrópicas que estén influyendo en la salinización.

Apoyo con el uso de sensores remotos

Si bien la salinización solo puede calificarse bajo parámetros químicos que se miden con pruebas en campo y laboratorio, también es cierto que este proceso de degradación se refleja de diversas maneras en el terreno. De este modo las técnicas de percepción remota, tales como las fotografías aéreas o las imágenes de satélite y de drones, pueden representar una herramienta complementaria en la zonificación preliminar, aun a pesar de la dinámica y los patrones superficiales en el suelo cambiantes que caracterizan al fenómeno.

Así las cosas, la percepción remota a través de sensores en plataformas aéreas o espaciales se puede usar para apoyar la delimitación de unidades y para precisar las delineaciones provenientes de los mapas de suelos y uso de la tierra, con técnicas como procesamiento digital de imágenes, espectrometría y otras asociadas, en los diferentes niveles de detalle. Para mayor claridad del uso de sensores remotos en la elaboración de la zonificación preliminar y el trabajo de campo se puede consultar el capítulo 13 sobre recomendaciones de uso de sensores remotos.

Susceptibilidad	Código	R - G - B
Muy Alta	5	168 - 0 - 0
Alta	4	255 - 0 - 0
Media	3	255 - 170 - 0
Baja	2	255 - 255 - 0
Muy Baja	1	163 - 255 - 115

Tabla 8. Simbología del grado de susceptibilidad de los suelos a la salinización

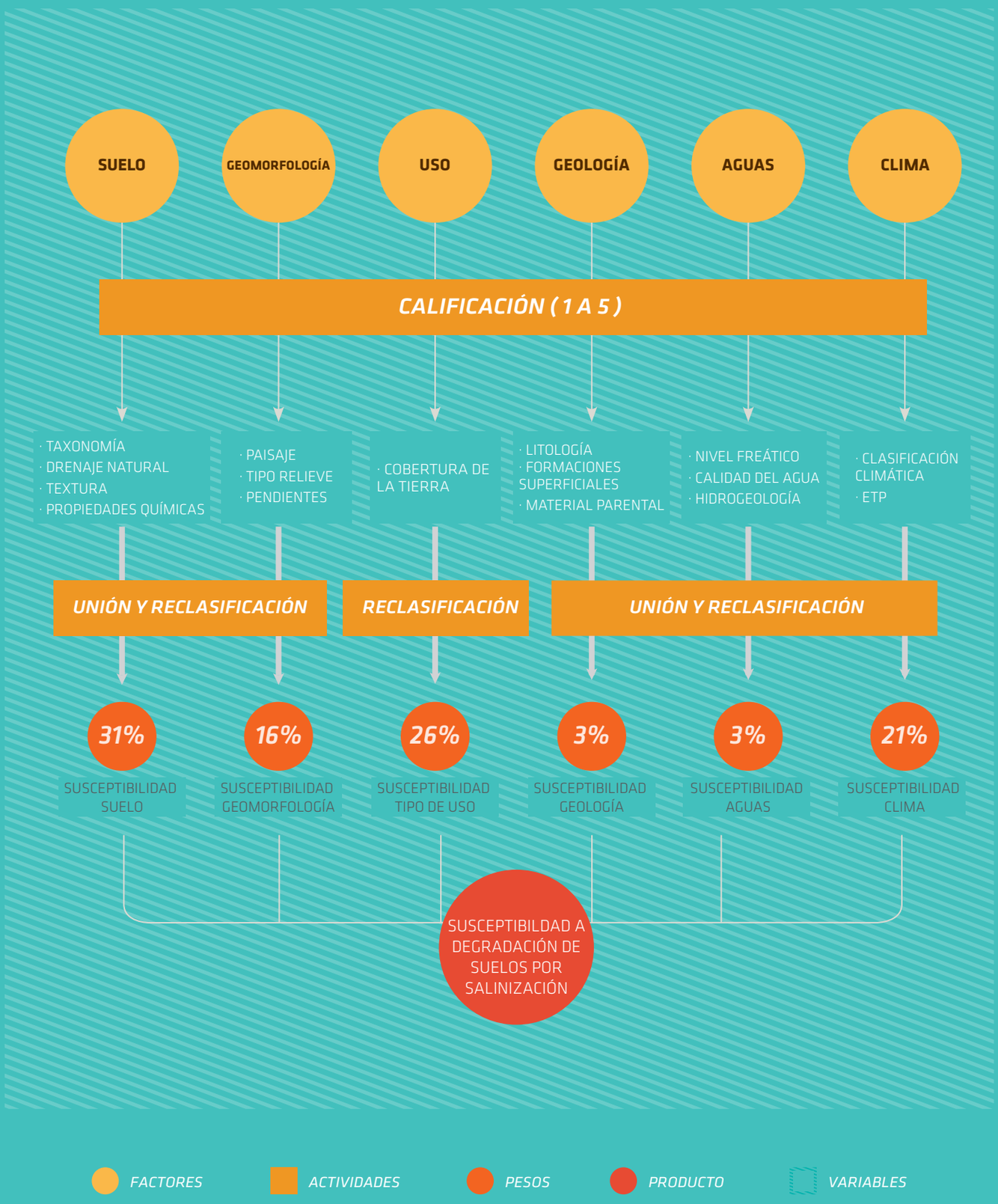
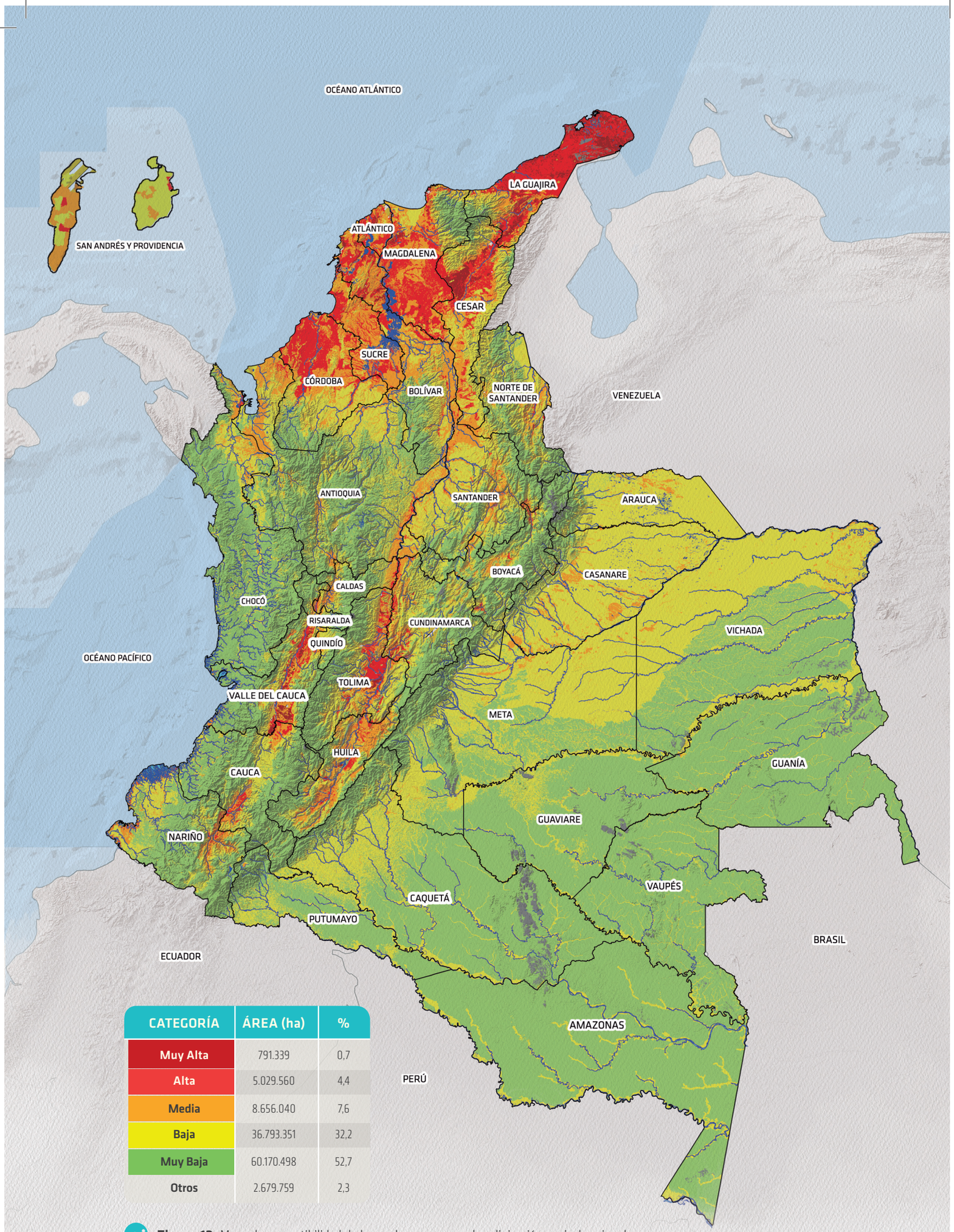


Figura 12. Modelo cartográfico propuesto para determinar las zonas susceptibles a salinización a escala nacional y regional



CATEGORÍA	ÁREA (ha)	%
Muy Alta	791.339	0,7
Alta	5.029.560	4,4
Media	8.656.040	7,6
Baja	36.793.351	32,2
Muy Baja	60.170.498	52,7
Otros	2.679.759	2,3

Figura 13. Mapa de susceptibilidad de los suelos a procesos de salinización, a nivel nacional

7.1.3.2 Generación de unidades espaciales

Las unidades espaciales para calificar la degradación se obtienen esencialmente a partir del cruce cartográfico de las unidades de suelos y las unidades de uso. También es posible agregar información cartográfica de otras variables que se consideren pertinentes en la delimitación de las unidades espaciales: en particular, los límites de los distritos de riego, las zonas de minería de superficie, los rellenos sanitarios y otras fuentes de salinización.

La delimitación de estas unidades espaciales se realiza por medio de cruces cartográficos. Estos consisten en un geoprocesamiento (proceso espacial), denominado "unión", que permite combinar las coberturas digitales de unidades de suelos y de las unidades de uso en una sola base de datos espacial.

Dichos cruces espaciales suelen incrementar considerablemente las unidades o polígonos, que en gran número no son representativos para la escala de trabajo. En ese sentido, se deben realizar varios procesos de SIG que ayuden a depurar las unidades. Uno de ellos es el principio del área mínima cartografiable, el cual permite lograr coherencia en la representación espacial, eficiencia en la lectura y utilidad del mapa en formato impreso. Este principio indica que, a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos deben ser generalizados; de lo contrario, dificultarían la distinción por parte del usuario cuando se lea en formato analógico (Salitchev, 1979) (ver Tabla 13). Con esto, se determina el área mínima cartografiable de 3x3 mm, lo cual corresponde, para una escala de trabajo 1:25.000, a 5.625 m^2 o 0,56 ha y, para una escala de trabajo 1:100.000, a 90.000 m^2 o 9 ha.

Al final se debe realizar un listado de todas las categorías que han sido generadas por los distintos cruces y analizar cada una, valorando su pertinencia. En la medida de lo posible, es preciso hacer una generalización, de tal manera que se obtenga el menor número de categorías para la zonificación.

Generar estas unidades espaciales es muy importante porque relacionarán la base de datos con la calificación de cada una de ellas, de cara a la zonificación preliminar.

7.1.3.3 Calificación de las unidades espaciales

Para calificar las unidades espaciales de degradación de suelos por salinización se debe analizar información de los suelos y de la intensidad del uso, confrontando con el sistema de clasificación definido: tipo, grado y clase, descrito en el ítem 7.1.2.

- Para la calificación del tipo u origen, se tiene en cuenta la información de:

  - Uso actual de la tierra.
  - Suelos con pedogénesis salina.
  - Las principales fuentes como rocas, material parental o posición geomorfológica asociada a la salinización.

Esta información se obtiene de las bases de datos y se confronta con la tabla de clasificación de tipo u origen definida en el ítem 7.1.2.

- Para la calificación del grado y de la clase, se analiza la información de la base de datos de suelos, la cual debe estar organizada de la siguiente forma:

1. Como entrada se usa el símbolo de la unidad cartográfica de suelos.
2. Sigue el tipo de unidad cartográfica (consociación, asociación, complejo, etc.).
3. Se señalan las unidades taxonómicas que componen a la unidad cartográfica de suelos.
4. El porcentaje de participación de cada una de las unidades taxonómicas.
5. La nomenclatura de los horizontes de cada perfil modal.
6. Su respectiva profundidad (información disponible en la descripción de perfiles de cada estudio general de suelos).
7. Se procede a completar con la información química disponible en todos los horizontes y perfiles (ver Tabla 9).

Los parámetros o variables químicas requeridas para calificar las unidades son:

- pH
- CICA
- CICE
- BT
- CE (cuando es reportada)
- PSI, RAS
- Porcentaje de saturación de calcio, magnesio y potasio

*UCS	TAXONOMÍA	%	PERFIL	HORIZONTE	PROFUNDIDAD	POND_75	pH	CICA	CICE	Ca	Mg	K	Na	SBA	CE
MBA	Afloramientos rocosos	80	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI
	Typic Ustipsamments	20	SN-4	Ap	0-23	23	4,5	11,0	3,2	0,8	0,4	0,03	1,0	20,3	**SI
				Cr	16-40	24	4,9	4,5	1,6	0,4	0,2	0,1	0,5	26,7	**SI
MHA	Humic Dystrudepts	40	SN-5	Ap	0-33	33	4,3	25,7	3,7	0,4	0,2	0,02	1,0	6,3	**SI
				AC	33-58	25	4,7	18,9	3	0,2	0,2	0,1	1,1	8,5	**SI
	Typic Udorthents	30	SN-126	Ap	0-10	10	4,9	16,1	3	80	0,4	0,05	30	9,6	**SI
				C	10,91	65	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI
	Afloramientos rocosos	30	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI	**SI
MHB	Humic Dystrudepts	60	SN-128	Ap	0-35	35	5,6	11,6	5,4	4,5	0,8	0,1	0,04	46,9	**SI
				Bw	35-60	25	5,7	9,4	4,1	3,2	0,8	0,1	0,04	44,0	**SI
				BC	60-100	15	6	7,8	6,6	2,4	4	0,1	0,1	84,6	**SI
	Humic Endoaquepts	40	SN-3	Ap	0-13	13	4,4	33,9	9,7	2,8	4,1	0,05	0,5	22,0	**SI
				Bg	13-36	23	4,8	17,5	6,9	3,2	1,6	0,1	0,6	31,4	**SI
				Cg	36-68	32	5,3	7,3	3,0	0,8	0,8	0,1	0,9	35,6	**SI

Tabla 9. Ejemplo de estructuración de la tabla general de información química de suelos

*UCS: Unidad cartográfica de suelos.
**SI: Sin información



*UCS	%	PROF	pH	CICA	CICE	PSI	PSCa	PSMg	PSK	pH	CICA
		cm		cmol/kg	cmol/kg	%	%	%	%		cmol/kg
MBA	80										
	20	0-23	4,5	11	3,2	9,09	7,27	3,64	0,27	4,67	8,24
		23-40	4,9	4,5	1,6	11,11	8,89	4,44	2,22		
MHA	40	0-33	4,3	25,7	3,7	3,89	1,56	0,78	0,08	4,47	22,81
		33-58	4,7	18,9	3	5,82	1,06	1,06	0,53		
	30	0-10	4,9	16,1	3	186,34	496,89	2,48	0,31	4,90	16,10
		10,91									
	30										
MHB	60	0-35	5,6	11,6	5,4	0,34	38,79	6,90	0,86	5,71	10,11
		35-60	5,7	9,4	4,1	0,43	34,04	8,51	1,06		
		60-100	6	7,8	6,6	1,28	30,77	51,28	1,28		
	40	0-13	4,4	33,9	9,7	1,47	8,26	12,09	0,15	4,96	15,84
		13-36	4,8	17,5	6,9	3,43	18,29	9,14	0,57		
		36-68	5,3	7,3	3	12,33	10,96	10,96	1,37		

Tabla 10. Ejemplo de ponderación de parámetros químicos de suelos

*UCS: Unidad cartográfica de suelos.

PSCa: Porcentaje de saturación de calcio.
PSMg: Porcentaje de saturación de magnesio.
PSK: Porcentaje de saturación de potasio.

Debido a que cada unidad de suelos posee más de un perfil, y estos a su vez más de un horizonte, se requiere ponderar estas variables de modo que se obtenga un solo valor de cada característica química, para posteriormente calificar el grado y la clase de las unidades cartográficas de suelos. Dicha ponderación se debe realizar al menos hasta los 75 cm de profundidad del suelo, aunque para condiciones de procesos específicos esta medida puede ser mayor. La base de datos, en la profundidad, se ajusta hasta el límite definido; cuando algún perfil no lo alcanza, se pondera hasta su máxima profundidad (ver Tabla 10).

Una vez ponderados los valores de los parámetros por unidad cartográfica,

Perfil Ponderado					Unidad Cartográfica Ponderada						
CICE	PSI	SatCa	SatMg	SatK	pH	CICA	CICE	PSI	SatCa	SatMg	SatK
cmol/kg	%	%	%	%		cmol/kg	cmol/kg	%	%	%	%
2,52	9,95	7,96	3,98	1,10	4,67	8,24	2,52	9,95	7,96	3,98	1,10
3,40	4,72	1,34	0,90	0,27	4,66	19,93	3,23	82,56	213,72	1,58	0,29
3,00	186,34	496,89	2,48	0,31							
5,21	0,56	35,60	16,31	1,01	5,41	12,40	5,36	3,23	26,53	14,01	0,95
5,6	7,24	12,92	10,56	0,87							

se procede a realizar la calificación con base en los criterios propuestos para grado y clase:

- Para asignar la calificación de grado a las unidades de suelos se analizan los datos de los perfiles de cada unidad cartográfica de suelos y se define según la dominancia de la unidad taxonómica. También se puede elegir el perfil más limitante, cuyo porcentaje de participación dentro de la unidad (de forma individual o en suma) sea superior al 40%.

- Para la calificación de la clase de salinización se considera el mismo proceso de tratamiento de la información en las unidades cartográficas de suelos que en grado. Para ello se usa la tabla de clasificación de la clase de salinidad.

*UCS	pH	CICA	CICE	SBA	CE	PSI	SatCa	SatMg	SatK	Grado
MBA	4,67	8,24	2,52	23,02	0,00	9,95	7,96	3,98	1,10	**Muy ligero**
MHA	4,66	19,91	3,23	8,26	0	82,56	213,72	1,58	0,29	**Muy ligero**
MHB	5,41	12,40	5,36	44,72	0,00	3,23	26,53	14,01	0,95	**Muy ligero**

Tabla 11. Ejemplo de calificación del grado de salinización por perfil y por unidad cartográfica

Adicionalmente, se debe contemplar otra información relacionada con los procesos de salinización y que contribuya a definir la calificación preliminar tal como distritos de riego, minería, exploraciones, entre otras.

7.1.3.4 Elaboración del mapa de zonificación preliminar de degradación de suelos por salinización

La elaboración de la zonificación preliminar requiere recopilar y analizar las capas temáticas necesarias según el modelo cartográfico de zonificación (ver Figura 14):

1 El primer paso es preparar las coberturas digitales y las unidades espaciales indicadas en los anteriores ítems. Para esto es necesario sistematizar la información con el objeto de organizar el conjunto de elementos, procesos y subproductos que involucran la zonificación preliminar. En la Figura 15 se indica una propuesta de sistematización de información.

2 Sistematizada la información, se llevan a cabo los procesos cartográficos, soportados en la base de datos espacial resultante del cruce cartográfico entre las unidades de suelos y las unidades de uso, así como en la calificación de las unidades espaciales de degradación por salinización. Estos procesos consideran actividades de reclasificación, disolución y generalización, hasta lograr un mapa integrado con unidades homogéneas de degradación de suelos por salinización:

- La reclasificación permite cambiar u homologar los valores de las unidades de suelos y las unidades de uso por la calificación de las unidades espaciales de degradación por salinización como son tipo, grado y clase.

- La disolución reduce las unidades o polígonos que compartan tanto un borde como la unidad de degradación de suelos.

- La generalización permite que, a partir de determinada área espacial, los polígonos y sus correspondientes contenidos sean generalizados. Como se indicó en el ítem 7.1.3.2, se establece como área mínima cartografiable una unidad de 3x3 mm, lo cual corresponde para una escala de trabajo 1:25.000 a 5.625 m^2 o 0,56 ha y, para una escala de trabajo 1:100.000, a 90.000 m^2 o 9 ha. Este proceso elimina los polígonos menores al área cartografiable al fusionarlos con los polígonos adyacentes que tienen el área más grande o el borde compartido más largo.

3 Las bases de datos relacionales permitirán elaborar el mapa preliminar de la zonificación de línea base y su respectiva leyenda, que en esencia tendrá la calificación de tipo, grado y clase. Este es el mapa que deberá ser sometido a validación en campo.

7.2 ETAPA DE PREPARACIÓN TRABAJO DE CAMPO

El propósito de la segunda etapa es definir las actividades que permitan, mediante trabajo de campo, validar y caracterizar las unidades espaciales de degradación de suelos por salinización. En este sentido, se deben determinar:

- Los recorridos para la validación del mapa preliminar.

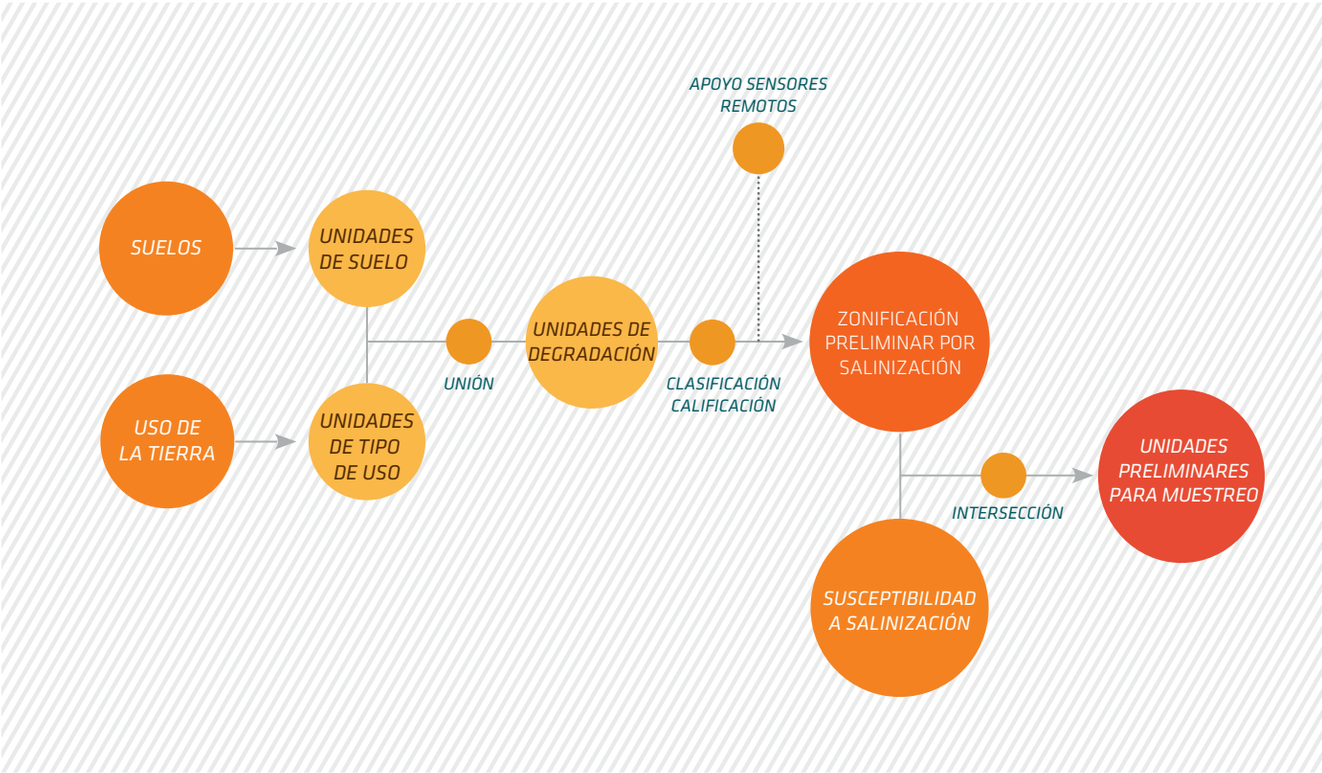


Figura 14. Modelo cartográfico para la elaboración de la zonificación preliminar de la línea base de degradación de suelos por salinización

- El sistema de muestreo.
- Los materiales e instrumentos requeridos.
- Los sitios más representativos para la toma de muestras de suelos, aguas y vegetación.
- Los actores (contactos) regionales que brinden el apoyo necesario para el desarrollo del trabajo de campo.
- El apoyo logístico, referente a envío de comunicaciones oficiales a las instituciones que puedan apoyar este proceso mediante suministro de información, charlas orientadoras y acompañamiento. También tiene que ver con consecución de vehículos adecuados, búsqueda de auxiliares de campo de la región y obtención de materiales para colectar las muestras de suelo y agua.

7.2.1 DISEÑO DE FORMULARIO DE CAPTURA DE INFORMACIÓN DE CAMPO

Se debe diseñar un formulario que permita colectar la información más relevante del entorno para identificar procesos de degradación de suelos por salinización. Este instrumento se debe adaptar según las condiciones de cada región. La información mínima que debe contener es la siguiente:

I.Identificación general

1. Número de identificación del punto de muestreo (código). Por ejemplo: código DANE, seguido de un número secuencial para cada punto.
2. Fecha (día, mes, año).
3. Unidad geopedológica: la que aparece en el mapa de geopedología.
4. Unidad de suelos.
5. Grado de salinidad preliminar: de acuerdo al análisis de la información del estudio de suelos.
6. Unidad de susceptibilidad a salinización: de acuerdo al análisis de la información del mapa de susceptibilidad.
7. Plancha.

II.Localización

1. Departamento, municipio, vereda, sitio.
2. Hidrografía: macrocuenca, cuenca, microcuenca.
3. Georreferenciación: método, tipo de coordenadas (geográficas o planas).
4. Contacto: hace referencia a la persona

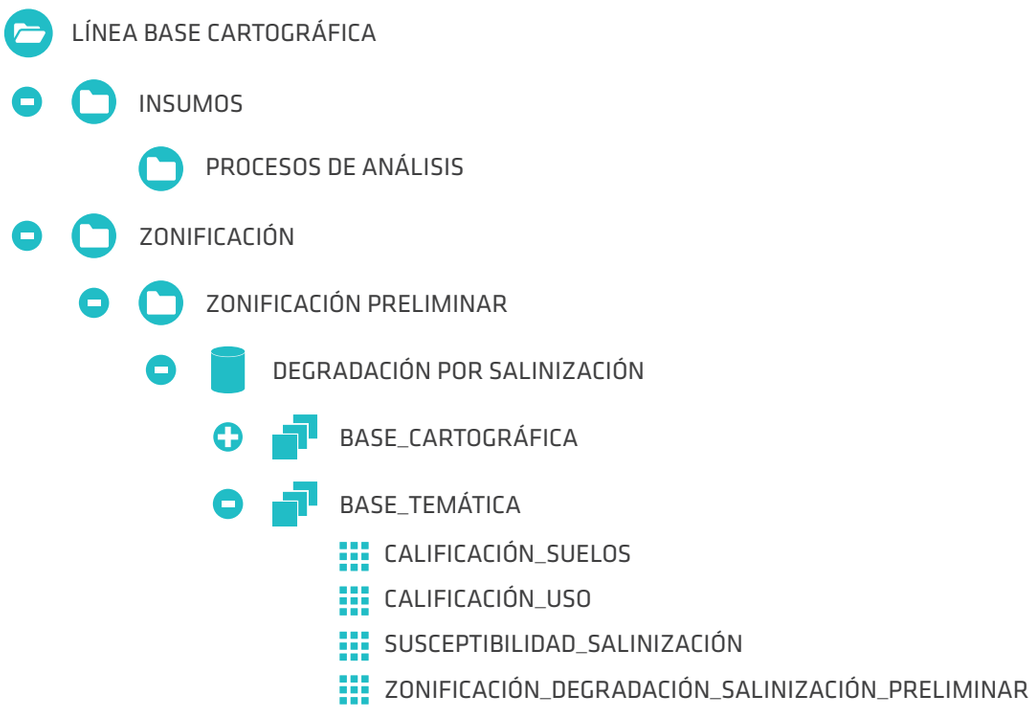


Figura 15. Propuesta para la sistematización de la información

a la que se pueda contactar en caso de intercambio de información. Puede ser el propietario, el administrador, el encargado o el asistente técnico de la finca, un funcionario del distrito de riego y/o un funcionario de la corporación, etc.

III.Descripción general del entorno

1 **Tipo de material parental:** Señala si los materiales que dieron origen a la formación de los suelos son rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas, o si se trata de sedimentos de origen mineral como aluviales, coluviales, diluviales, marinos, lacustres y/o cenizas volcánicas, o sedimentos de origen orgánico tales como los de origen eólico o lacustre.

2 **Geomorfología:** En este punto se identifican los siguientes aspectos:

- Paisaje.
- Tipo de relieve.
- Forma.
- Longitud e inclinación de la pendiente.

Es importante registrar en el formato las grietas y el microrrelieve que pueden presentar algunos terrenos. Para esto, en el formulario aparecen las casillas respectivas para seleccionar.

3 **El clima:** Es importante ya que se relaciona con la presencia y evidencia visual de las sales. La información que se colecta será:

- La época de lluvias: si se trata de época seca, época lluviosa, veranillo o lluvias cortas.
- La presencia de eventos extremos de lluvias, sequías o heladas.
- La provincia de humedad según la clasificación Caldas-Lang: desértico-árido, semiárido, seco, subhúmedo, húmedo y superhúmedo.

4 **Cobertura y uso:** La información recolectada en este punto es un insumo importante para definir los sistemas de uso. Por lo tanto, debe registrarse la cobertura de la zona, tal como: bosques, arbustales, vegetación xerofítica, sabanas, cultivos, pastos o suelos desnudos. En cuanto al tipo de uso, se debe identificar si la zona es agrícola, ganadera, minera, urbana, industrial o cualquier otro uso que domine. También se identifican los sistemas productivos (entre los que se encuentran cultivos semestrales, anuales, bianuales y perennes, ganadería extensiva, intensiva y con-

finada, plantación forestal, extracción forestal, cultivos andinos, cultivos bajo invernadero, otros cultivos).

En la casilla de uso específico del sitio de muestreo, es importante describir, con el mayor nivel de detalle posible, el uso.

5 **Las prácticas de manejo:** Se recomienda indicar las prácticas de manejo que se realizan en la zona: mecanización agrícola, fertilización, riego, drenaje, etc. En las áreas en las que se aplica riego se debe especificar si es por gravedad, inundación o aspersión, y el origen del agua de riego (si es de distrito de riego o de un cuerpo de agua), registrando también el nombre de la respectiva fuente.

6 **Indicadores de salinización:** Se deben identificar los indicadores visuales de salinización, dentro de los que se encuentran costras o manchas blancas y/o negras, destrucción de la estructura, el caliche o salitre y vegetación halófita, con su nombre común y características.

En el espacio de observaciones se pueden anotar todos los aspectos que se consideren relevantes o necesarios para identificar el proceso de degradación de suelos por salinización y que no se han tenido en cuenta en las casillas anteriores.

7 **Descripción del perfil de suelo:** El perfil de suelo que se va a muestrear con cajuela o barreno se debe describir en campo, presentando la información de cada horizonte por separado. Se tomarán datos de:

- Profundidad.
- Color.
- Textura.
- Estructura.
- Reacciones con HCl al 10% para carbonatos libres y NaF al 4% en presencia de fenolftaleína y papel de filtro para determinar la presencia de alofana.

Además, se determinarán en campo, con el equipo multiparámetro:

- El pH.
- La CE.

También se establecerá el régimen de humedad del suelo. El espacio de observaciones está disponible para anotar los aspectos y/o características del perfil que no se hayan contemplado en la tabla de descripción.

8 **Superficie del suelo:** Se describirán las diferentes manifestaciones de los efectos de la salinidad en la superficie del suelo y se anotarán todas las observaciones que se consideren necesarias.

9 **Fotografías:** También se debe llevar el registro fotográfico de la zona, que incluirá:

- Una fotografía del paisaje.
- Una fotografía del uso.
- Una fotografía del perfil de suelo realizado en cajuela o barrenada.
- Una fotografía donde se muestren las características de la superficie y los indicadores de salinización, si se presentan.

10 **Relación de muestras:** Debe llevarse un registro del número de muestras recolectadas tanto para el análisis de suelos como para el de agua y vegetación.



República de Colombia
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
IDEAM - CAR - U.D.C.A
Caracterización de Procesos de degradación de Suelos por Salinización

I. INFORMACIÓN GENERAL

No. identificador (Código DANE_consecutivo muestra) _____
Unidad suelos _____
Grado salinidad _____
Unidad de susceptibilidad _____

Fecha (dd/mm/aa) _____
Descrito por _____
Plancha (No. Fuente y Escala) _____

II. LOCALIZACIÓN

Departamento _____
Municipio _____
Vereda _____
Macrocuenca / Cuenca / Microcuenca _____
Sitio _____

GEORREFERENCIACIÓN

1. Método

- ☐ GPS
- ☐ Plancha
- ☐ Otro

2. Geográficas

LATITUD / NORTE (X) _____

3. Planas

LONGITUD / ESTE (Y) _____

ALTITUD (m) _____

CONTACTO (Propietario, administrador, técnico, funcionario, etc.)

Nombres _____
Apellidos _____
Teléfono _____
Correo _____

III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENTORNO

1. MATERIAL PARENTAL

- ☐ ROCA
  - ☐ Ígnea
  - ☐ Sedimentaria
  - ☐ Metamórfica

Tipo _____

- ☐ SEDIMENTOS
  - ☐ Eólicos
  - ☐ Orgánicos
  - ☐ Diluviales
  - ☐ Lacustres
  - ☐ Marinos
  - ☐ Coluviales
  - ☐ Aluviales

2. GEOMORFOLOGÍA

2.1. Paisaje

- ☐ Montaña
- ☐ Lomerío
- ☐ Piedemonte
- ☐ Superficie de aplanamiento
- ☐ Planicie
- ☐ Valle
- ☐ Altiplano

2.2. Tipo de relieve _____

2.3. Forma de terreno _____

2.4.Forma de la pendiente

- ☐ Recta
- ☐ Convexa
- ☐ Concava
- ☐ Ondulada
- ☐ Irregular

2.5.Longitud de la pendiente

- ☐ Muy Corta (< 50m)
- ☐ Corta (50-250 m)
- ☐ Moder. Larga (250 - 500 m)
- ☐ Larga (500 - 1000 m)
- ☐ Muy larga (1000-2500 m)
- ☐ Extrem. larga (>25000m)

2.6.Inclinación de la pendiente

- ☐ a (0-3%)
- ☐ b (3-7%)
- ☐ c (7-12%)
- ☐ d (12-25%)
- ☐ e (25-50%)
- ☐ f (50-75%)
- ☐ g (>75%)

2.8.Microrrelieve

- ☐ Escarceos
- ☐ Gilgai
- ☐ Hormigeros
- ☐ Microdepresiones
- ☐ Pata de vaca
- ☐ Zurales
- ☐ Termiteros

2.7.Grietas Ancho _____ Profundo _____

3. CLIMA

3.1. Época

- ☐ Seca
- ☐ Lluviosa
- ☐ Veranillo
- ☐ Lluvias cortas

3.2. Clima ambiental

- ☐ Eventos extremos lluvias
- ☐ Eventos extremos sequía
- ☐ Eventos extremos heladas
- ☐ Templado
- ☐ Cálido
- ☐ Frío
- ☐ Muy frío

3.3. Provincia de humedad

- ☐ Desértico / Árido
- ☐ Semiárido
- ☐ Seco
- ☐ Subhúmedo
- ☐ Húmedo
- ☐ Superhúmedo

Observaciones _____

4. COBERTURA Y USO

4.1 Cobertura

- ☐ Bosques
- ☐ Arbustales
- ☐ Veg. Xerofítica
- ☐ Sabanas
- ☐ Cultivos
- ☐ Pastos
- ☐ Suelos desnudos

4.2 Tipo de uso

- ☐ Agrícola
- ☐ Ganadero
- ☐ Minero
- ☐ Urbano
- ☐ Industrial
- ☐ Otro

4.3 Sistema productivo

- ☐ Bosques
- ☐ Cultivos anuales
- ☐ Cultivos bianuales
- ☐ Cultivos perennes
- ☐ Ganadería extensiva
- ☐ Ganadería intensiva
- ☐ Ganadería confinada
- ☐ Plantación forestal
- ☐ Extracción forestal (natural)
- ☐ Otros cultivos andinos *
- ☐ Invernaderos/suelo
- ☐ Invernaderos/hidropónico
- ☐ Otro

4.4 Uso específico _____

5. PRÁCTICAS DE MANEJO

5.1 Práctica

- ☐ Mecanización
- ☐ Laboreo y labranza
- ☐ Fertilización tipo: _____
- ☐ Desacapote y desyerbe
- ☐ Acequias y canales
- ☐ Riego
- ☐ Drenaje
- ☐ Ninguna

5.2 Riego

- ☐ Gravedad
- ☐ Inundación
- ☐ Goteo
- ☐ Aspersión
- ☐ Sin riego
- ☐ Otro _____

5.3 Drenaje

- ☐ Sí
- ☐ No

5.4 Origen riego

- ☐ Distrito
- ☐ Cauce (río, quebrada)

Nombre _____

6. INDICADORES DE SALINIZACIÓN

6.1. Visuales

- ☐ Sales blancas
- ☐ Sales negras
- ☐ Destrucción estructura
- ☐ Caliche
- ☐ Vegetación halófita
- ☐ Otras Cuál: _____
- ☐ No hay

6.2. Formas de sales

- ☐ Polvo
- ☐ Granos
- ☐ Cristales
- ☐ Manchas
- ☐ Concreciones
- ☐ Otros
- ☐ No hay

Otras Observaciones _____

7. PERFIL DEL SUELO

7.1. Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad (cm)	Color	Moteados Manchas	Textura	Estructura	HCl	NaF	pH	CE

7.2. Régimen de humedad

- ☐ Aridico
- ☐ Ustico
- ☐ Udico
- ☐ Perudico
- ☐ Acuico
- ☐ Peracuico

7.3. Observaciones sobre el perfil _____

8. SUPERFICIE DEL SUELO

8.1. Descripción y observaciones _____

9. NÚMEROS DE FOTOGRAFÍAS

9.1. Paisaje _____

9.3. Perfil _____

9.2. Uso _____

9.4.Superficie del suelo _____

10. RELACIÓN MUESTRAS:

10.1. Suelos para laboratorio: _____

10.2. Densidades no.: _____ Método (terrón o cilindro): _____

10.3. Agua no: _____ 10.4. Otras: _____

Figura 16. Formulario para la captura de información en campo, para el nivel nacional y regional

7.2.2 DISEÑO DEL MUESTREO DE CAMPO Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para la caracterización de las unidades espaciales y el levantamiento de datos, es necesario realizar un muestreo en campo. En ese sentido, se debe diseñar un sistema de muestreo que sea representativo y que permita extrapolar la información a unidades homogéneas o similares. Dicho diseño parte de la zonificación preliminar obtenida en la etapa anterior y, por medio de un análisis de representatividad espacial, identifica las zonas posibles para el muestreo y define los transectos.

Para la ubicación de las zonas de muestreo, se debe observar la disponibilidad de vías de acceso y la heterogeneidad de las unidades. Dentro de estas zonas se ubican los *sitios* de muestreo.

Existen varios métodos que permiten establecer el diseño de muestreo; sin embargo, el más apropiado para los procesos de salinización está relacionado con la ubicación estratégica de transectos transversales a las unidades que presentan algún grado de salinidad. Esto permite abarcar una gran gama de unidades y caracterizarlas utilizando los formularios para captura de información y la toma de muestras.

La ubicación de los transectos deberá considerar, aparte de la representatividad de las unidades, la accesibilidad para realizar los trabajos de campo.

Los transectos son utilizados hoy en día en la mayoría de verificaciones de campo debido a su utilidad y versatilidad. Para ello es necesario dibujar sobre el mapa preliminar una o varias líneas que atraviesen el mayor número de unidades de salinización y luego definir un área de influencia (ver Figura 17). Sobre los transectos dibujados se ubican los puntos de observación y muestreo para verificar la calificación de las unidades del mapa y la toma de información para su caracterización.

La ubicación de los puntos o sitios de muestreo dentro de los transectos puede determinarse según los siguientes métodos:

- **Red rígida:** Normalmente, es utilizada en mapas con escala de gran detalle donde se deben verificar muchas unidades cartográficas. Se emplea en áreas donde se dificulta la separación de unidades o se tiene duda de sus límites debido a las características del proceso que se está identificando. Este método consiste en ubicar sitios por medio de la aplicación sistemática de una cuadrícula homogénea sobre el transecto. Los vértices de la cuadrícula corresponden a los sitios de muestreo, y en cada uno de estos sitios se deben realizar las observaciones necesarias, la toma de datos en los formularios y la toma de muestras que se requieran.

- **Red flexible:** Consiste en ubicar sitios de muestreo por medio de una red al azar, pero orientada de acuerdo con la variación de las distintas unidades cartográficas sobre el transecto. En principio, se puede partir de una ubicación sistemática y luego se pueden mover los puntos, según los patrones de distribución espacial de los polígonos o delimitaciones (ver Figura 17). Es muy útil para valorar variaciones internas de cada unidad y precisar los procesos específicos que se están dando, y además para lograr una primera caracterización de la zona y cuantificación del proceso.

- **Muestreo o verificación libre:** Se utiliza cuando se abarcan grandes superficies de terreno y no se dispone de suficiente tiempo o recursos para su verificación en campo. El método consiste en definir sitios representativos dentro de los transectos y en cada una de las unidades espaciales que tengan fácil acceso, con criterios de análisis espacial y de la experticia de los profesionales conocedores de la región (ver Figura 17). Para el uso de este método es necesario tener la red vial de la zona de trabajo ubicada sobre el mapa preliminar de salinización. Estos dos últimos métodos son los más apropiados para las escalas de análisis regional y nacional.

Para el nivel regional, se recomienda utilizar el método de red flexible combinado con muestreo libre: sobre el mapa preliminar se dibujan los transectos y, en estos, por medio de un análisis espacial, se ubican los sitios para realizar el muestreo. En cada uno de estos sitios se debe levantar información para la caracterización de cada una de las unidades.

Otros criterios para definir la ubicación de los sitios de muestreo son:

- Los relacionados con los mapas de susceptibilidad y del estado actual: es importante ubicar gran parte de los puntos en unidades que tengan calificación de susceptibilidad moderada, alta y muy alta y que, además, presenten grados de salinidad moderado, severo y muy severo.

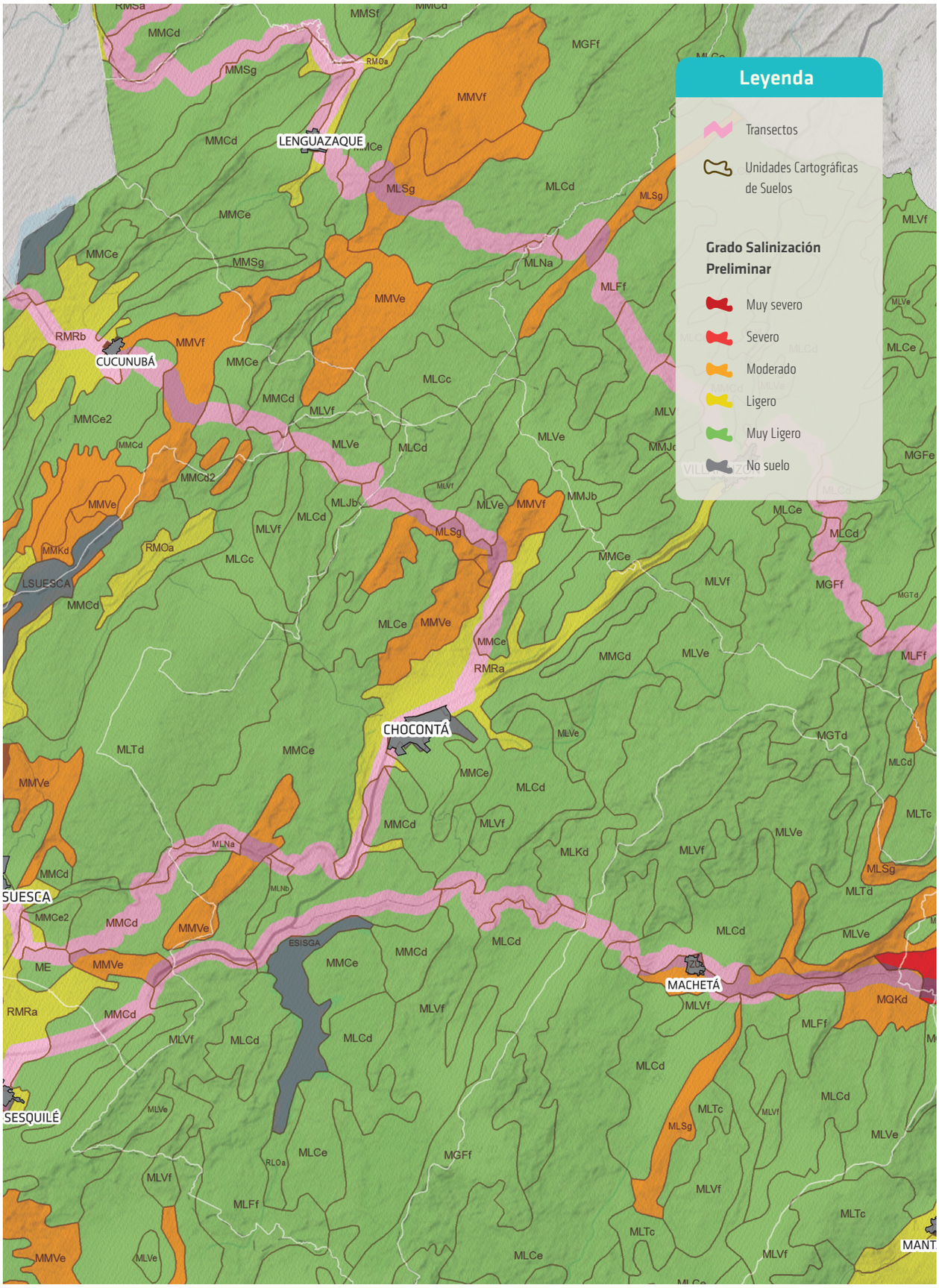


Figura 17. Ejemplo de transectos

- Zonas con uso intensivo, donde se evidencien sistemas de riego, producción de cultivos a escala comercial, extracciones mineras y cuerpos de agua contaminada utilizados para regadío.

- Información suministrada por los técnicos y personas conocedoras de la realidad en cada región.

El muestreo se debe complementar con sitios por fuera de los transectos, en unidades con grado ligero o muy ligero y, en particular, en las áreas con usos agrícolas o pecuarios donde se utilice riego y fertilización u otras actividades que contribuyan a los procesos de salinización. Aunque este muestreo se realiza con menor intensidad, debe ser representativo.

Otro complemento al muestreo son las imágenes de sensores remotos (fotografías aéreas, imágenes de satélite) que permitan identificar rasgos tales como la apariencia visual de suelos y plantas, parches, crecimiento ralo de la vegetación, diferentes tonos en un mismo cultivo, presencia de infraestructura para riego y drenaje y cualquier otro aspecto útil para la ubicación (para mayores detalles, consultar capítulo 13 de recomendaciones de uso de sensores remotos).

7.2.3 PREPARACIÓN DE INSTRUMENTOS Y MATERIALES PARA EL TRABAJO DE CAMPO

Los materiales cartográficos y los instrumentos de posicionamiento utilizados en el trabajo de campo deben ser preparados con anterioridad. En primer lugar, se debe disponer de las coberturas digitales para que sean visualizadas y manipuladas directamente en campo a partir de diferentes receptores (dispositivos electrónicos que contemplen GPS -Global Positioning System-, tales como GPS geodésico, GPS topográfico, navegador, PDA -Personal Digital Assistant-, tableta, celular). Se recomienda utilizar receptores como PDA y celulares.

La información se captura directamente en campo, de manera que el usuario pueda ubicarse geográficamente en terreno y tomar datos de forma automatizada. Se debe garantizar que a cada elemento se le asigne un código único de identificación, un único par de coordenadas XY (no reasignables a otro elemento) y los demás atributos de información que se capturan por observación o medición objetiva, propios del muestreo que se esté realizando.

Con el objeto de que la información tomada en campo sea analizada y sirva de herramienta para actualizar la zonificación de la degradación de los suelos por salinización, se utilizan módulos del software ArcGIS como Carrymap y ArcGIS Collector. Estos permiten preparar la información espacial para campo, manipular y capturar datos y, finalmente, integrar la información en bases de datos espaciales.

De otra parte, una vez definidas las zonas de muestreo, se inicia la gestión con las instituciones del sector público y privado, lo mismo que con gremios y productores que se relacionan con esta problemática. El objetivo es obtener de ellos el acompañamiento, el apoyo para el trabajo de campo y los permisos para el ingreso a los predios donde se realizarán los muestreos.

Los principales materiales y equipos requeridos para el trabajo de campo se presentan en la Tabla 12.

MATERIALES PARA TRABAJO DE CAMPO	
Barreno holandés	Frascos para la toma de muestras de agua
Barreno para toma de muestras de densidad aparente indisturbadas	Ácido clorhídrico al 10%
Pala	Cloruro de bario
Palín	Fenolftaleina
Juego de anillos para densidad aparente	Fluoruro de sodio 4%
Mazo de caucho	Papel de filtro
Equipo multiparámetro de campo	Peróxido de hidrógeno
Kit de soluciones para calibrar el equipo multiparámetro	Marcador
Agua destilada	Formatos de captura de información en campo
Bolsas de 2 kg de capacidad para toma de muestras de suelos	Etiquetas para marcar la muestra de suelos y aguas
Bolsas pequeñas para etiquetas de las muestras de suelo	Cámara fotográfica
Bolsas Ziploc de 2 kg para empacar la muestra y la etiqueta	Cartografía
Cuchillo de campo	GPS
Tabla Munsell	

Tabla 12. Materiales necesarios para trabajo de campo

7.3 ETAPA DE TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo tiene como objetivo:

- Validar las delineaciones de la zonificación preliminar.
- Verificar las calificaciones de cada una de las unidades en cuanto a tipo, grado y clase de salinización.
- Colectar información de campo que contribuya a caracterizar cada una de las unidades espaciales de degradación, por medio de la aplicación de los formularios de captura, el muestreo de suelos, aguas y vegetación, y las entrevistas con los asistentes técnicos, productores y campesinos.

Para el logro de estos propósitos se deben realizar las siguientes actividades:

- Recorridos de campo.
- Levantamiento de información y datos.
- Toma de muestras de suelos y aguas para ser enviadas al laboratorio.

7.3.1 RECORRIDO GENERAL DE RECONOCIMIENTO DE LA ZONA Y VERIFICACIÓN DE ACCESIBILIDAD

La primera actividad en el trabajo de campo es un recorrido de reconocimiento de la zona de estudio. En este se debe:

- Verificar la accesibilidad a la zona y las condiciones de movilidad.
- Confrontar los transectos definidos.
- Corroborar el diseño de muestreo, de acuerdo con la representación espacial de las unidades en el terreno.
- Calcular los tiempos de trayecto entre los puntos de muestreo.
- Identificar las posibles dificultades que se puedan presentar.
- Realizar reuniones y entrevistas con los profesionales de las instituciones locales y regionales, así como con productores, gremios o conocedores de la zona, que permitan realizar los trabajos de campo con mayor precisión y eficacia.

Es importante tener en cuenta la época en la que se realiza el muestreo (si es seca o de lluvias), con el fin de definir la presencia de mayor o menor concentración de sales en el suelo y su movilidad en el terreno.

7.3.2 RECORRIDOS DE OBSERVACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Una vez se ha reconocido la zona y se han verificado y ajustado los transectos y los puntos de muestreo definidos en la etapa de preparación de campo, se deben hacer los recorridos de validación del mapa y el levantamiento de información en los puntos de muestreo.

Los recorridos de observación:

- Se realizan normalmente por las principales vías de la zona de estudio.
- Ubican los sitios más altos para tener una mayor visión de la región y abarcar una buena cantidad de unidades espaciales de degradación por salinización.
- Incluyen paradas de observación, en las que se confronta la calificación del estado actual de la salinización y la calificación de la susceptibilidad de cada unidad observada, de acuerdo a criterios utilizados (geología, geomorfología, condiciones climáticas, características de los suelos y prácticas utilizadas en el uso de la tierra).
- Deberán conducir a las zonas de los transectos delimitados. En ellos se ubican los sitios específicos de muestreo, donde se aplican los formularios de campo y se colectan las muestras de suelo y/o agua.

Para el muestreo de suelos:

1. Se inicia con observaciones de comprobación o barrenadas, en las cuales se determina el espesor de los horizontes, el color, la textura, el pH, la CE y la reacción al ácido clorhídrico (HCl).
2. Se hacen las observaciones que se consideren necesarias para establecer el patrón de afectación por salinidad en los suelos.
3. Una vez se diferencien cambios en la acumulación de sales en los suelos mediante los parámetros analizados, se hace la observación de identificación en cajuela, de la cual se colectarán las muestras que se llevarán al laboratorio para realizar la caracterización pertinente.
4. Es importante incluir, en los sitios de muestreo, las zonas con uso intensivo donde se evidencien sistemas de riego, producción de cultivos a escala

comercial, extracciones mineras y cuerpos de agua contaminada utilizados para regadío.

5 Se debe tener en cuenta la presencia de rasgos y manifestaciones visuales de salinidad tales como manchas o costras blancas sobre el suelo, dispersión de la materia orgánica, concreciones de carbonatos de calcio, calvas (sitios desprovistos de vegetación), especies vegetales bioindicadoras, amarillamiento y crecimiento irregular del cultivo.

Teniendo en cuenta que una de las principales causas de salinización de los suelos es el uso de agua de riego, es conveniente tomar muestras de agua en la bocatoma de los canales y a la salida de los lotes irrigados. Adicionalmente, se recomienda muestrear los cuerpos de agua circundantes o cualquier otra fuente que pueda tener relación con el uso de estas aguas que influya en el incremento de sales en el suelo.

Los sitios de muestreo deben estar distantes de las carreteras y caminos. De este modo se garantiza que la muestra no esté contaminada de materiales foráneos y se evita el efecto de borde.

En cada sitio de muestreo se debe:

1 Diligenciar el formulario de campo. Se recomienda diligenciar todas las casillas incluidas con la información del sitio específico y complementar con las observaciones particulares y dibujos o gráficos que expliquen las características del sitio. La información obtenida permitirá ajustar la calificación de las unidades y disponer de un mapa para el monitoreo y seguimiento.

2 Registrar información cualitativa de los rasgos o manifestaciones de la salinización (presencia de calvas, costras blancas o negras, concreciones, especies vegetales indicadoras, "salitre", dispersión de materia orgánica, etc.) en cuanto a distribución, abundancia y diversidad.

3 Tomar muestras de suelos en los dos primeros horizontes o al menos hasta los primeros 50 cm de profundidad para enviarlas al laboratorio. Aquellos casos de suelos cuyos rasgos indiquen la presencia de sales a mayor profundidad se muestrearán también. Cada muestra se empaca en bolsas plásticas resellables sin usar con su respectiva etiqueta, asegurándose de que no se borre la información de esta y de que haya un sellamiento hermético.

4 Realizar un registro fotográfico o fílmico en cada sitio del suelo (cajuelas, perfiles o barrenadas) y de los rasgos y manifestaciones de las sales, así como del paisaje.

El número de muestras depende de la variabilidad de la población (unidades cartográficas) y del nivel de precisión y confiabilidad deseado. Es importante optimizar los recursos disponibles, tanto humanos como de tiempo, las vías de acceso y los medios de transporte, de manera que se logre una cobertura total del área de interés.

7.3.3 TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS Y AGUAS PARA ENVIAR AL LABORATORIO

Para la toma de muestras de suelos y aguas, se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Abrir cajuela de 50x50x50 cm o hasta identificar el horizonte B.
- Realizar la separación de horizontes, determinando el espesor de cada uno.
- Describir en cada horizonte: color, textura, estructura, porosidad, pH, CE y pruebas para carbonatos con HCl al 10%y alófanas con NaF al 4%.
- Describir del perfil: drenaje natural, profundidad efectiva, profundidad de raíces, actividad de organismos, clima edáfico.
- Validar la unidad de análisis: grado de salinización, cobertura, uso actual, pendiente, relieve, paisaje, material parental.
- Registrar toda la información en los formatos previamente establecidos, junto con registros fotográficos.

Toma de muestras de suelo

- Preparar con anterioridad los equipos de campo y los reactivos. Además de verificar la cantidad y calidad de las baterías de los equipos, se debe revisar su funcionamiento y calibración, en especial del pH-metro y del conductímetro.
- Recoger de cada horizonte un kilogramo de suelo para enviar al laboratorio.
- La muestra se debe obtener del centro de cada horizonte para que sea representativa.
- Empacar en bolsas plásticas (por ejemplo, tipo Ziploc).
- Cada bolsa debe llevar su rótulo, con la identificación de la muestra y sus respectivos datos de ubicación (coordenadas, departamento, vereda) y los análisis de laboratorio por realizar.

- Recoger muestras indisturbadas de cada horizonte, para determinar la densidad aparente, por medio del método del cilindro. También se puede utilizar el método del terrón, esto es, recoger y enviar algunos terrones.

- Se deben tomar muestras de las costras salinas, visibles o no, o de donde se sospeche que existan sales. Estas se deben muestrear separadamente, indicando la profundidad aproximada de su localización.

- Si se dispone de equipos de campo para medir pH y CE, realizar dichas mediciones de forma aleatoria en cada unidad, tanto en suelos como en aguas. Estos resultados se utilizarán como indicadores de la presencia o ausencia de sales. En el espacio del formulario destinado para observaciones, se consignan estas anotaciones.

- Finalmente, se debe definir la forma de mantenimiento, preservación, conservación y transporte de las muestras, al igual que la seguridad de la cadena de custodia y del personal hasta llegar al laboratorio.

Toma de muestras de agua

- Organizar las botellas rotuladas, los reactivos y los formatos e insumos para los sitios de muestreo.

- Solicitar permiso a los propietarios de predios y la colaboración necesaria para efectuar el muestreo.

- Diligenciar el formato de captura de datos con la información solicitada, ya que la información básica requerida permitirá radicar la muestra.

- Si el canal de riego tiene más de dos puntos de muestreo, es necesario georreferenciar cada uno de ellos.

República de Colombia
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
www.ideam.gov.co ecosistemas@ideam.gov.co

FECHA dd/mm/aa **UNIDAD** _____ **Nº IDENTIFICADOR** _____

II. LOCALIZACIÓN

Departamento _____ Municipio _____

Vereda _____ Sitio _____

Latitud _____ Longitud _____ Altitud _____

Horizonte _____ Profundidad _____

PRUEBAS SOLICITADAS

SOLICITANTE	Subdirección de Ecosistemas
PROYECTO	LBD de suelos por salinización

Figura 18. Ejemplo de rótulo para muestras de suelos

República de Colombia
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA
Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental
www.ideam.gov.co ecosistemas@ideam.gov.co

FECHA dd/mm/aa **UNIDAD** _____ **Nº IDENTIFICADOR** _____

II. LOCALIZACIÓN

Departamento _____ Municipio _____

Vereda _____ Sitio _____

Latitud _____ Longitud _____ Altitud _____

Fuente _____ Uso _____

PRUEBAS SOLICITADAS

SOLICITANTE	Subdirección de Ecosistemas
PROYECTO	LBD de suelos por salinización

Figura 19. Ejemplo de rótulo para las muestras de agua

- Se deben tomar muestras de aguas de canales de riego[1] o de fuentes hídricas de riego.

El muestreo de aguas debe considerar sitios de canales o mangueras de regadío. De ser necesario, limpie o retire manualmente restos vegetales como hojas, mantillo, materia orgánica, raíces, trozos de tallos o plantas antes de tomar la muestra.

7.4 ETAPA DE POSTCAMPO

Esta etapa tiene varias actividades que se pueden desarrollar de forma consecutiva; entre ellas:

- Realizar análisis en el laboratorio de muestras de suelos y aguas.
- Elaborar la lectura e interpretación de los análisis de laboratorio.
- Revisar y ajustar la calificación de las unidades de degradación.
- Ajustar las delineaciones de las unidades del mapa preliminar.
- Elaborar el mapa final, junto con su leyenda.

1 Entiéndase por aguas de riego aquellas provenientes de efluentes que se utilizan para agricultura, ganadería intensiva y/o áreas destinadas a actividades agrícolas.

7.4.1 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MUESTRAS DE SUELOS

Las muestras colectadas deben seguir los protocolos del laboratorio del IDEAM o de los laboratorios de suelos reconocidos y certificados. La metodología de procesamiento de estas muestras en laboratorio, de cara a la línea base de degradación de suelos por salinización, debe cumplir las siguientes normas técnicas colombianas:

- NTC 4113-2 Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo, 1997.
- NTC 4113-4 Calidad del suelo. Muestreo. Guía para el procedimiento para la investigación de sitios naturales, seminaturales y cultivados, 2004.
- NTC 4113-6 Calidad de suelo. Muestreo. Guía para la recolección, manejo y almacenamiento de suelo para la evaluación de procesos microbianos aeróbicos en el laboratorio, 1997.
- NTC 3656. Gestión ambiental suelo. Toma de muestras de suelos para determinar contaminación, 2004.

Métodos específicos de análisis de muestras de suelo

Textura de suelos: Método hidrómetro de Bouyoucos. Su fundamento es medir el porcentaje de partículas de una muestra de suelo que se encuentran en suspensión. Consiste en:

1. Pasar la muestra de suelo (50 g) por un tamiz de 2 mm.
2. Agregarle agua y hexamentafosfato de sodio (10 ml, agente dispersante).
3. Agitar durante 2 horas.
4. Colocar la suspensión en probeta (1.000 ml).
5. Efectuar una agitación mecánica y colocar el densímetro o hidrómetro.
6. Tomar lecturas a los 40 minutos y a las 2 horas.
7. Realizar los respectivos cálculos.
8. Con los datos obtenidos de arena, limo y arcilla, determinar la textura en el triángulo textural.

Densidad aparente del suelo: Método del cilindro (Andrade e Ibrahim, 2003). Permite evaluar la relación que existe entre la masa de suelo recolectada por unidad de volumen real de las partículas (incluye suelo, raíces, espacios de poros). Consiste en:

1. Tomar una muestra de suelo, en cada uno de los horizontes, con un anillo de metal de diámetro y altura conocidos para que se pueda calcular su volumen.
2. Dejar secar la muestra y pesarla.
3. Con los datos de masa y volumen, calcular la densidad aparente.
4. Expresar los resultados en g/cm^3

Humedad analítica: Determinación de la humedad del suelo por método gravimétrico. Establece la humedad del suelo y la relación de su contenido de agua con el peso o el volumen de la masa de suelo, expresándola en forma gravimétrica (relación con la masa del suelo) y volumétrica (relación con el volumen del suelo). Se debe:

1. Pesar 25 g de suelo seco en cápsulas.
2. Llevar las cápsulas a la estufa durante 24 horas a 105 °C.

3 Pesar nuevamente.

4 Realizar los cálculos y determinar la humedad.

Conductividad eléctrica: En extracto de saturación de suelos, permite evidenciar el contenido de sales y muestra la relación iónica. Se suele expresar en mmhos/cm, mSiemens/m o dSiemens/m a 25 °C. Este método aplica para todos los tipos de suelos (se debe tener cuidado al saturar suelos de texturas muy finas o muy gruesas). En el laboratorio, la medida de la conductividad eléctrica se hace obteniendo el extracto de saturación de una muestra de suelo. Para ello es necesario:

1 Pesar 250 g de suelo en un recipiente de 500 ml.

2 Añadir agua destilada con probeta y agitar con una espátula hasta obtener una pasta saturada.

3 Dejar en reposo por una hora.

4 Verificar el punto de saturación. En la superficie la muestra no debe presentar exceso de agua y debe mantener un brillo metálico y una ligera fluidez. Si no es así, se debe agregar más agua.

5 Al tomar las características correctas, anotar el volumen de agua utilizada, que permitirá calcular posteriormente el porcentaje de saturación.

6 Dejar la muestra en reposo durante 24 horas.

7 Pasar la pasta saturada a un embudo Buchner, que se encuentra provisto de una hoja de papel de filtro y seguidamente se aplica vacío.

8 Pasar el filtrado a un vaso de precipitados y medir la conductividad a esta solución con el conductímetro.

Reacción pH: Método potenciométrico (Willard *et al*., 1974; Bates, 1983).

En campo, para realizar la medida de potencial eléctrico en agua se debe:

1 Pesar 10 g de suelo.

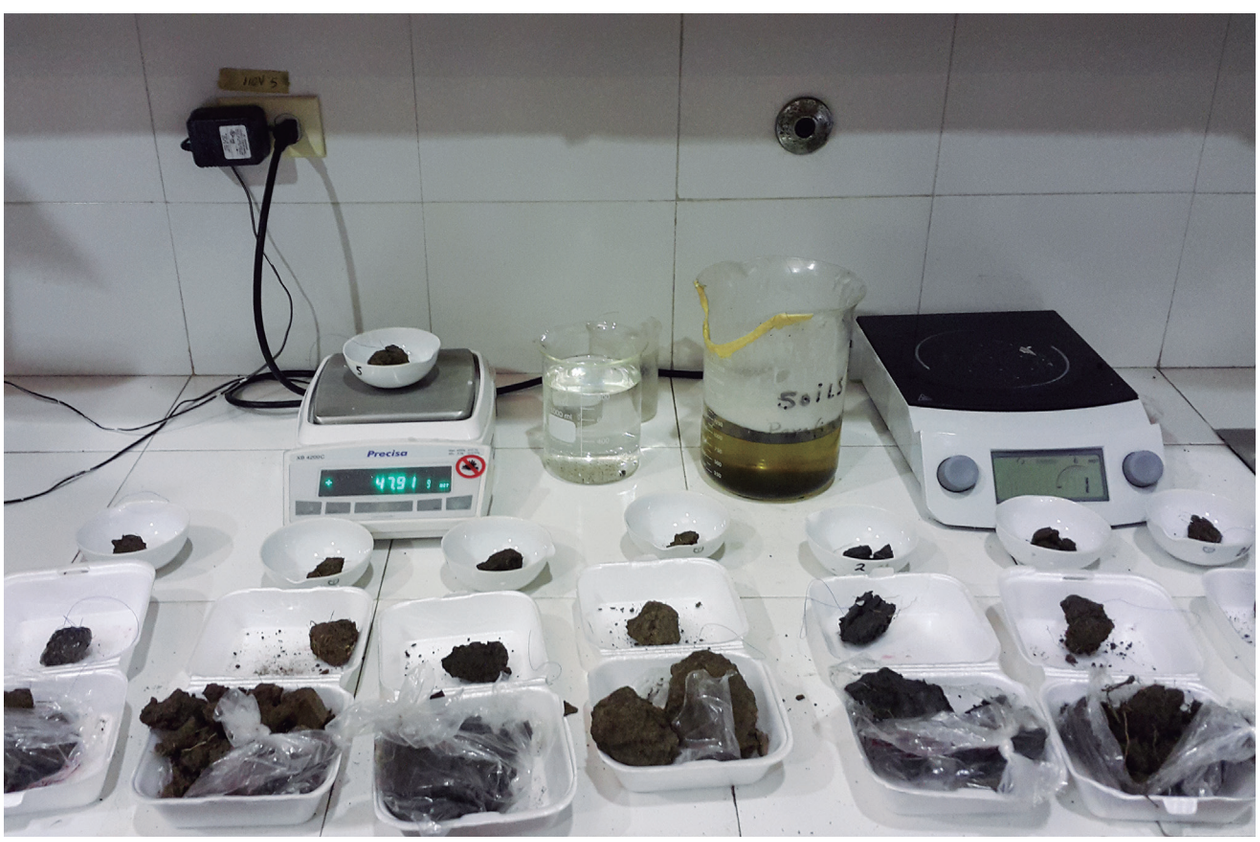
2 Añadir 40 ml de agua destilada.

3 Agitar manualmente durante 1 minuto.

4 Dejar reposar durante 30 minutos.

5 Agitar nuevamente durante 1 minuto, previa toma de medida.

En laboratorio, la medida de potencial eléctrico se realiza a partir del extracto de saturación (250 g de muestra de suelo saturada con agua destilada) (ver metodología conductividad eléctrica).



Carbono orgánico en suelos: Método de Walkley Black (1934). Para valorar el carbono orgánico oxidable en una muestra de suelo seco, se requiere:

1. Oxidar el carbono con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico.

2. Valorar el exceso de oxidante con una disolución de sulfato amónico ferroso (sal de Mohr).

3. Calcular la cantidad de sustancias oxidadas por la cantidad de dicromato reducido, utilizando como indicador la fenantrolina o difenilamina.

Materia orgánica (MO): se calculará a partir del contenido de carbono orgánico (CO) oxidable, estimando un contenido de un 58% de carbono en la materia orgánica: 100/58 = 1,724 coeficiente Waksman.

%MO=%CO*1,724

Los valores obtenidos de la MO corresponden a la suma de la biomasa microbiana, la materia orgánica fresca (restos vegetales, animales) y, en mayor proporción, la humificada.

Bases solubles: Por espectrofotometría de absorción (Ca, Mg) y emisión atómica (Na, K). El método radica en la propiedad que tienen los átomos de Ca, Mg, Na y K de emitir una radiación electromagnética con diferentes longitudes de onda de energía cuando son excitados.

La aplicación de esta metodología a muestras de suelos ayuda a establecer el grado de alcalinidad de un suelo, con el propósito de cuantificar la salinidad. La Norma Técnica Colombiana de 018/03 ICONTEC define como cationes intercambiables (bases) los metales alcalinos y alcalinotérreos adsorbidos sobre el coloide del suelo (arcillas y humus), que pueden ser cambiados entre sí o con otro catión de la solución del suelo.

Cationes asimilables (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}): Método de extracción con acetato amónico y valoración con espectrofotometría de absorción atómica. Se analizan las concentraciones de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} en $mmol/dm^3$ de las soluciones salinas (meq/100 g suelo).

Cationes solubles (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}): Método de extracto de saturación y valoración con espectrofotometría de absorción atómica.

Aniones solubles (CO_3H^-, Cl^-, SO_4^{--}, NO_3^-): Método de extracto de saturación valoración por volumetría.

Los siguientes son los rangos de concentración y límites de detección de cationes en suelos:

- El contenido de calcio puede variar entre cero y varios centenares de mg/l. El método EAA de llama (3500-Ca B) muestra límites de detección de 0,003 mg/l, en el orden de los 0,2-20 mg/l.

- El catión sodio, por el método de EAA de llama (3500-Na B), muestra límites de detección de 0,002 mg/l en un margen de 0,03-1 mg/l.

- La concentración de magnesio puede variar desde cero a varios cientos de miligramos por litro. La EAA de llama (3500-Mg B) muestra límites de detección de 0,0005 mg/l en un margen de 0,02-2 mg/l.

- El potasio rara vez alcanza los 20 mg/l, y en EAA de llama (3500-KB) los límites de detección van desde 0,005 mg/l en un margen de 0,1-2 mg/l.

Otros cálculos e indicadores utilizados para la salinización:

$RAS=Na+/\sqrt{(Ca^{++}+Mg^{++})}$.

Un parámetro importante en la medida de la salinidad en el suelo es el RAS (razón adsorción de sodio) a través de la concentración de iones de Na^+ en solución del suelo. El RAS muestra la influencia de este ion en las propiedades físico-químicas del suelo, presentando efectos dispersantes en los coloides de este e incidiendo en la permeabilidad y en la concentración del resto de cationes.

- PSI=100*Na/CIC

El porcentaje de sodio intercambiable PSI es la relación de Na^+ con respecto a los otros cationes de cambio y, en particular, con la capacidad de intercambio catiónico. La sodificación y dispersión de la arcilla se puede presentar cuando el PSI>15%.

Otra forma de calcular el PSI es a partir del RAS:

- PSI=100(-0,0126+0,01475 RAS)/1+(-0,0126+0,01475 RAS)

7.4.2 AJUSTE DE LA CLASIFICACIÓN DEL MAPA DE ZONIFICACIÓN PRELIMINAR

Una vez obtenidos los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de campo, y con el mapa de la zonificación preliminar, se deben realizar los ajustes cartográficos y una actualización de las clasificaciones de grado y clase.

De acuerdo a los resultados del trabajo de campo, la zonificación preliminar debe ser ajustada tanto en la calificación de

las unidades como en las delineaciones donde se comprobó que existían errores de delimitación. Considerando que dicha zonificación es producto de la reclasificación y del cruce de mapas de suelos y uso de la tierra, es importante también comprobar la caracterización y los límites de las unidades. En ese sentido, de los trabajos de campo se deben traer los ajustes correspondientes y realizar las actividades necesarias en las coberturas digitales por medio de procesos de SIG, de tal manera que a nivel cartográfico quede la zonificación final.

Para la actualización de la calificación de cada una de las unidades, se parte de la información de los resultados de laboratorio y se procede a comparar, analizar y determinar nuevamente la calificación de las unidades correspondientes de acuerdo al sistema de clasificación para tipo (Tabla 4), grado (Tabla 5) y clase (Tabla 6) (título 7.1.2). Se deben seguir dos procesos:

1. Validar: confirmar la calificación de cada una de las unidades espaciales respecto al tipo, grado y clase de salinización.

2. Ajustar la clasificación: generar un cambio en la clasificación del tipo, grado o clase y, si es necesario, en su representación espacial (para esto es preciso tener como apoyo imágenes de sensores remotos, ya sean ortofotos o satelitales).

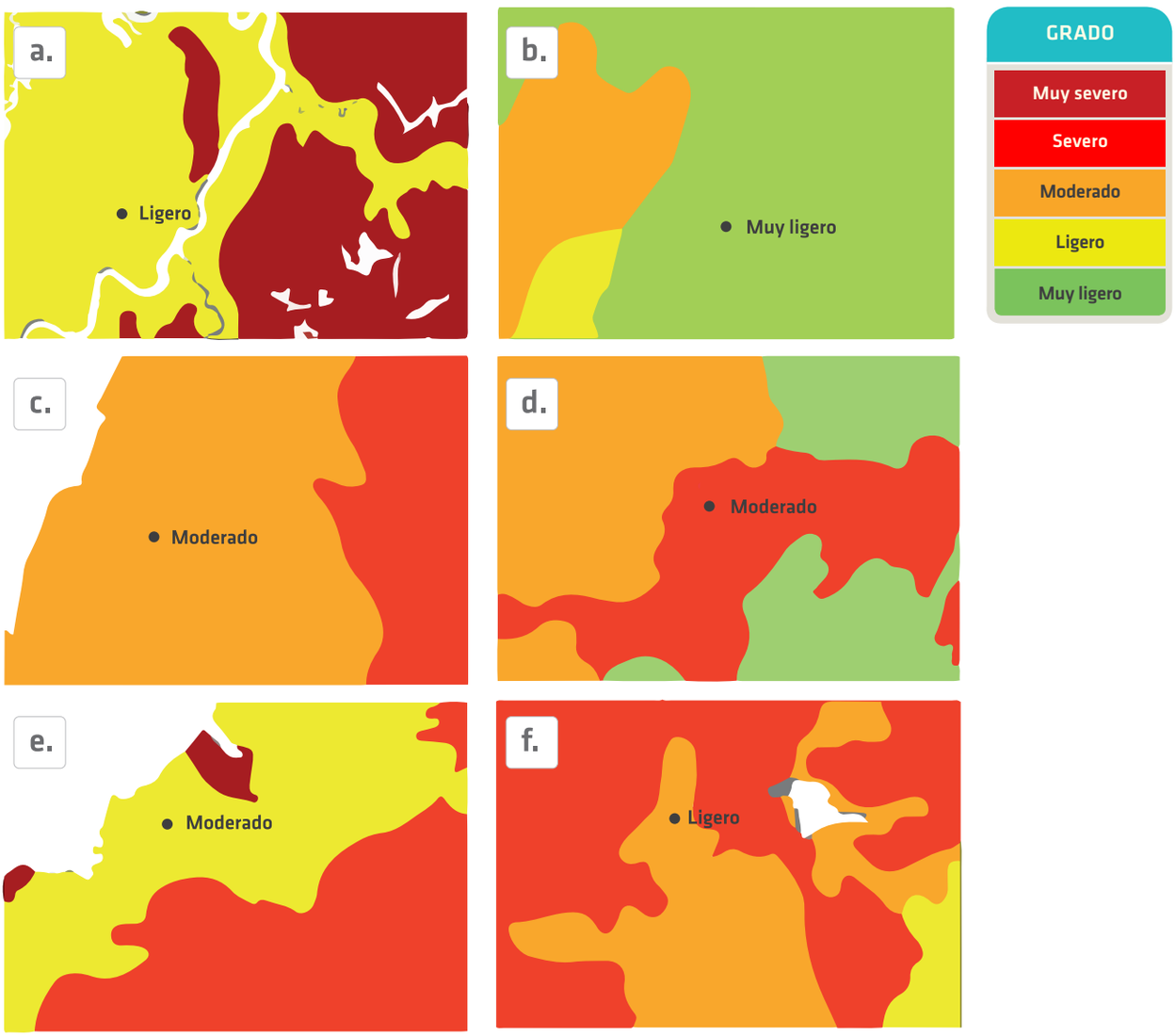


Figura 20. Validación y/o ajuste a la clasificación del tipo, grado y clase de salinización

En la Figura 20 se presentan los siguientes ejemplos de los procesos de ajuste a la clasificación de la zonificación preliminar:

- En las opciones a, b y c se evidencia la validación del grado.

- En la opción d se muestra que el análisis de laboratorio arroja un grado moderado pero posicionado espacialmente en una cobertura de grado severo. En este caso se debe tener cuidado con la precisión del GPS (dependiendo del tipo de receptor) y analizar el resultado ya que el punto está muy cercano a una cobertura de grado moderado también y, por lo tanto, se podría validar.

- En las opciones e y f se detecta la necesidad de ajustar el grado de salinización.

7.4.3 ELABORACIÓN DEL MAPA FINAL DE ZONIFICACIÓN POR SALINIZACIÓN Y SU LEYENDA

Una vez ajustado el mapa de zonificación preliminar, se deben seguir estos pasos:

1. Realizar un geoprocesamiento de unión con la cobertura digital que contemple el perímetro de la zona de estudio. De este modo se obtendrá la cobertura con el área total de dicha zona, indicando su tipo, grado y clase de salinización.

2. Llevar a cabo el geoprocesamiento de actualización *(update)* teniendo como referencia la cobertura digital de la base cartográfica oficial del IGAC[2], donde se rescatan los cuerpos de agua, los centros urbanos y los afloramientos rocosos (estos son contemplados como una geometría tipo polígono que interfiere en las áreas y estadísticas de la zonificación).

3. Una vez culminada la cobertura digital, esta debe cumplir unos estándares de calidad cartográficos. Para ello es necesario:

- Unificar la cobertura digital en una unidad mínima cartografiable[3]. Se debe seguir el mismo principio de área mínima cartografiable que se utilizó para generar las unidades espaciales del mapa preliminar (apartado 7.1.3.2).

Las sugerencias de área mínima deben ser consideradas como una guía y no como un valor absoluto. De todos modos, la complejidad del territorio que será mapeado jugará un papel importante en la selección del área mínima y sus umbrales (ver Tabla 13).

- Seleccionar los campos que no cumplen con el área mínima cartografiable y agruparlos al vecino más cercano *(eliminate)*, teniendo en cuenta que dichas áreas agrupadas son intrascendentes a la escala.

- Hacer revisión topológica (consistencia lógica, continuidad, conectividad, sobreposición de elementos, vacíos cartográficos, entre otros). Para ello es necesario crear reglas topológicas cartográficas; principalmente, las siguientes:

  - No debe superponerse *(Must Not Overlap)*. Si bien los polígonos pueden compartir ejes o vértices, esta regla requiere que su interior no se superponga. Se utiliza cuando un área no puede pertenecer a dos o más polígonos y resulta útil para modelar límites administrativos, como códigos postales o distritos electorales, y clasificaciones de área mutuamente exclusivas, como cobertura de suelo o tipo de forma de suelo.

  - No debe haber huecos *(Must Not Have Gaps)*. Esta regla precisa que no haya vacíos dentro de un polígono simple o entre polígonos adyacentes. Así, todos los polígonos deben formar una superficie continua. Aunque de este modo siempre existirá un error en el perímetro de la superficie, este puede ser ignorado o marcado como una excepción. Esta norma se utiliza en datos que deben cubrir completamente un área; por ejemplo, los polígonos de suelo no pueden incluir espacios ni formar vacíos: deben cubrir un área completa.

4. Definir la representación (simbología) de la cobertura digital. Esto permite personalizar la apariencia de las unidades almacenando la información del símbolo con la geometría de cada unidad espacial. Las representaciones son una propiedad de las unidades espaciales que se almacenan en tablas del sistema dentro de la geodatabase. En este caso en particular, se puede tomar la clasificación del grado de salinización para representar simbológicamente en el mapa de la zonificación (ver Tabla 14), mientras que las clasificaciones de clase y tipo de salinización se pueden identificar con anotaciones *(labels)* por medio de abreviaturas (ver Tabla 15).

2 Este insumo es de gran prioridad para obtener un mapa temático con una base cartográfica (vías, drenajes, curvas de nivel, entes administrativos, orografía, etc.).

3 Una unidad mínima cartografiable es una superficie menor que puede ser representada sobre un mapa, de acuerdo a criterios que dependen del tipo de levantamiento de suelos que se realice.

Al concluir la fase de zonificación se debe obtener el mapa final de línea base con unidades de degradación por salinización, calificadas con los atributos de tipo, grado y clase. Este mapa debe cumplir con los estándares de calidad cartográficos mínimos.

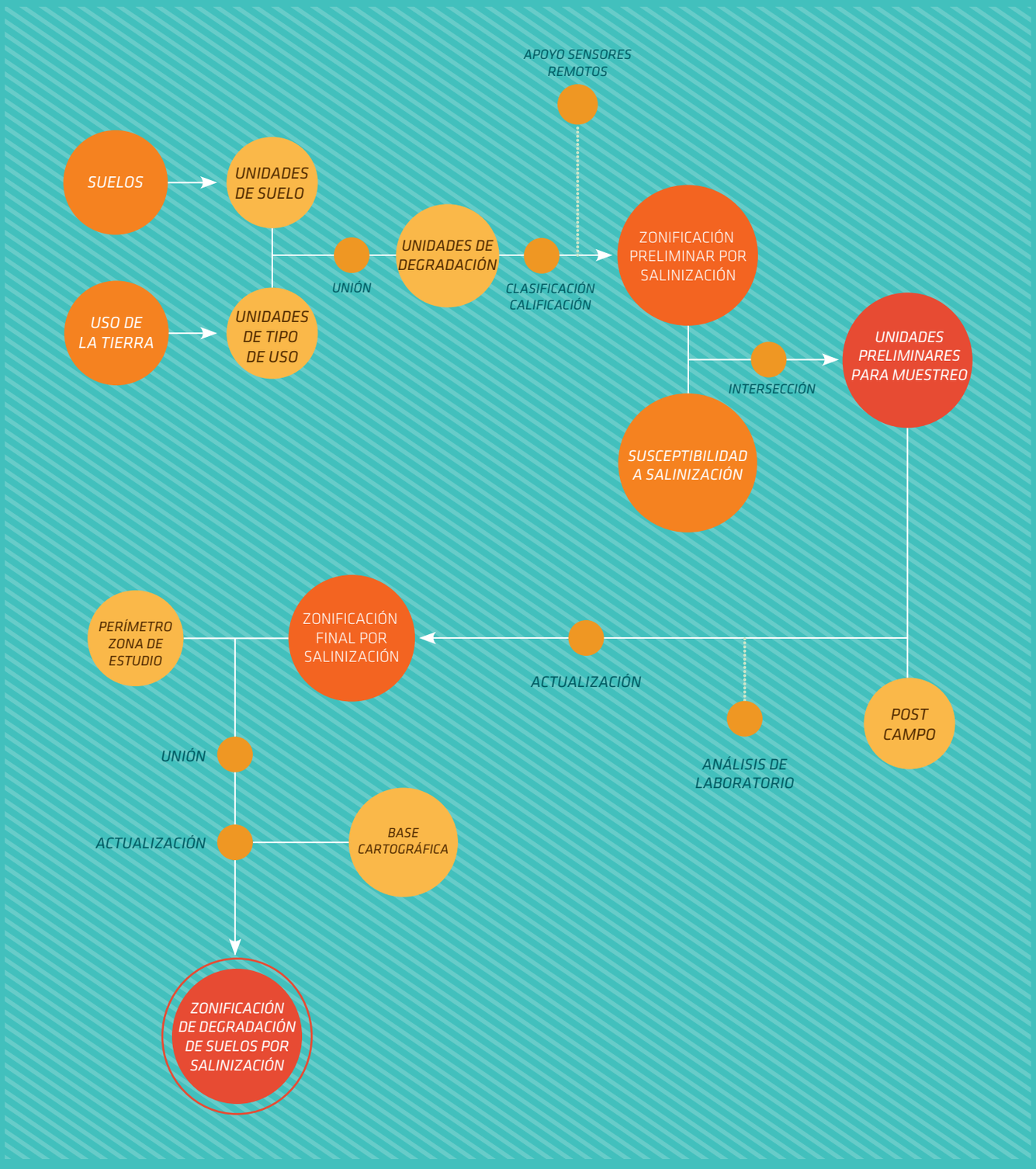


Figura 21. Modelo cartográfico para la elaboración de la zonificación final de degradación de suelos por salinización

Escala	1 cm igual a		1 mm igual a		Área mínima cartografiable (4x4 mm)	
	m	Km	m	Km	m^2	Km^2
1:500	5	0,005	0,5	0,001	4	0,000
1:1000	10	0,01	1	0,001	16	0,000
1:2000	20	0,02	2	0,002	64	0,000
1:5000	50	0,05	5	0,005	400	0,000
1:10000	100	0,1	10	0,01	1600	0,002
1:20000	200	0,2	20	0,02	6400	0,006
1:25000	250	0,25	25	0,025	10000	0,01
1:50000	500	0,5	50	0,05	40000	0,04
1:100000	1000	1	100	0,1	160000	0,16
1:250000	2500	2,5	250	0,25	1000000	1
1:500000	5000	5	500	0,5	4000000	4
1:1000000	10000	10	1000	1	16000000	16
1:6000000	60000	60	6000	6	576000000	576

Tabla 13. Área mínima cartografiable para diferentes escalas (Salitchev, 1979)

Grado de salinización	R - G - B
Muy severo	168 - 0 - 0
Severo	255 - 0 - 0
Moderado	255 - 170 - 0
Ligero	255 - 255 - 0
Muy ligero	163 - 255 - 115

Tabla 14. Representación del grado de degradación de suelos por salinización

5 Elaborar una plantilla de mapas[4] o tomar una existente en la entidad u organización.

6 Cargar o incorporar la cobertura digital de la zonificación y las coberturas digitales de la base cartográfica oficial del IGAC.

La clasificación y calificación de las unidades espaciales de análisis define las unidades de degradación de suelos por salinización para línea base (ver Figura 22). Estas se representan por símbolos que hacen referencia al sistema de clasificación, el cual ayuda a comprender el mapa de zonificación final (ver Tabla 15).

4 Esta plantilla es un documento de mapa, para este caso del software ArcGIS (.mxd), a partir del cual se pueden crear nuevos documentos. Las plantillas, que pueden incluir capas de mapa base o constituir un surtido de los diseños de página más utilizados, facilitan la reutilización o la normalización de un diseño en una serie de mapas. Así, esta herramienta puede ahorrar tiempo puesto que no es necesario reproducir manualmente las partes comunes de los mapas, es decir, la información de referencia. Esta última incluye logos y nombres de las entidades autoras o responsables del mapa, un título que lo identifique, una leyenda (simbología temática), convenciones (simbología de la base cartográfica), un mapa de localización, la escala (ya sea gráfica y/o numérica), información del sistema de referencia y del sistema de proyección que se presenta, fuentes, fecha de publicación, derechos de autor, entre otros.

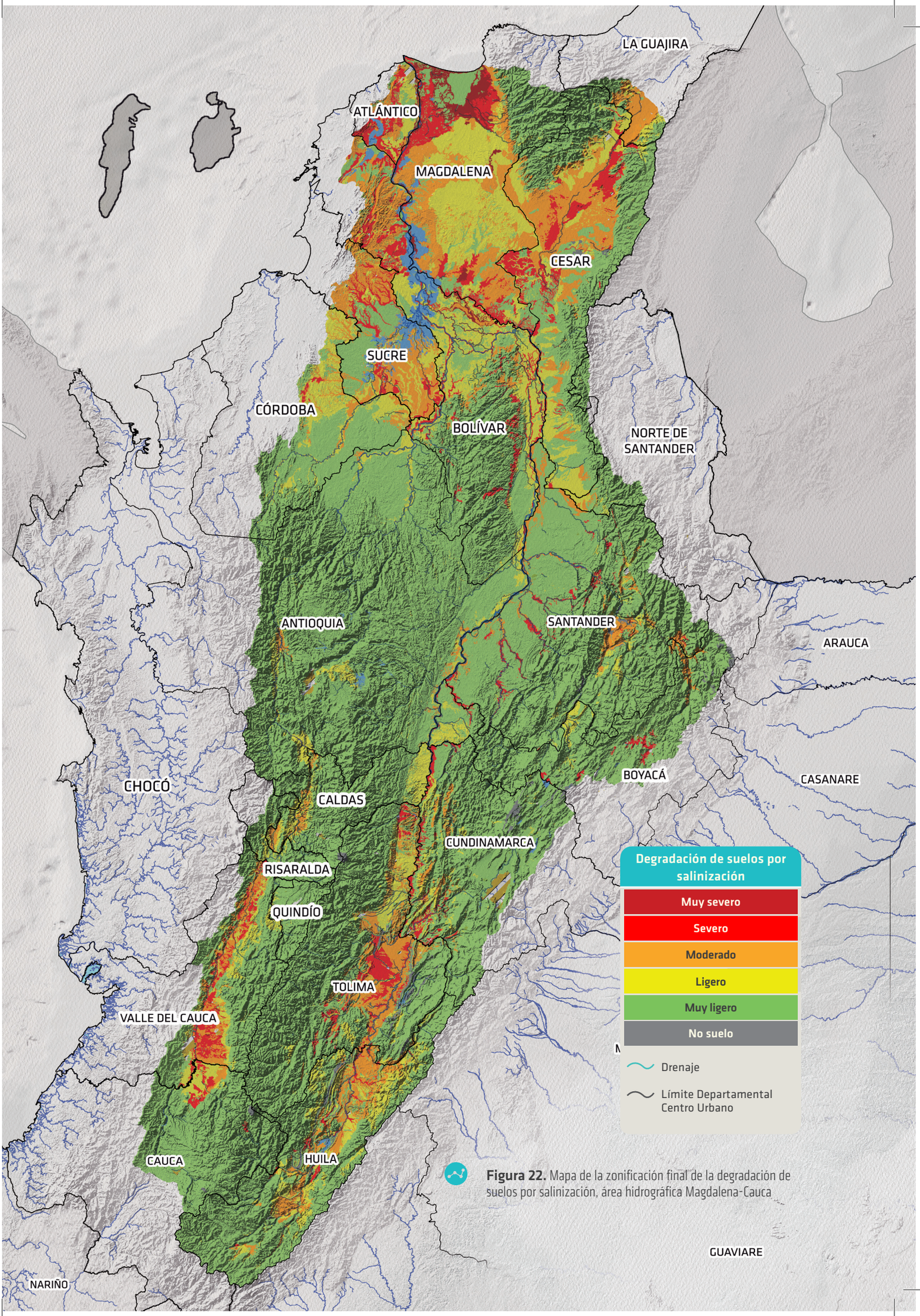


Figura 22. Mapa de la zonificación final de la degradación de suelos por salinización, área hidrográfica Magdalena-Cauca

TIPO	GRADO	CLASE	SÍMBOLO
Natural	Muy ligero	N/A	N-ML
	Moderado	Sódico	N-M-Na
	Severo	Calcáreo	N-S-Ca
Mixto	Ligero	Alcalino	M-L-AL
	Moderado	Magnésico	M-M-Mg
	Muy severo	Salino - Sódico	M-MS-SLNa
Antrópico	Muy ligero	N/A	A-ML
	Ligero	Salino	A-L-SL
	Moderado	Magnésico	A-M-Mg
	Severo	Salino-Calcáreo	A-S-SLCa
	Muy severo	Salino-Sódico-Calcáreo	A-MS-SLNaCa

Tabla 15. Modelo de leyenda y simbología para el mapa de zonificación de degradación de suelos por salinización, a nivel regional

7.4.4 CONTROL DE CALIDAD DEL MAPA DE ZONIFICACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

El control de calidad consiste en un proceso de revisión y corrección continuo y sistemático de seguimiento a la obtención de unidades de la zonificación de degradación de suelos por salinización. Su propósito es garantizar la metodología planteada y la consistencia lógica y geométrica de la cobertura digital dentro de una base de datos espacial y alfanumérica.

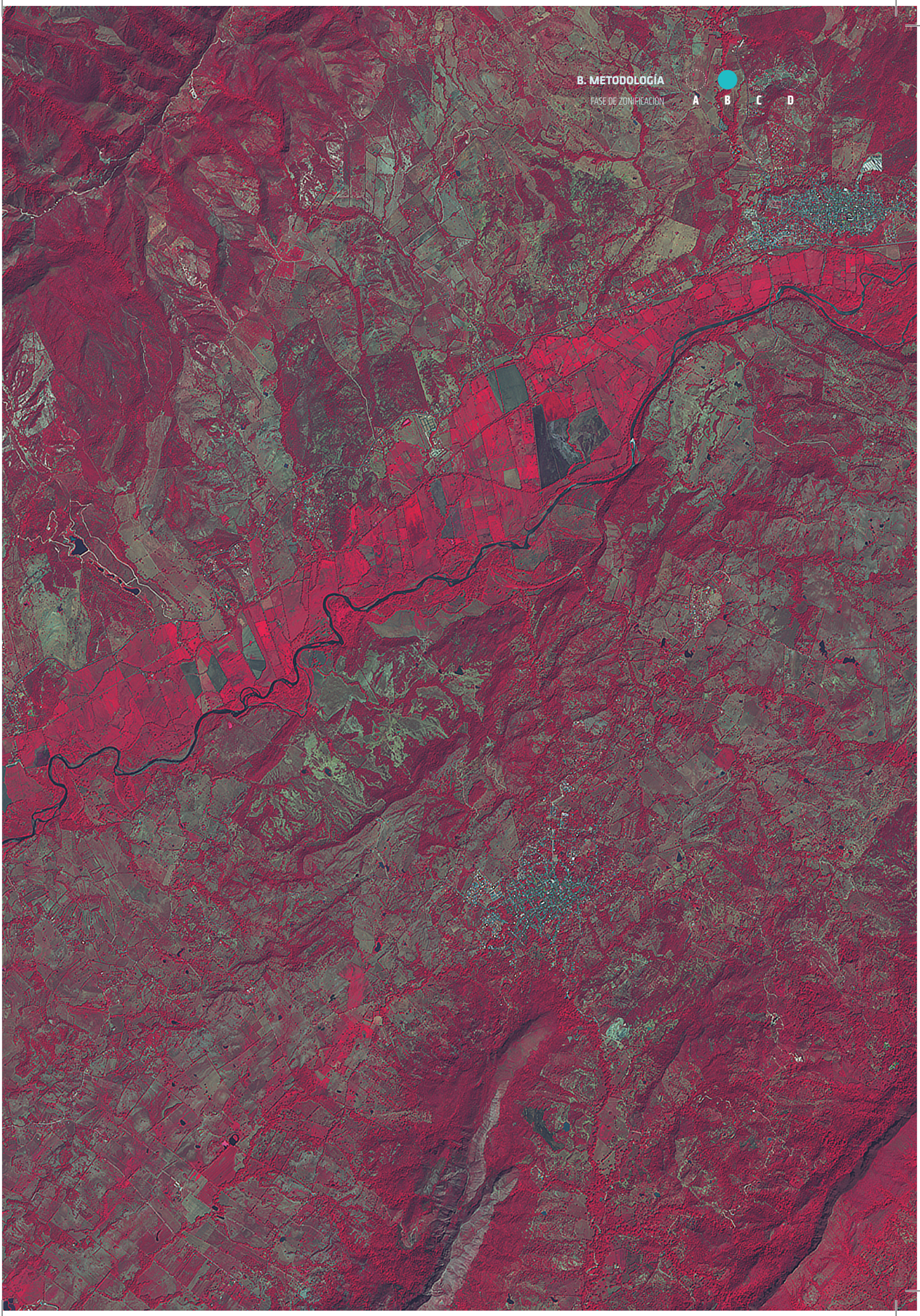
Finalizado el mapa de la zonificación, se somete a un análisis de resultados temáticos y cartográficos en el cual son partícipes todos aquellos que se encuentren involucrados tanto técnicamente como profesionalmente. Se deben evaluar los siguientes aspectos:

- Codificación: se revisa si cada polígono tiene asignado el código que representa la unidad (tipo, grado y clase). También se confrontan las clasificaciones relacionadas con los mapas de susceptibilidad y de los estudios de suelos, y posteriormente se verifica que los campos estén diligenciados en su totalidad.

- Delimitación: se revisa el borde y límite de los polígonos obtenidos de los análisis espaciales de los insumos de susceptibilidad, uso de la tierra y suelos ya integrados espacialmente. Es preciso observar que encierren con la mayor exactitud la clase evidenciada, de manera que no presenten bordes angulados por falta o por exceso de vértices o que se hayan generado polígonos astilla.

- Nivel de detalle: se verifica que los polígonos delimiten en lo posible unidades puras, siguiendo los criterios de área y ancho para cada clase.

Posteriormente, y en caso de presentarse cambios en la cobertura digital, esta debe pasar nuevamente por los estándares de calidad cartográficos mínimos como son el área mínima cartografiable y la revisión topológica.





8. FASE DE CARACTERIZACIÓN

El propósito de esta fase es identificar, localizar y evaluar las causas y consecuencias de la degradación de suelos por salinización en unidades de análisis a nivel regional, con el fin de generar insumos para la fase de análisis y evaluación.

Los productos en este caso son:

- La identificación y delimitación de los ambientes de salinización de suelos (ADSS) como unidad de análisis y evaluación.
- La evaluación de las fuerzas motrices, presiones, impactos y respuestas, según el modelo FPEIR, y su caracterización en los ADSS.
- La organización y sistematización de la información alfanumérica y espacial que permita el análisis y evaluación.

En esta fase se desarrollan las siguientes etapas:

1. Caracterización preliminar.
2. Preparación de trabajos en campo.
3. Trabajo de campo.
4. Postcampo.

8.1. ETAPA DE CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR

En esta etapa se identifican las variables, criterios y métodos y se definen las unidades de análisis para plantear posibles causas y consecuencias de la salinización de los suelos.

8.1.1 IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES Y CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante, haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible. Sus principales funciones son:

- Evaluar condiciones o tendencias.
- Comparar transversalmente sitios o situaciones para evaluar metas y objetivos.
- Proveer información preventiva temprana.
- Anticipar condiciones y tendencias futuras.

Así las cosas, el objetivo de esta actividad es identificar y localizar las variables biofísicas y socioeconómicas que inciden en la degradación del suelo por salinización y los impactos que este proceso genera en otros usos y condiciones socioeconómicas. Con este fin, se debe:

1. Utilizar el modelo FPEIR para determinar y organizar la información asociada a indicadores de fuerzas motrices (causa indirecta), presiones (causa directa), impactos (consecuencias) y respuestas (acciones implementadas frente a la problemática por los diferentes actores sociales e institucionales) (ver Figura 23). En cada caso se utiliza una pregunta orientadora que permite deducir variables, fuentes de información, hipótesis y criterios:

- Para las presiones: ¿Qué actividades o procesos estarán generando la salinización de los suelos?
- Para las fuerzas motrices: ¿Por qué se realizan las actividades que generan las presiones?
- Para los impactos: ¿Qué aspectos socioculturales, económicos y ecológicos se están afectando por la degradación de los suelos por salinización?
- Para las respuestas: ¿Qué actividades ha desarrollado cada actor social e institucional para prevenir, mitigar y restaurar la degradación de suelos por salinización?

Las respuestas a estas preguntas se resuelven por medio de la organización de la información en los siguientes componentes:

- Ecológico/ecosistémico.
- Económico.
- Social.
- Cultural.
- Amenazas socionaturales.
- Político-institucional.

En la Tabla 16 se presentan como ejemplo las variables, las fuentes de información y los criterios e hipótesis para el componente ecológico/ecosistémico.



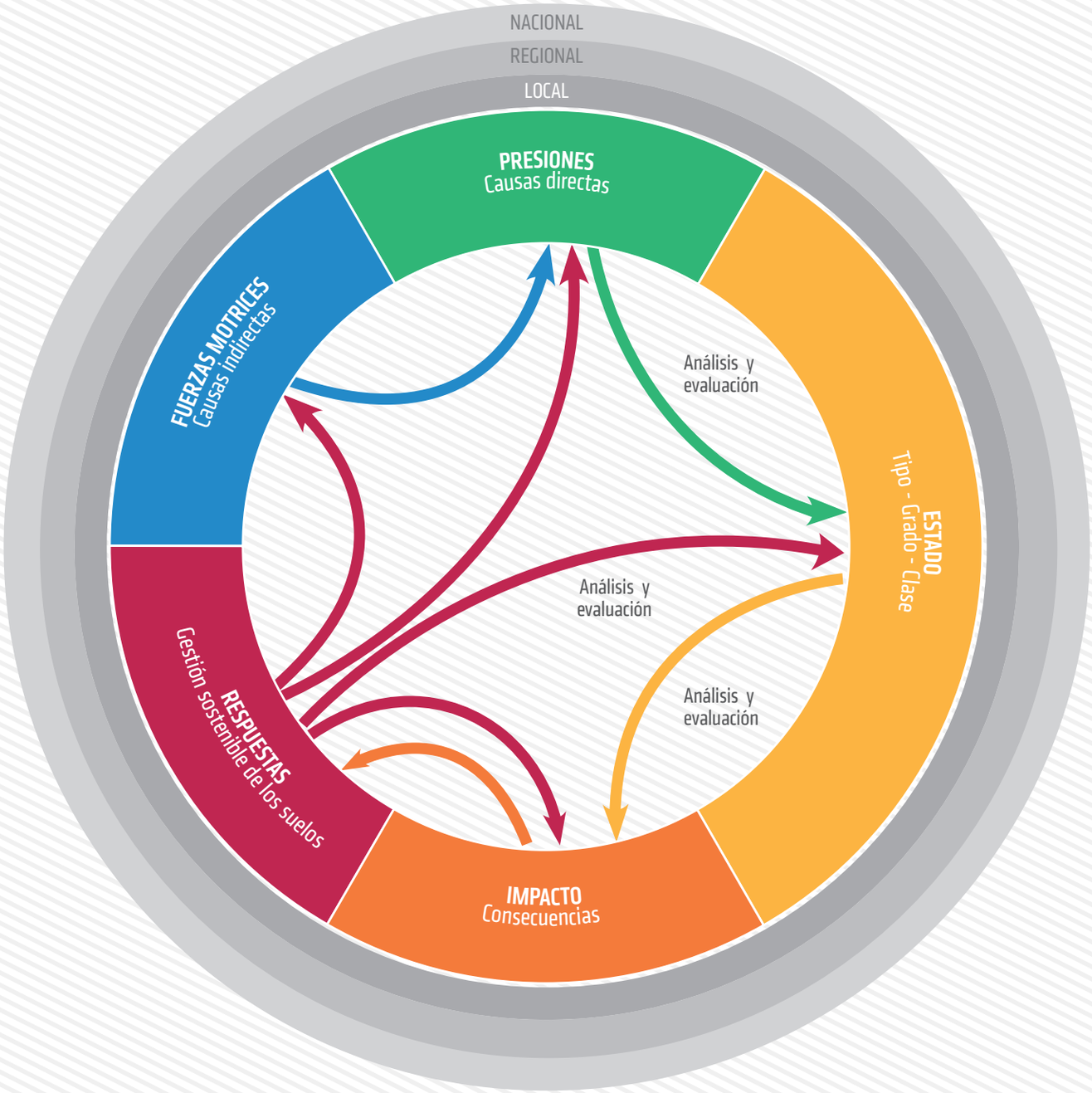


Figura 23. Aplicación del modelo FPEIR para la fase de caracterización

Componente Ecológico /ecosistémico	Variables / fuentes de información	Criterios / hipótesis
Clima	Precipitación y temperatura. Separación de climas secos y húmedos	En los climas secos hay mayores posibilidades de encontrar procesos de salinización por presentarse mayor cantidad de sales en suelos y aguas.
	IDEAM, CAR	En climas húmedos la salinización se presenta en zonas costeras por influencia de aguas marinas, entre otras.
Hidrogeología	Acuíferos, niveles freáticos	En zonas secas los niveles freáticos tienden a ascender por los procesos de evaporación y evapotranspiración. Así, las sales suben a los horizontes superiores del suelo, generando salinización
	Servicio Geológico Colombiano	
Geología	Materiales parentales	Rocas ricas en sales como las yesíferas, calcáreas y carbonatadas son fuentes que generan suelos naturalmente salinos, pero pueden ser fuentes de salinización de suelos y aguas
	Servicio Geológico Colombiano	
Geomorfología	Geoformas planas	La salinización se presenta por lo general en tierras de poca pendiente, terrenos cóncavos y geoformas de valles, basines, terrazas y zonas inundación. Su localización ayuda a identificar los ambientes de salinización
	IDEAM/IGAC	
Suelos	Estudios generales de suelos	Las características de los suelos indican la cantidad de sales contenida y precisa la dominancia de las bases solubles. La degradación por salinización en suelos clases I, II, III y IV es un impacto adverso
	Clasificación taxonómica	
	Clases agrológicas	
	IGAC	
Aguas	Calidad de aguas	La salinización de los suelos no se puede concebir sin las dinámicas y las calidades de las aguas superficiales y subterráneas, las cuales pueden contener altas cantidades de sales. El énfasis se encuentra en la utilización continua de las aguas para riego en amplias extensiones
	IDEAM	
	Ministerio de Salud y Protección Social	
	Empresas públicas municipales	
	Distritos de riego	
	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	
Ecosistemas	Estudio de ecosistemas colombianos	Los biomas xerofíticos, subxerofíticos, costeros y secos son más propensos a los procesos de salinización. La vegetación xerofítica y halófita ayuda a localizar los suelos salinos mediante plantas bioindicadoras
	Biomas	
	IDEAM IAvH	
Tipos y sistemas de uso del suelo	Categorías de uso de la tierra	Las diferentes prácticas agronómicas utilizadas en los sistemas de uso inciden en la degradación de suelos por salinización: en particular, los excesos de riego, la mecanización y la fertilización
	Agrícolas, ganaderos, agroforestales, mineros, y otros	
	IDEAM	
Riesgos	Inundaciones, incendios forestales	Las inundaciones traen materiales ricos en sales y las depositan en las geoformas aluviales
	IDEAM	Los incendios en ecosistemas secos agotan las coberturas vegetales e incrementan la evaporación. Las quemas continuas generan cenizas que pueden aumentar los niveles de sales en los suelos
Cuencas hidrográficas	Pomca	La salinización de los suelos está directamente relacionada con las transferencias de materiales salinos por medio de las aguas: de escorrentía, lluvias, hipodérmicas, subterráneas y en la acumulación en cuerpos de agua superficiales. Su dinámica en la cuenca direcciona los procesos y su posible acumulación en las zonas más bajas
	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible/CAR	

Tabla 16. Criterios e hipótesis, variables y fuentes de información para identificar las causas de la salinización de los suelos en el componente ecológico/ecosistémico

2 Revisar, acopiar y analizar información primaria y secundaria. Esta actividad debe enfocarse en aquellos temas socioeconómicos y de política que puedan relacionarse, directa o indirectamente, con los problemas de degradación de suelos por salinización. Para esta consulta se sugiere:

- Revisión histórica de la construcción de territorio, procesos y modelos de colonización, determinantes culturales en el aprovechamiento y uso de los recursos naturales, cosmovisión, análisis de clases dominantes y poder hegemónico, modos de producción y sistemas de cultivos, relación con mercados y demanda interna. Estos estudios pueden encontrarse en universidades, bibliotecas o internet.

- Dinámicas demográficas a nivel municipal. La fuente de información es el DANE o el municipio.

- Roles y responsabilidades de la institucionalidad estatal y privada: ¿qué entidades trabajan o desarrollan proyectos relacionados con la degradación de suelos? Las fuentes de información son la academia, gobernaciones, alcaldías, corporaciones autónomas regionales o de desarrollo sostenible y los institutos de investigación IDEAM, IGAC, Corpoica, UPRA, IvH, Sinchi y Contralorías.

- Políticas públicas relacionadas, especialmente la *Política para la gestión sostenible del suelo* en Colombia.

- Políticas internacionales e intereses de mercado.

- Indicadores y variables socioeconómicas a nivel municipal (NBI, PIB, Gini, densidad de población, tasas de crecimiento poblacional, ICV, línea de pobreza, acceso a servicios, educación, tipo y calidad de vivienda, estadísticas sobre tenencia de la tierra, conflicto armado). Las fuentes en este caso son el DANE, el IGAC y entidades competentes a nivel nacional o regional.

- Instrumentos de planificación (Plan de Desarrollo, Pomca, POT, EOT, PBOT). Como fuente de información se puede recurrir a alcaldías, gobernaciones y corporaciones autónomas regionales.

- Censo Nacional Agropecuario, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Planes y proyectos de desarrollo del país y regionales. La fuente es el DNP.

- Información cartográfica digital básica y temática para realizar análisis espaciales y generar reportes estadísticos en el SIG.

8.1.2 DEFINICIÓN DE UNIDADES ESPACIALES DE ANÁLISIS

El objetivo de esta actividad es definir y delimitar las unidades espaciales para el análisis de la problemática ambiental de la salinización de los suelos desde dos frentes:

- Lo técnico científico, en el marco de un diagnóstico integral y un enfoque ecosistémico, sobre las causas y consecuencias.

- Las unidades político-administrativas que tienen que ver con la gestión ambiental de esta problemática.

Los propósitos son:

- Entender, a nivel espacial, los procesos biofísicos y socioeconómicos que inciden en la salinización de los suelos.

- Articular acciones interinstitucionales para el monitoreo y seguimiento de la degradación de los suelos, de forma coherente entre los niveles nacional, regional y local.

La fase de zonificación termina con un mapa que delimita los suelos afectados por sales provenientes de diferentes fuentes. Esta línea base de degradación de suelos por salinización es la que se utilizará en adelante para realizar un monitoreo y seguimiento continuo en el tiempo, de manera que se puedan identificar cambios o alteraciones en los suelos mediante indicadores, así como presentar avisos y alertas en el marco del programa de seguimiento y monitoreo de la calidad de los suelos del país.

Sin embargo, para buscar las causas y las consecuencias de la degradación de los suelos por salinización se debe ir más allá de los límites de la zonificación. Muchas sales provienen de las partes altas de las cuencas y llegan por escorrentía a depositarse y ejercer un proceso de salinización de los suelos de los valles. Igualmente, sales contenidas en las aguas de drenaje de un distrito de riego con suelos salinizados se vierten al río cuenca abajo, afectando la calidad de las aguas, la vida íctica y a los usuarios de estos hidrosistemas. Estos dos ejemplos muestran que es necesario crear una unidad geográfica en donde se pueda hacer un análisis integral que, además de entender los procesos de salinización, comprenda las dinámicas y confluencias de lo social, lo económico y lo institucional, dentro del marco del modelo FPEIR. Dicha unidad se denominará ambiente de salinización de suelos (ADSS) y permitirá la caracterización, análisis y evaluación de los procesos de degradación de suelos por salinización en la zona de trabajo.

Los ambientes de salinización de suelos

Un ADSS es considerado como el área de las cuencas o subcuencas donde se identifican las fuentes y se manifiestan las transferencias, acumulaciones y depósitos de sales provenientes de fuentes naturales y antrópicas, directas o indirectas, que correlacionan procesos de degradación de suelos por salinización.

Como se señaló en el ítem 5.1.4, las fuentes de sales naturales son las provenientes de suelos salinos, aguas termominerales, diapiros, rocas con contenidos altos de sales y aguas de escorrentía, de inundación o subterráneas. Por otra parte, las fuentes de sales de origen antrópico son las originadas por los usos inadecuados del suelo, particularmente relacionados con actividades agrícolas, mineras, ganaderas e industriales, entre otras.

De acuerdo con la localización de las fuentes de sales en un ADSS, se configuran dos zonas:

1. Una de fuentes directas, localizada en geoformas de inundación, basines, valles, terrazas.

2. Otra de fuentes indirectas, localizada en zonas aledañas como son las laderas, los ríos, el mar, entre otros.

En un ADSS se desarrollan escenarios de salinización caracterizados por dos procesos:

- Transporte: Se manifiesta a través de los siguientes vectores:

  - Agua: El agua salina es fuente y agente de transporte de sales. Se presenta en las aguas lluvia, cuerpos de agua superficiales, aguas subterráneas, agua de escurrimientos superficiales y subsuperficiales, y en la que se encuentra inmersa en los suelos. Igualmente, se incluyen el agua de riego y las aguas de vertimientos de industrias y centros poblados.

  - Aire: Los aerosoles salinos, provenientes de la erupción de los volcanes, del mar y de las fumarolas de industrias, se transportan por el viento y finalmente se depositan en los suelos.

  - Suelo: Como vector, se manifiesta en los sedimentos con sales producto de la erosión y movimientos en masa.

  - Antrópico: Las actividades humanas transportan y depositan sales en diferentes formas: fertilizantes, desechos urbanos e industriales, materiales de minería, entre otras.

- Depositación: Ocurre principalmente en el interior de los suelos, en donde se exhiben contenidos y dinámicas salinas que en muchos casos generan degradación del suelo.

El análisis de los ADSS se debe realizar en tres niveles de detalle:

- **Nacional:** Se aborda en una escala aproximada de 1:100.000 y tiene como objetivo llamar la atención sobre la ocurrencia de procesos de salinización con una aproximación de análisis de las unidades político-administrativas.

- **Regional:** Es donde se configuran los ADSS. Por tanto, es la unidad de análisis típica o por excelencia, con una aproximación de escala de 1:25.000.

- **Local:** Se especifican las características de los focos de salinización. De este modo se busca particularizar el análisis y la evaluación en relación con la microcuenca tributaria y el escenario de salinización dentro del ADSS al que pertenece. Se construye a una escala más detallada que 1:25.000.

El concepto de cuenca es indispensable en la caracterización, análisis y evaluación, ya que no es posible tener un análisis completo de la salinización de los suelos sin considerar el principal vector: las sales en el agua. Además, las cuencas permiten hacer un seguimiento al movimiento, cantidad y calidad del agua, con relación al contenido de sales.

En los ADSS se identifican y analizan los procesos biofísicos y socioeconómicos (ver Tabla 17). Para identificar y delimitar estos ambientes se deben seguir estos pasos:

1. A partir del mapa de zonificación de la degradación de suelos por salinización, se identifican las unidades con grados severo y muy severo. Estas se denominan "focos de salinización".

2. Con los focos se delimitan los escenarios de la salinización, que corresponden a las zonas aledañas a estos (generalmente, son las áreas planas de las cuencas comprometidas). Para definir sus límites, se puede apoyar en las unidades geomorfológicas de valles, basines, terrazas, vegas, playones, entre otros.

Procesos generales	Vectores	Procesos específicos
Salinización de suelos por acumulación de sales provenientes de fuentes indirectas y directas	Agua, viento, suelo y antrópicos	Indirectas: Por fuentes hidrosalinas provenientes de las laderas, aguas de escorrentía superficial e hipodérmicas, aguas de vertimientos industriales y urbanos, aguas de fuentes hidrosalinas
		Por aerosoles
		Directas: Por aguas de escorrentía en los escenarios de salinización, por inundaciones con aguas marinas (cuña salina) o duras, aguas de inundación por desbordamientos de ríos y cuerpos de agua superficiales
Salinización de suelos por ascenso de sales	Agua y vientos	Por fluctuaciones de niveles freáticos, los vientos, la evaporación y evapotranspiración, las sequías, los excesos de agua de riego en suelos poco profundos o con limitaciones de drenaje, e incidencia de la variabilidad y cambio climático
Salinización de suelos por descenso de sales	Aguas lluvias, de inundación y de riego	Lavado de sales por riegos, inundaciones, riego por inundación, procesos de lixiviación e iluviación, e incidencia de la variabilidad y cambio climático
Salinización de suelos por sinergias	Agua salina, suelos y factores antrópicos	Por sodización (dispersión de arcillas y materia orgánica), formación de nódulos y costras salinas o minerales como la jarosita (desbalance de nutrientes y fertilidad del suelo. Muerte de plantas por inanición o efecto de ósmosis)
Salinización de suelos por actividades sociales/culturales	Antrópicos	Por quemas, mayor evaporación debida a deforestación en ecosistemas secos, usos inadecuados del suelo como la mecanización, riegos y efectos residuales de sales por fertilizantes, encalados y enmiendas, tecnología inadecuada, entre otros

Tabla 17. Procesos generales y específicos de la salinización de los suelos

3 También como apoyo, se puede iluminar la red hídrica principal y la secundaria para identificar las subcuencas y microcuencas a las que pertenecen los focos y escenarios de salinización.

4 Delimitar los ADSS, que generalmente corresponde a la divisoria de aguas de las subcuencas y microcuencas que drenan al escenario de salinización de suelos. Estas se pueden subdividir en alta, media o baja, según su magnitud y la influencia de los escenarios de salinización.

5 Identificar cada ADSS con el nombre del río principal, seguido de su división (en la parte alta, media y baja de la cuenca), si se requiere. También se puede adicionar al nombre de los municipios que son afectados. Ejemplo: río Bogotá, parte baja, Tocaima, Cundinamarca.

En la Figura 24 se observa la representación cartográfica de las partes que componen el ADSS identificado en el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), mientras que la Figura 25 señala los procesos dentro de dicho ambiente.

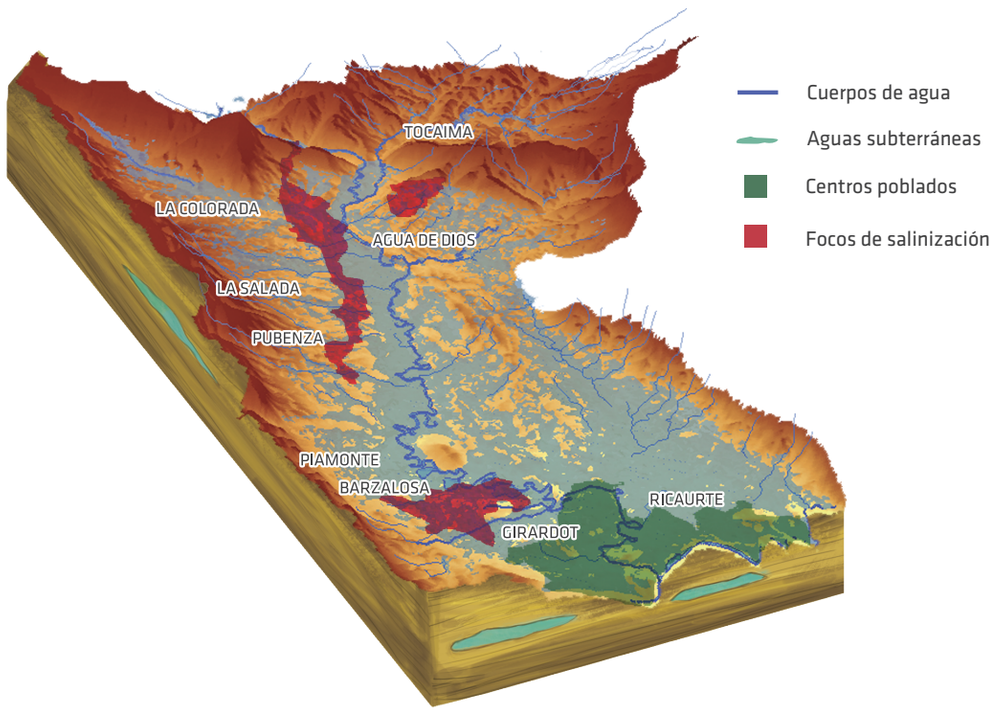


Figura 24. ADSS río Bogotá, parte baja, Tocaima, Cundinamarca, y sus partes

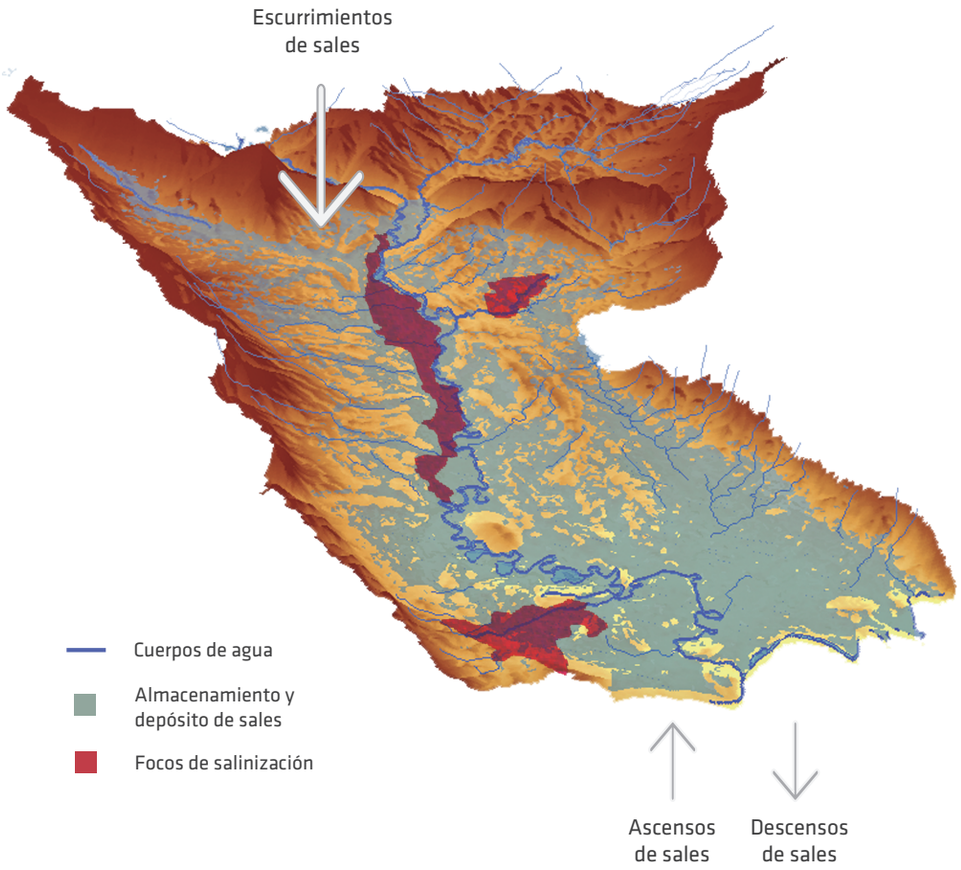


Figura 25. Dinámica de las sales en un ADSS

Unidades de referencia conexas

Es importante relacionar los ADSS con algunas unidades de referencia que permitan su análisis y gestión. Las principales son las político-administrativas y las autoridades ambientales. Un ADSS puede hacer parte de dos o más corregimientos, municipios o departamentos, mientras que desde la jurisdicción ambiental puede ser parte de dos corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible o autoridades ambientales urbanas. Teniendo en cuenta que la información, los actores sociales, económicos e institucionales y la responsabilidad en relación con la gestión del suelo dependen de cada uno de ellos, es necesario primero cruzar el mapa de los ADSS con los mapas político-administrativo y de las jurisdicciones de las autoridades ambientales.

En la gestión ambiental existen otras unidades espaciales de referencia (áreas protegidas y sus diferentes categorías de protección, humedales, páramos, cuencas hidrográficas, entre otras) que los ADSS deben incluir para su gestión. También es necesario articularlas mediante instrumentos normativos como las comisiones conjuntas o consejos de cuencas hidrográficas.

8.1.3 ANÁLISIS Y GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS DE REFERENCIA

La caracterización de los factores determinantes de degradación de suelos por salinización requiere adquirir o elaborar mapas de otras temáticas relacionadas que apoyen la explicación de las causas y consecuencias del proceso. Para esto se debe recurrir a información sobre:

- Clima.
- Geomorfología.
- Suelos.
- Uso y cobertura actual de la tierra.
- Tenencia y distribución espacial de la propiedad.
- División político-administrativa.
- Áreas protegidas.
- Proyectos de desarrollo, megaproyectos, vías.

- La estructura ecológica principal y la zonificación ambiental (se puede encontrar en los POT o en los Pomca, entre otros instrumentos).

Una fuente principal de sales son los cuerpos de agua tanto superficial como subterránea; por lo tanto, es necesario caracterizar tanto la cantidad como la calidad de este recurso para analizar su incidencia en la salinización de los suelos. Las muestras de agua se deben tomar:

- En los ríos:

  - Antes de entrar y después de pasar por un distrito de riego.
  - Antes y después de un embalse.
  - Antes y después de un ambiente de salinización.
  - Antes y después de un proyecto minero.
  - Antes y después del paso por rocas marinas, calcáreas, yesíferas y diapiros.

- En vertimientos de aguas de centros urbanos e industriales.
- En los humedales costeros.

Los parámetros que se deben analizar son:

- pH
- CE
- Cloruros, carbonatos, sulfuros, e iones de Ca, Mg, Na y K.

Los resultados se deben presentar:

- Por cuenca hidrográfica, ubicando en un mapa cada sitio de muestreo sobre la red hídrica. Con colores rojo, amarillo y verde que simbolizan el grado de salinización.
- Clasificando el grado de salinidad y el tipo de sal predominante en las aguas de acuerdo a los umbrales de las normas nacionales e internacionales.

Estos datos o parte de ellos deberán ser integrados en el SIG del proyecto, realizando los ajustes necesarios del sistema de proyección, coordenadas de origen y demás información cartográfica. También se debe revisar y valorar la calidad de la información, así como establecer la validez temporal por medio de los metadatos.

8.2 ETAPA DE PREPARACIÓN DE TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo es indispensable para:

- Validar la información segundaria.
- Levantar información primaria sobre las causas y consecuencias de la degradación de suelos por salinización de forma participativa con los actores sociales e institucionales.
- Crear espacios de socialización de la problemática.
- Escuchar y analizar la percepción de la problemática de los diferentes actores.
- Concertar acciones y actitudes de pertenencia y responsabilidades.

Para llevar a cabo esta etapa se presenta una serie de herramientas y actividades. Cada una tiene un propósito definido y un momento preciso para ser utilizada y, en su conjunto, forman un proceso ordenado de pasos:

1. Identificación de actores relacionados con los procesos de salinización de suelos.
2. Diseño y elaboración de instrumentos para la toma de información en campo.
3. Definición de lugares por visitar.
4. Convocatoria a talleres o conversatorios.

8.2.1 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES RELACIONADOS CON LOS PROCESOS DE SALINIZACIÓN DE SUELOS

Luego de tener definidos los ADSS, las fuentes de sales y los posibles procesos, se deben identificar los actores relevantes con quienes trabajar en la etapa de campo. El objetivo es determinar la viabilidad, pertinencia e importancia del desarrollo de las actividades con cada actor.

Se debe tener una primera lista de actores sociales e institucionales a partir de:

- El mapa de sistemas de usos de la tierra, en donde se identifican los principales usuarios de los suelos (agricultores, ganaderos, entre otros) y la presión sobre la degradación de suelos por salinización.
- Las instituciones estatales y particulares que, de acuerdo a sus funciones, hacen parte de la problemática de la salinización de los suelos.

En la Tabla 18 se relacionan los principales actores con las unidades de análisis y las unidades espaciales de referencia.

8.2.2 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA EN CAMPO

Para obtener un panorama más preciso sobre la problemática, es necesario recopilar información primaria en los sitios donde se presentan fuentes de sales o procesos de salinización de los suelos. En ese sentido, es importante

elaborar instrumentos que permitan recoger los testimonios de habitantes de las áreas afectadas: en particular, un cuestionario que oriente una entrevista o un conversatorio.

El cuestionario debe ser debatido y adaptado por el equipo de trabajo, en términos de la información que puedan dar los diferentes actores acerca de los patrones observados del uso y del manejo de los recursos naturales, con énfasis en el proceso de salinización del suelo.

La entrevista se diseña a partir de un conjunto predeterminado de preguntas o temas que se van a tratar por componente. Esta guía sirve como una lista de verificación y asegura que se obtenga básicamente la misma información a partir de varios actores. Sin embargo, hay flexibilidad, ya que el orden y el funcionamiento real de las preguntas no se determinan por anticipado y el entrevistador tiene la libertad de dar mayor profundidad a determinados temas, según el actor o la situación que se vaya a analizar.

Es común encontrar actores que desconocen el proceso de la salinización y sus posibles repercusiones en la economía de la región, la seguridad alimentaria de la comunidad y la supervivencia humana. Por lo tanto, se requiere una orientación preliminar sobre esta problemática, de acuerdo con el nivel de conocimiento y actividad que desempeña el actor o actores por entrevistar.

En la Figura 26 se presentan los cuestionarios propuestos para las entrevistas. Estos están diseñados para que diferentes actores sociales e institucionales contesten las preguntas relacionadas con los indicadores FPEIR y por componentes. De esta manera se debe facilitar la posterior sistematización de la información.

Los cuestionarios también están orientados a verificar, validar y complementar la información secundaria, los mapas y los criterios utilizados.

Objeto de estudio	Unidad de análisis	Unidad espacial de referencia	Actores relevantes
Nacional	Ambientes de salinización	Macrocuencas, cuencas, departamentos, jurisdicción de autoridades ambientales regionales	Investigadores de centros de investigación
			Docentes de universidades
			Funcionarios de Ministerios
			Funcionarios de gremios
			Funcionarios de instituciones
			Funcionarios de autoridades ambientales regionales
			Funcionarios de la Agencia Nacional de Tierras
Regional	Ambientes de salinización	Macrocuencas, cuencas, mesocuencas, departamentos, jurisdicción de autoridades ambientales regionales	Funcionarios de autoridades ambientales regionales
		Áreas protegidas, jurisdicción de resguardos indígenas, jurisdicción de categorías de protección (PNN, DMI, RFP, entre otras), jurisdicción de municipios	Funcionarios de gobernaciones y secretarías de agricultura y planeación
			Funcionarios de gremios (agropecuarios, industriales)
			Autoridades de resguardos
			Funcionarios de planeación, Oficina de Parques Nacionales Naturales y autoridades ambientales regionales
			Funcionarios de alcaldías y de planeación y coordinadores de las Umatas
			Líderes comunales
			Juntas de acción comunal
			Funcionarios de la Agencia Nacional de Tierras y Restitución de Tierras
			Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)

Tabla 18. Actores principales para captura de información relacionada con los procesos de salinización de suelos

Figura 26. Cuestionarios para los diferentes actores sociales e institucionales sobre los indicadores FPEIR

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

CORPORACIONES
PERSONA ENCARGADA DE LICENCIAS AMBIENTALES

Institución y/o razón social _____

Nombre y apellidos quien responde _____

Correo electrónico contacto _____

Nombre y apellidos quien diligencia _____

Cargo _____

Teléfono contacto _____

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
E. Político institucional	1. ¿En los estudios de impacto ambiental o de alternativas o en los planes de manejo ambiental a los que hace seguimiento la CAR ha visto, leído o tratado el problema de la salinización de los suelos?	
	¿En cuáles proyectos?	
E. Ecosistémico	2. Es difícil saber a simple vista si un suelo tiene problemas de sales. ¿Ha observado usted presencia de costras blancas o negras (sales) sobre los suelos agropecuarios? ¿En qué época del año aparecen las costras? ¿Qué opinan los agricultores sobre esta problemática? ¿Qué hacen ellos para solucionar el problema?	
I. Económico, social y ecológico	3. Si las respuestas anteriores fueron afirmativas, ¿cuáles han sido las consecuencias o impactos de la salinización de los suelos en la parte económica, social, ecológica?	
I. Económico, social y ecológico	4. ¿La CAR ha tenido quejas relacionadas con problemas de suelos salinos? ¿O contaminación por sales en los suelos?	
P. Económica	5. ¿Qué proyectos agrícolas, embalses o proyectos semi-industriales hay en la región, en dónde se encuentran y de qué tamaño son (grandes o medianos)?	
R. Político-institucional	6. Sobre los proyectos de desarrollo mencionados, ¿la CAR tiene los planes de manejo ambiental, informes de cumplimiento ambiental?	
	¿Qué seguimiento hace la CAR a esos proyectos? ¿Calidad de aguas? (sales: cloruros, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, pH, conductividad eléctrica)	

R. Político-institucional	7. Si la pregunta anterior fue negativa, ¿conoce el número del expediente de la licencia ambiental en ANLA/CAR?	
FM. Político-institucional	8. ¿Son considerados los estudios de suelos en los términos de referencia de los estudios que se van a realizar por los proyectos de desarrollo en el PGAR de la CAR? de los suelos? ¿Cuánta plata perdió?	
P. económica	9. ¿Existen proyectos petroleros en su jurisdicción? Si es así, ¿hay conocimiento de presencia de sales en las aguas de explotación?	
I. Económico	10. Si la respuesta anterior es positiva, ¿sabe dónde hacen los vertimientos o disposición de esas aguas? ¿Desde cuándo hacen esos vertimientos? ¿Qué volumen de agua por mes o año extraen o vierten?	
R. Ecológica o político-institucional	11. ¿La CAR ha elaborado algún material educativo relacionado con el manejo y conservación de los suelos? ¿Cuál? ¿Sobre salinización de suelos?	
FM. Cultural-político-institucional	12. ¿Los productores del área de la CAR tienen conciencia ambiental con respecto al manejo y conservación de los suelos? Califíquela en escala de 1 a 10, siendo 10 muy buena conciencia ambiental	
R. Político-institucional o económicainstitucional	13. ¿Qué soluciones se les ha dado a los suelos con problemas con sales por parte de CAR y por parte de los productores?	
	¿Cuáles han sido la eficiencia y la eficacia de esas soluciones?	
R. Político-institucional	14. ¿Cuáles considera que podrían ser las acciones a futuro en cuanto a la gestión ambiental sobre la salinización de los suelos y quiénes serían los responsables de ejecutarlas?	
	¿Cuáles son las normas y términos de referencia para estudios de impacto ambiental?	
R. Económica, social o cultural	15. ¿Cuáles son las alternativas de manejo para reducir el impacto de la actividad antrópica sobre los suelos y tierras?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

CORPORACIONES
PERSONA ENCARGADA DE AGRICULTURA

Institución y/o razón social _____

Nombre y apellidos quien responde _____

Correo electrónico contacto _____

Nombre y apellidos quien diligencia _____

Cargo _____

Teléfono contacto _____

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
E. Ecosistémico	1. ¿Conoce usted suelos afectados por sales en la jurisdicción de la CAR?	
E. Ecosistémico	2. ¿Ha observado presencia de costras blancas o negras en el suelo (sales)? ¿En qué época del año? ¿Los afecta en algo? ¿Qué hacen para solucionar el problema?	
I. Económico, social y ecológico	3. ¿Han tenido quejas relacionadas con problemas de salinización de suelos?	
I. Económico y social	4. Si las respuestas anteriores fueron afirmativas, ¿cuáles han sido las consecuencias directas de la salinización en los suelos en la parte económica, social?	
R. político-institucional	5. ¿Han elaborado algún material educativo relacionado con el manejo y conservación de los suelos? ¿Cuál? ¿En salinización de suelos?	
R. Político-institucional	6. ¿Qué soluciones se les ha dado a los suelos salinizados por parte de CAR y por los productores?	
	¿Cuáles han sido su eficiencia y su eficacia?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

CORPORACIONES
PERSONA ENCARGADA DE AGUAS

Institución y/o razón social	Nombre y apellidos quien responde	Correo electrónico contacto	Nombre y apellidos quien diligencia
Sector	Cargo	Teléfono contacto	Entidad

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM. Cultural	1. ¿Ha escuchado hablar del problema de los suelos salinos?	
E. Ecosistémico	2. Es difícil saber a simple vista si un suelo tiene problemas de sales. ¿Ha observado usted presencia de costras blancas o negras (sales) sobre los suelos agro-pecuarios? ¿En qué época del año aparecen las costras? ¿Qué opinan los agricultores sobre esta problemática? ¿Qué hacen ellos para solucionar el problema?¿En qué época del año aparecen las costras? ¿Qué opinan los agricultores sobre esta problemática? ¿Qué hacen ellos para solucionar el problema?	
P. Económicas	3. Proyectos agropecuarios, hidroeléctricos, de embalses y petroleros pueden ocasionar salinización de suelos y aguas. ¿La CAR tiene análisis de aguas de vertimientos de estos proyectos? ¿Hay análisis de sales: cloruros, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, nitratos, pH, con-ductividad eléctrica?	
E. Ecosistémico, económico	4. ¿La CAR hace seguimiento y monitoreo a la calidad de agua de los ríos de la jurisdicción? ¿Qué otra institución lo puede estar haciendo?	
R. Económica	5. ¿Cuánto deben pagar por agua los distritos de riego? ¿Están pagando?	
I. Sociales, económicos o culturales	6. ¿Han tenido demandas o quejas por contaminación en redes hídricas? ¿Se sabe si hay presencia de sales orgánicas o minerales?	
R. Político-institucional	7. ¿Han elaborado algún material educativo relacionado con el manejo y conservación de los suelos y aguas en cuanto a su calidad? ¿Cuál?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

IDEAM - CORPORACIONES
CALIDAD DE AGUAS

Institución y/o razón social _____ Nombre y apellidos quien responde _____ Correo electrónico contacto _____ Nombre y apellidos quien diligencia _____

Sector _____ Cargo _____ Teléfono contacto _____ Entidad _____

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
E. Ecosistémico	1. ¿Se tienen registros de niveles freáticos en diferentes épocas del año? ¿Se inundan o se encharcan los suelos? ¿En qué mes(es)? ¿En época de lluvias?	
E. Ecosistémico	2. ¿Tienen registro de calidades de aguas tanto de riego como freáticas?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

GOBERNACIONES
PERSONA ENCARGADA DE LA SALUD PÚBLICA

Institución y/o razón social _____ Nombre y apellidos quien responde _____ Correo electrónico contacto _____

Nombre y apellidos quien diligencia _____ Cargo _____ Teléfono contacto _____

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM, cultural	1. ¿Ha escuchado hablar de la problemática de suelos salinos en el departamento?	
R. Político-institucional	2. ¿Hacen ustedes estudios de calidad de aguas? Si es así ¿qué análisis podría servir para hacer seguimiento al contenido de sales en el aguas.	
R. Político-institucional	3.¿Cuánto son los costos de análisis de aguas en el departamento anualmente?.	
I. Social	4. ¿Existen reportes de afectaciones en la salud (humana o animal) por la presencia de sales en el agua?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

GOBERNACIONES
PERSONA ENCARGADA DE AGRICULTURA

Institución y/o razón social _____

Nombre y apellidos quien responde _____

Correo electrónico contacto _____

Cargo _____

Teléfono contacto _____

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM. Cultural	1. ¿Ha escuchado hablar de la problemática de la salinización de suelos?	
E. Ecosistémico	2. ¿Ha observado presencia de sales, costras blancas o negras en el suelo (sales)? ¿En qué época del año? ¿Los afecta en algo a los agricultores? ¿Qué hacen para solucionar el problema?	
P. Económicas	3. ¿Qué proyectos agrícolas hay en la región y en dónde se encuentran?	
	¿Tienen riego?	
I. Económico y social	4. ¿Cuáles han sido las consecuencias directas de la salinización de los suelos en la parte económica, social?	
I. Económicos o político-institucionales	5. ¿Tiene registros y/o estudios sobre la disminución de la productividad agrícola o de desarrollo natural de la vegetación en algún municipio y sus causas?	
R. Económica o político-institucional	6. ¿Tiene alguna información sobre los costos de obras o programas utilizados en la protección de los suelos?	
FM. Cultural	7. ¿Hay conciencia ambiental en los productores con respecto al manejo y conservación de los suelos? Califique en escala de 1 a 10.	
R. Político-institucional	8. ¿Qué estrategias de capacitación, sensibilización o información usaría con los distintos gremios sobre el problema de suelos salinos en su municipio?	
R. Político- institucional	9. ¿Qué soluciones se les ha dado a los suelos salinizados? ¿Cuáles han sido su eficiencia y su eficacia?	
R. Político-institucional	10. Con respecto a la problemática, ¿cuáles considera que podrían ser las acciones a futuro y quiénes serían los responsables de ejecutarlas?	
R. Político-institucional	11. ¿Cuáles son las alternativas de manejo para reducir el impacto de la actividad antrópica sobre la salinización de los suelos?	
FM. Político-institucional	12. ¿Qué elementos culturales e históricos relaciona usted como causantes de la degradación de suelos salinos en el municipio o departamento?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

GOBERNACIONES
PERSONA ENCARGADA DE PLANEACIÓN

Institución y/o razón social _____

Nombre y apellidos quien responde _____

Correo electrónico contacto _____

Nombre y apellidos quien diligencia _____

Cargo _____

Teléfono contacto _____

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM, cultural	1. ¿Ha escuchado hablar de la problemática de los suelos salinos?	
E. Político-institucional	2. ¿La Gobernación ha realizado estudios o investigaciones sobre la degradación de los suelos? ¿Salinización de los suelos?	
FM. Político-institucional	3. ¿Son considerados los estudios de suelos y la conservación de los suelos en las distintas herramientas y programas desarrollados por su entidad (POT, EOT Plan de Desarrollo Departamental)?	
FM. Ecosistémica o amenazas socionaturales	4. ¿Conoce algún estudio o informe o tiene información geográfica sobre los patrones históricos de uso y manejo o de uso de los suelos del departamento?	
FM, político-institucional	5. ¿Tienen aprobados y vigentes los POT de los municipios?, ¿en esos planes tienen considerados los problemas de degradación de suelos? en cuantos municipios no?	
I. Económico	6. ¿Tiene alguna información sobre los costos de obras o programas utilizados en la protección de los suelos?	
	Lavado de suelos con sales, entre otros.	
I. Económico	7. ¿Tiene información sobre los conflictos de uso del suelo en los municipios o en el departamento?	

P. Político-institucionales o económicas	8. ¿Qué condiciones del suelo limitan las actuales actividades productivas propuestas en los POT en su jurisdicción/departamento?(meses)	
I. Económico	9. ¿Han sufrido pérdidas económicas por la mala calidad de los suelos en su jurisdicción?	
R. Político-institucional, social o económica	11. ¿Conoce si en su departamento/jurisdicción se promueve y se hace uso de tecnologías y prácticas de manejo sostenible de tierras y suelos?	
FM. Cultural	12 ¿Hay conciencia ambiental en los productores con respecto al manejo sostenible de los suelos? Califíquela de 1 a 10, siendo 10 muy buena conciencia ambiental de los suelos? ¿Cuánta plata perdió?	
FM. Ecosistémicas	13 ¿Qué elementos culturales e históricos (" hitos") desfavorables identifica usted relacionados con la degradación de los suelos de la región para el desarrollo de las actividades económicas? Especialmente sobre la salinización.	
FM. Ecosistémicas	14. ¿Existen distritos de conservación de suelos reglamentados en su jurisdicción? ¿Cuáles?	
R. Político-institucional	15. ¿Qué acciones específicas de conservación realiza la Gobernación con relación a los suelos?	
FM. Político-institucional	16.¿Son considerados los estudios de suelos como herramientas para el desarrollo de programas y proyectos en su entidad (POT, EOT, Plan de Desarrollo Departamental)?	
R. Político-institucional	17. ¿Qué planes, programas o proyectos de respuesta a los problemas de degradación del suelo por salinización son desarrollados en su departamento/jurisdicción?	
R. Político-institucional	18. ¿Qué porcentaje de inversión pública se da para la conservación y buen manejo del suelo?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

AGRICULTORES

Institución y/o razón social	Nombre y apellidos quien responde	Correo electrónico contacto	Nombre y apellidos quien diligencia
Sector	Cargo	Teléfono contacto	Entidad

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM. Cultural	1. ¿Ha escuchado usted sobre la salinización de suelos?	
E. Ecosistémico	2. ¿Han observado en su finca si hay presencia de caliche o costras blancas o negras sobre el suelo? Cuando se presentan, cuando desaparecen?	
P. Económicas, sociales o culturales	3. ¿En la zona, se presentan problemas con los suelos? Si es así, ¿Cuáles podrían ser las causas?	
P,. Económicas	4. ¿Qué ocasiona las costras o caliches?	
R. Político-institucional o económico	5. ¿Qué han hecho con ese problema?, ¿ha tenido la ayuda de alguien?	
R. Económico	6. ¿Lava usted esos suelos como tratamiento de las sales en exceso?	
P. Económico	7. ¿A dónde van esas aguas (que fuente de agua)?	
I. Económico	8. ¿Ha tenido quejas de los vecinos por aguas con sales?	
E. Ecosistémico o económico	9. En qué época del año tiene más problemas de sales? (meses)	
P. Económico	10. ¿Qué actividades económicas, agropecuarias, mineras etc., conoce que se desarrollan en la zona? Y ¿Cuáles desarrolla usted?	

P. Económico	11. ¿Qué fertilizantes utiliza y para que cultivos?, ¿Cuantas veces lo aplica? ¿Desde cuándo lo aplican?	
I. Económico	12. ¿Ha tenido pérdida en la producción por problemas de los suelos? ¿Cuánta plata perdió?	
I o R. Económico	13. ¿Cuánto le han costado las obras de manejo de sales?	
P. Económico	14. ¿Qué tipo de riego utiliza?	
P. Económico	15. ¿Qué modo o sistema de drenaje o lavado maneja?	

¿Qué fertilizantes utiliza?	Fertilizantes	Kg/ha/año
Cultivo 1		
Cultivo 2		
Cultivo 3		
Cultivo 4		

FM. Social o cultural	16 ¿Sabe usted si las aguas para riego están contaminadas?, ¿si sabe y es así porque las utiliza?	
I. Amenazas socio naturales	17. ¿Es esta una zona inundable?	
FM. Político-institucional	18. ¿Ha recibido asesoría de alguna entidad estatal frente al manejo de los recursos, especialmente el suelo?	
R. Económica	19. ¿Que se ha hecho para manejar las sales?	
R. EWconómica	20. ¿Cuáles considera que podrían ser las acciones a futuro y quiénes serían los responsables de ejecutarlas?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A

Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

DISTRITOS DE RIEGO

Institución y/o razón social

Nombre y apellidos quien responde

Correo electrónico contacto

Nombre y apellidos quien diligencia

Sector

Cargo

Teléfono contacto

Entidad

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM. Cultural	1. ¿Ha escuchado hablar sobre la problemática de la salinización de suelos?	
E. Ecosistémico	2. ¿Ha observado presencia de sales, costras blancas o negras en el suelo? ¿En qué época de año? ¿Los afecta en algo? ¿Qué hacen para solucionar el problema?	
P. Económica	3. ¿Cuántas hectáreas están siendo regadas?	
FM. Ecosistémicas	4. ¿Tienen registros de niveles freáticos en diferentes épocas del año? ¿Se inundan o se encharcan los suelos? ¿En qué mes(es)? ¿En época de lluvias?	
FM. Ecosistémicas o económicas	5. ¿Tienen registro de calidades de aguas tanto de riego como freáticas?	
I. Económico	6.¿Han identificado los impactos ambientales de las actividades que desarrolla su organización en relación con la salinización de los suelos (en el suelo, en el agua de escorrentía o vertimientos)?	

I. Económico	7. ¿Económicamente, cuánto produce el distrito? (cifras de producción)	
I. Económico	8. ¿Cuánto es la producción en toneladas de los diferentes cultivos?	
I. Económico	9. ¿Han notado pérdida en la producción del distrito? (meses)	
I o R. Económica	10. ¿Cuánto han costado las obras de manejo de sales, si es que las han hecho? ¿Han sido eficaces y eficientes?	
P, económico	11. ¿Qué fertilización aplican a los cultivos cantidad TON/AÑO, producto (fertilizantes)?	
P. Económica	12. ¿Qué tipo de agua utilizan para riego (subterráneas, río, embalse)?	
	¿Qué tipo de riego utilizan (aspersión, goteo)?	
FM. Político-institucional	13. ¿Ha recibido asesoría de alguna entidad estatal frente al manejo de los recursos, especialmente el suelo (del problema de la salinización)?	
R. Económicas o político-institucionales	14.¿Cuáles considera que podrían ser las acciones a futuro para el problema de los suelos salinos y quiénes serían los responsables de ejecutarlas?	
P, económico	15. ¿Cuáles son las principales acciones del Plan de Manejo Ambiental de su empresa en relación con el uso y manejo de los suelos del distrito?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

SECTOR MINERO

Institución y/o razón social	Nombre y apellidos quien responde	Correo electrónico contacto	Nombre y apellidos quien diligencia
Sector	Cargo	Teléfono contacto	Entidad

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM. Cultural	1. ¿Sabe qué es la salinización de suelos o ha escuchado sobre esa problemática?	
E. Ecosistémico	2. ¿Ha observado presencia de sales (costras blancas o negras) en el suelo? ¿En qué época de año? ¿Los afecta en algo? ¿Qué hacen para solucionar el problema?	
P. Económica	3. ¿Generan vertimientos sobre corrientes de agua superficial o el suelo?	
P. Económica	4. ¿Tienen registros de calidad de agua de los vertimientos? ¿En qué cuerpo de agua realizan vertimientos?	
P. Económica	5. ¿De dónde sacan el agua para sus actividades?	
I. Económicos	6. ¿Cuál ha sido el impacto de las actividades desarrolladas en relación con la salinización de los suelos?	
R. Económicos	7. ¿Tienen planes de manejo ambiental o estudios de manejo o informes de cumplimiento ambiental?(cifras de producción)	
I. Económico	8. ¿Tienen costos las obras de manejo de sales? ¿Cuánto?	
FM. Político-institucional	9. ¿Ha recibido asesoría de alguna entidad estatal frente al manejo de los recursos, especialmente el suelo?	

IDEAM - CAR - U.D.C.A
Entrevista semiestructurada de aspectos socioeconómicos y culturales relacionados con la degradación de suelos por salinización

UNIVERSIDADES

Institución y/o razón social	Nombre y apellidos quien responde	Correo electrónico contacto	Nombre y apellidos quien diligencia
Sector	Cargo	Teléfono contacto	Entidad

Definición de la salinización de suelos Proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales solubles en el perfil del suelo. Se origina de forma natural y/o antrópica.

Indicador FPEIR/ Componente	Pregunta	Respuesta
FM, cultural	1. ¿Ha escuchado usted sobre el problema de suelos salinos?	
I. Económico	2. ¿Tienen investigaciones o estudios de impacto ambiental relacionados con proyectos agropecuarios o distritos de riego del departamento?	
FM. Económica, social o cultural	3. ¿Conoce algún estudio o tiene información geográfica sobre los patrones históricos de manejo de uso del suelo relacionados con la salinización de los suelos?	
I. Económico	4. ¿Tiene registros o estudios sobre la disminución de la productividad agrícola o desarrollo natural de la vegetación en algún municipio?	
I. Económico	5. ¿Existen investigaciones de cómo afecta el estado del suelo las diversas actividades económicas que se desarrollan en su departamento/jurisdicción?	
FM. Cultural	6. ¿Hay conciencia ambiental en los programas educativos que se dictan en relación con los suelos? Califique de 1 a 10 el nivel de conciencia.	
R. Político-institucional	7. ¿Qué acciones específicas de conservación realiza la universidad con relación a los suelos?	
R. Político-institucional	8. ¿Qué investigaciones y proyectos se han planteado o están en ejecución en respuesta a los problemas de degradación del suelo por salinización en su departamento/jurisdicción?	
R. Político-institucional	9. ¿Qué tanta influencia tienen las investigaciones de la universidad en la corporación autónoma regional y en la Gobernación con relación a la conservación de los suelos dentro del POT?	

8.2.3 DEFINICIÓN DE LUGARES POR VISITAR, RECORRIDOS Y ACTORES RELEVANTES PARA ENTREVISTAR

El equipo de trabajo debe establecer los recorridos de las zonas seleccionadas y los cronogramas para realizar las visitas de campo. Estas deben permitir la socialización de la problemática con los actores claves. También deben dar lugar a las encuestas y observaciones en los sitios elegidos para validar la información secundaria o primaria.

En esta actividad:

1. Se incorporan las vías, los asentamientos humanos y las redes hídricas sobre el mapa de ADSS (preferiblemente sobre el modelo digital de terreno).

2. Se insertan los puntos de interés para comprobar o identificar las fuentes de salinización, deducidos de la información secundaria y de la localización de los actores que se van a encuestar.

3. Se plantean recorridos con el fin de encontrar el más adecuado a las condiciones de tiempo de recorrido, presupuestos y disponibilidad de los actores por encuestar.

A partir de las entrevistas es posible que se identifiquen otras fuentes de salinización que vale la pena visitar para evidenciar su incidencia en el proceso. En estos sitios se debe realizar la georreferenciación, tomar muestras de suelos y agua y describir su estado actual.

8.2.4 DISEÑO Y CONVOCATORIA DE TALLERES

En este punto se debe diseñar un directorio de actores sociales e institucionales y formatos de convocatorias. Enviar estas últimas a tiempo asegura el éxito de la aplicación de los instrumentos de captura de información y ahorra tiempo y gastos.

Se puede programar un taller al cual asistan representantes de la autoridad ambiental y funcionarios relacionados con la temática, así como representantes de las alcaldías, las secretarías de planeación y de agricultura, la Oficina de Gestión del Riesgo, los gremios, la academia y los usuarios de distritos de riego, y coordinadores de Umatas. En estos casos el procedimiento es el siguiente:

1. Se presenta el objetivo del proyecto de degradación por salinización en el marco de la *Política para la gestión sostenible del suelo.*

2. Se da a conocer el propósito del levantamiento de la línea base de la degradación de suelos por salinización en la región. Esto debe dejar un concepto claro sobre este proceso en un enfoque ecosistémico y ambiental.

3. Se presenta un avance de la información secundaria, en donde se muestran las zonas susceptibles a la salinización de los suelos para ubicar a los asistentes en los sitios con posibles problemas.

4. Se explican las posibles causas y consecuencias y se invita a participar en las encuestas.

5. Se reparten los cuestionarios de acuerdo a cada actor (funcionarios de autoridades ambientales regionales, academia, institutos de investigación, y alcaldías), explicando previamente el objetivo de las fases de caracterización, análisis y evaluación para el monitoreo y seguimiento de la problemática.

6. Se asesora a los actores en el ejercicio de respuestas a los cuestionarios.

7. Se recogen los cuestionarios y se les informa a los asistentes qué se va hacer con las respuestas y cuándo se entregarán las conclusiones o síntesis.

Otra modalidad es realizar un conversatorio en las oficinas de la autoridad ambiental regional, previo acuerdo con la directiva de la institución. Esta hace las convocatorias y les da la programación del evento a los actores seleccionados. Una vez en el evento, después de presentar el programa, el objetivo y el propósito de la línea base, se le entregan a cada actor los cuestionarios para que los respondan y los envíen. Sin embargo, la desventaja de esta modalidad es que no se garantiza siempre el envío de los cuestionarios.

El evento se puede convocar conjuntamente con la autoridad ambiental regional, ya que son los directamente encargados de hacer levantamientos de la línea base a escalas más detalladas.

8.3 ETAPA DE TRABAJO DE CAMPO

En esta etapa el propósito es recoger y analizar información de carácter biofísico, social, cultural y económico. Con esta base se podrá caracterizar la presión antrópica sobre los procesos de degradación de suelos por salinización y los impactos que estos están generando o pueden generar en el futuro cercano.



8.3.1 RECORRIDOS DE OBSERVACIONES EN TERRENO PARA VERIFICACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Se propone un primer recorrido de reconocimiento general del ADSS en estudio, con el objeto de identificar en el área actores sociales e institucionales, fuentes de salinización y posibles impactos. Esto permitirá planear la logística de los talleres y las reuniones por realizar dentro del proyecto.

Las otras visitas o puntos de observación son para:

- Comprobar la información secundaria en sitios específicos.
- Tomar muestras de aguas.
- Hacer pruebas ligeras de presencia de sales, como la del ácido clorhídrico (HCl) al 10%.
- Validar los sistemas productivos, eje para la caracterización de las presiones y los impactos.
- Encuestar a un actor específico para ajustar los formatos.

Como materiales de trabajo se deben tener:

- Los mapas temáticos:
- Mapa base cartográfico con asentamientos, vías y curvas de nivel.
- La zonificación de la degradación de suelos por salinización.
- Los ADSS con sus partes.
- Los sistemas de uso con sus calificaciones de presión.
- Los formatos de captura de información primaria, de aguas y de observación en sitios de muestreo.
- Cámara fotográfica.
- Grabadora de voz.
- Binoculares.
- Portátil con la información cartográfica digital.

Como una herramienta de apoyo para la verificación y validación, se pueden utilizar drones. Estos facilitan la observación en detalle de zonas inalcanzables y la filmación de panorámicas de los ADSS para la descripción de las zonas de estudio, sistemas de uso y procesos de salinización.

8.3.2 REUNIONES CON ACTORES REGIONALES: APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS

La información primaria se captura a partir de las encuestas o preguntas orientadoras en los talleres o conversatorios. Ahora bien, a veces no es posible hacer talleres con la asistencia de actores institucionales y comunitarios, bien por la dificultad de cuadrar agendas, por la lejanía del sitio de la reunión o por costos; para esto se recomienda utilizar otros medios como los foros o la utilización de medios virtuales.

8.3.3 TALLERES REGIONALES CON ACTORES CLAVES

Los talleres deben recoger la percepción de las comunidades y actores claves sobre la problemática ambiental de la salinización de los suelos, así como validar la información secundaria. Se debe procurar trabajar de forma participativa para fortalecer los principios de pertenencia y pertinencia, responsabilidad y solidaridad.

Los productos de los talleres deben ser:

- La sensibilización sobre la problemática de la degradación de suelos por salinización.
- La identificación, de forma participativa con los actores sociales e institucionales, de las presiones, las fuerzas motrices, los impactos y las respuestas a nivel de ADSS.
- Reacción y acción de los autores frente a la problemática.

8.4 ETAPA POSTCAMPO

Esta etapa consiste en correlacionar la información secundaria, la primaria colectada en campo y la percepción de los actores sociales e institucionales. La idea es avanzar en la construcción de los indicadores FPIR mediante las variables seleccionadas y elaborar mapas analíticos que permitan el desarrollo de las fases de análisis y evaluación.

8.4.1 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

La matriz del modelo FPEIR se utiliza en esta actividad para organizar la información por indicador y por componente, desde las fases de zonificación y caracterización hasta las de análisis y evaluación:

- Para establecer las presiones o causas directas, la información biofísica y socioeconómica secundaria proviene de la revisión bibliográfica oficial. La primaria, por su parte, se obtiene identificando en las salidas de campo, en los cuestionarios y en los talleres y conversatorios las fuentes de sales naturales y antrópicas, directas e indirectas, y los procesos de salinización a escala regional del ADSS. Esta información se organiza por componente para cada ADSS.



Las variables de impacto provienen de la información oficial secundaria y de la obtenida en los talleres y conversatorios con temas específicos sobre la vocación de los suelos y las áreas de conservación y prioritarias para la conservación. Estas también se organizan por componente para cada ADSS.

8.4.2 CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS

La fase de caracterización termina con la propuesta de variables por componente para los indicadores de presión, fuerzas motrices, impacto y respuesta. Esta selección es la síntesis de los resultados de la revisión bibliográfica y del levantamiento de la información primaria en la búsqueda de las causas, impactos y respuestas de la degradación de suelos por salinización.

El propósito de los indicadores FPEIR es establecer el punto de partida para el monitoreo y seguimiento de los factores asociados a la degradación de suelos por salinización. Para esto es necesario plantear una serie de variables para cada uno de los indicadores que se deben tener en cuenta desde la etapa de planeación. Posteriormente, la fase de análisis permitirá seleccionar los indicadores definitivos para elaborar la línea base de degradación de suelos por salinización.

Cabe anotar que estos indicadores no son herramientas y métodos agotados, sino que sirven como marco para orientar el estudio de las escalas regional y local. De esta manera se procura cubrir la mayor gama de indicadores según información disponible, y a su vez extrapolar las variables seleccionadas para las escalas nacional y regional a los contextos locales en la medida de lo posible.

A continuación, se presenta una serie de variables y, posteriormente, una selección de indicadores según el modelo FPEIR:

1. Indicadores de fuerzas motrices:

- Debilidades de la normatividad en el uso y manejo de los suelos del país.
- Vertimientos no tratados de zonas urbanas sobre suelos.
- Impactos adversos de la minería.
- Tenencia y distribución de la tierra.
- Carencia de educación ambiental en el uso, manejo y conservación de los suelos.
- Fallas de mercado y de política que no consideran los valores ambientales.
- Desconocimiento de la capacidad de acogida de los ecosistemas.

2. Indicadores de presión:

- Sistemas de uso del suelo inadecuado.
- Alteración de la estructura del bosque seco y pérdida del microciclo del agua.
- Fuentes de sales naturales.
- Tipo de riego o drenaje mal diseñado.
- Riego con aguas salinas.

3. Indicadores de impacto:

- Disminución de la permeabilidad y filtración de los suelos.
- Disminución de la fertilidad del suelo.
- Transporte de agroquímicos (sales) a fuentes de agua.
- Pérdida de hábitats para fauna y flora.
- Pérdida de la función del bosque como regulador del clima y de la oferta de agua en el suelo.
- Pérdida de captadores de CO_2 y biodiversidad.

Los impactos de la afectación de suelos salinizados se pueden identificar de forma directa o indirecta a partir de la evaluación sobre los rendimientos en la producción, la alteración en las áreas protegidas y los servicios ambientales de los suelos.

4. Indicadores de respuesta:

- Áreas revegetalizadas en ecosistemas alterados.
- Obras de mitigación, rehabilitación y adaptación de suelos salinizados.
- Normas sobre uso y manejo de suelos.
- Campañas sobre conservación de suelos salinizados.

Indicadores FPEIR/ componente	Fuerzas motrices	Presiones
Ecosistémicos ecológicas/ biofísicas	Procesos geológicos	Climas áridos y semiáridos
	Afloramiento de aguas salinas por condiciones naturales	Geoformas marinas
	Material parental con contenidos altos en sales	Dinámica de las sales en aguas y suelos en zonas costeras (manglares, lagos costeros, deltas, golfos)
	Diapiros	
	Cuña salina	
Económicos	Demanda y oferta de productos agropecuarios y sistemas de comercialización de orden internacional	Uso inadecuado de pesticidas y fertilizantes
		Usos de aguas de riego con altos contenidos de sales solubles y sistemas de drenaje inadecuados
		Vertimientos de aguas residuales de campos agrícolas, asentamientos humanos y mineros
	Modelos de sistemas productivos inadecuados	Usos inadecuados de la ganadería relacionados con los vertimientos de aguas negras
		El represamiento de flujos de caudales por las hidroeléctricas
		Sobreexplotación de acuíferos
	Patrones históricos en el cambio de uso del suelo indebidos	Utilización de vinaza como fertilizante
		Uso inadecuado de aguas saladas asociadas a la extracción de petróleo
		Minería
Sociales	Tenencia de la tierra	Deforestación
	Índices de Gini bajos	NBI bajos
	Niveles de educación bajos en relación con la amenaza de la salinización de los suelos	Índices de calidad de vida bajos
		Sistemas de drenaje e infraestructura hidráulica inadecuada
Amenazas socionaturales	Cambio y variabilidad climática (fenómenos El Niño y La Niña)	Susceptibilidad a incendios por condiciones naturales y antrópicas
		Inundaciones
		Mar de leva, maremotos
Cultural	Prácticas y costumbres agrícolas inconscientes de la aptitud y manejo sostenible del suelo	Técnicas de riego inadecuadas
	Siembra de cultivos de menor esfuerzo	
	Intereses internacionales de mercado	
	Expansión urbana	
	Desconocimiento de la problemática de la salinización de los suelos por parte de las comunidades y productores	
	Falta de interés de los productores con respecto al manejo y conservación de los suelos	
	Ausencia de medidas para mitigación de impactos sobre el suelo	
Político-institucional	Falta de control de las autoridades ambientales	
	Desarticulación de las entidades públicas y privadas	
	Presupuestos institucionales bajos para temas ambientales, especialmente en prevención, manejo y conservación de suelos	
	Política de Revolución Verde 1970	
	Ley de Tierras 1960	

Tabla 19. Selección de variables por componente FPEIR

Estado	Impacto	Respuesta
Origen, grado y clase de salinización	Afectación de áreas protegidas y prioritarias para la conservación por salinización de suelos	Actividades de restauración ecológica
	Afectación en áreas de vocación agrícola, ganadera	Cambio de sistemas de producción o en el manejo de suelos
	Afectación según uso del agua por sector económico (por disminución de calidad de agua)	
	Modificación del régimen y reducción del caudal aguas abajo de la presa	
	Ruptura del equilibrio de agua dulce y salina en manglares por represamiento de agua	
	Incremento en los costos de producción	
	Costos en recuperación de suelos salinos	
	NBI	Implementación de PTAR
		Reforestación
	Índice de calidad de vida	Implementación de planes de manejo ambiental
	Susceptibilidad a inundaciones	
	Desplazamiento de la población	Enmiendas de azufre, gallinaza y lavado de suelos
	Pérdida de valor de las tierras	
	Disminución y pérdida de la producción agropecuaria	Programas institucionales



9. FASE DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

En esta fase:

1. Se confrontan, uno a uno, los resultados del estado de la degradación de suelos por salinización con las variables seleccionadas en la fase de caracterización.

2. Se generan reportes estadísticos y gráficas de distribución espacial. En ellos se analiza qué tan relevantes o significativas son las variables para ser o no indicadores de presión, de impacto y de respuesta de la degradación de suelos por salinización, según comportamientos y relaciones evidenciadas durante el análisis por medio de una valoración semicuantificada.

Los productos de la fase de análisis son:

- Indicadores FPEIR característicos para cada ADSS.

- Estadísticas y cartografía del análisis de los indicadores.

En la fase de análisis es relevante la rigurosa selección de indicadores a partir de la información disponible, dado que en este punto se requieren procesos cartográficos y generación de estadísticas.

En la medida en que se tengan las capas cartográficas *(shapefiles)* de las variables biofísicas y socioeconómicas, es posible comenzar a producir información espacial por cada ADSS confrontando con mapas temáticos. Cada capa cartográfica, al ser cruzada o sobrepuesta con las unidades de análisis de referencia espacial (cuencas hidrográficas, focos y ambientes de salinización, departamentos, corporaciones, municipios, otros), permitirá generar datos estadísticos que serán muy útiles para la significancia de los indicadores y para la fase de evaluación.

Análisis estadísticos de la relación entre salinización y los indicadores

El criterio de la espacialización es una condición que orienta sobre el comportamiento del indicador y su relación con la salinización. En este sentido, proporciona una idea de cómo un indicador es una causa (FP) o una consecuencia (I) y de cómo la respuesta (R) es pertinente a la solución del problema de la degradación de suelos por salinización.

El resultado de análisis nace del cruce o superposición espacial, por medio de herramientas SIG, de la zonificación de línea base y la variable espacial con la cual se construye el indicador. Este último se representa por medio de gráficas de barras generadas desde una hoja de cálculo.

A continuación se presentan unas consideraciones generales para el análisis y la evaluación de las unidades espaciales por sus respectivos componentes biofísicos y socioeconómicos y su relación con los procesos de degradación de suelos por salinización.

9.1 GENERACIÓN DE INDICADORES DE ESTADO ACTUAL DE DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

Con el fin de establecer unos indicadores validados para un plan de monitoreo y seguimiento a la degradación de suelos por salinización, se debe analizar cada indicador en términos de criterio, justificación y significancia.

Los siguientes son dos de los principales indicadores de estado de la degradación del suelo por salinización:

- Índice de severidad: Es la relación entre el área con presencia de grados de salinización severa y muy severa y el área total de la zona de estudio o de cada ADSS. Este índice refleja la máxima degradación por salinización en cada una de las unidades de análisis y de referencia, o sea, de la zona de estudio, de cada ADSS, departamento, corporación, etc.
- Índice de magnitud: Se calcula sumando el área con algún grado de salinización (exceptuando muy ligera) en relación con el área total de la zona de estudio y en cada ADSS. Este indicador refleja la propensión que tiene cada unidad de análisis o de referencia al proceso de salinización de los suelos.

La información se genera del mapa de línea base de degradación de suelos por salinización, producto de la fase de zonificación, y del cruce de este con los mapas de unidades de análisis y de referencia. Para estos análisis se toma la categoría de grado como elemento principal.

Generación de indicadores de presiones y fuerzas motrices de degradación de suelos por salinización

En la Tabla 20 se presenta un análisis de los indicadores de presión.

La matriz de calificación de la significancia de los indicadores se presenta en la Tabla 21.

Generación de indicadores de impactos (consecuencias) de degradación de suelos por salinización

En esta etapa se identifican los impactos socioeconómicos y ambientales que se generan por la degradación de suelos por los procesos de salinización (ver Tabla 22).

Generación de indicadores de respuesta a la degradación de suelos por salinización

Los indicadores de respuesta se analizan desde la gestión sostenible de los suelos en dos enfoques:

1. Uno relacionado con lo que se debe hacer, presentando soluciones en el orden técnico científico a las diferentes causas, fuerzas motrices e impactos.

2. Otro asociado a lo que se ha hecho, es decir, qué acciones han realizado los diferentes actores socioeconómicos e institucionales frente a los problemas de la salinización de los suelos de la región y su articulación con el *Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de los suelos por salinización.*

Factores determinantes de los problemas de la degradación de suelos por salinización

El análisis termina con la construcción de los indicadores FPEIR validados para cada ADSS (ver ejemplos en la Tabla 23).



Componente	Variable	Indicador	Criterio	Ejemplos de interpretación del resultado	Significancia
Ecológico	Clima	% de área (hectáreas) en agresividad climática con salinización de suelos	A mayor sensibilidad del suelo a la salinización por agresividad climática, mayor presión de salinización Los suelos en climas secos son más susceptibles	En el área de estudio, el 80% de los suelos están en climas secos, y el 20%, en húmedos. La salinización se presenta en 90% de suelos de climas secos	El indicador es altamente significativo y se debe hacer seguimiento y monitoreo en suelos de climas secos
		% de área en suelos donde la precipitación ha disminuido	A menor precipitación, mayor evaporación y ascenso de sales a los horizontes superficiales	En el área de estudio el 50% presenta disminución de la precipitación, y la salinización moderada a alta es de 100%	El indicador es altamente significativo y se debe hacer seguimiento y monitoreo en la tendencia de la precipitación en estos suelos
		% de área en donde la precipitación tiene tendencia a disminuir	A menor precipitación, mayor evapotranspiración y ascenso de sales a los horizontes superficiales	En el área de estudio el 20% presenta tendencia a disminuir la precipitación, y la salinización moderada a alta es de 20%	El indicador es poco significativo y se debe hacer seguimiento y monitoreo a la tendencia de la precipitación en el observatorio
Económico	Agricultura	% de área en sistemas productivos intensivos de cultivo (ej. maíz)	Sistemas productivos intensivos generan más salinización de suelos que los extensivos	En el área de estudio el 40% del área tiene esta agricultura, y el 80% de sus suelos presentan salinización	El indicador es medianamente significativo. Se debe hacer seguimiento y monitoreo en los suelos con estos sistemas

Tabla 20. Análisis de los indicadores de presión

Significancia de la presión			Área en % y hectáreas del universo de la variable		
			80 a 100% del área de estudio	40 a 79% del área de estudio	0 a 39% del área de estudio
			Alta	Moderada	Baja
Áreas en % y hectáreas de suelos con salinización dentro de los universos	80 a 100% de suelos salinizados	Alta	**Significancia** Alta/ **Alta**	Alta moderada/ **Alta**	Alta baja/ **Moderada**
	40 a 79% de suelos salinizados	Moderada	Moderada alta/ **Moderada**	**Significancia moderada** **Moderada**	Moderada baja **Baja**
	0 a 39% de suelos salinizados	Baja	Baja alta/ **Moderada**	Baja moderada/ **Baja**	**Significancia baja/** **Baja**

Tabla 21. Matriz de calificación de la significancia de los indicadores de presión e impacto

Componente	Variable	Indicador	Criterio	Ejemplos de interpretación del resultado	Evaluación y recomendación
Ecológico	Áreas protegidas	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas protegidas, prioritarias para la conservación y estructura ecológica principal	A mayor área afectada por la salinización de los suelos, mayor es el impacto adverso	Las áreas protegidas en el área de estudio son del 12%; de este, el 5% están afectadas por salinización, con lo que se pierden servicios ambientales de los suelos de captura de CO_2 y regulación del aire, clima y nutrientes, así como la biodiversidad	Es posible que el origen de las sales en estas áreas sea natural. En este caso vale la pena considerar estas zonas como sitios de referencia para analizar y evaluar los procesos de salinización de suelos con las áreas vecinas que han tenido intervención humana mayor
Económico	Suelos clases II, III y IV	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas de suelos clases II, III y IV	A mayor área afectada por salinización de los suelos, mayor es el impacto adverso	El área de estudio solamente tiene el 15% de suelos clases II, III y IV (los mejores suelos para los desarrollos agropecuarios). De esos suelos, el 10% está degradado por salinización, lo que redunda en pérdida de la producción y productividad, el PIB del departamento, la seguridad alimentaria y medios de vida, entre otros	Establecer medidas de prevención en las áreas que aún no están degradadas, manejar las fuentes de sales donde los suelos ya están degradados, hacer seguimiento a la calidad de aguas de riego, actividades de preparación de tierras para la siembra, control en la aplicación de fertilizantes para evitar sales residuales, registrar las acciones realizadas y evaluar la eficiencia y eficacia de estas medidas
Social	Crecimiento poblacional	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas con tendencias incrementales de la población	A mayor crecimiento poblacional, mayor demanda de tierras para producción de alimentos, mayor degradación de los suelos	En el departamento de Cundinamarca el crecimiento poblacional es de 1,26% (se esperan para el 2020 2.887.000 habitantes). La oferta de suelos para el sector agropecuario es de 9%, de los cuales el 2% ya está afectado por salinización, además de otras degradaciones	Elaborar las medias de prevención, mitigación y restauración necesarias, registrara las actividades realizadas y evaluar la eficiencia y eficacia de las medidas

Tabla 22. Análisis de los indicadores de impacto

Componente	Indicadores de fuerza motriz	Indicadores de presión	Indicadores de estado	Indicadores de impacto	Indicadores de respuesta
Ecológico/ ecosistémico	Variabilidad climática: disminución de la precipitación, fenómeno de El Niño (cada vez más frecuente)	% de área y hectáreas de suelos presionados por el comportamiento de: la precipitación, la temperatura, los fenómenos La Niña y El Niño y cambio climático sobre la salinización de los suelos	Índice de severidad Índice de magnitud	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas protegidas, prioritarias para la conservación y estructura ecológica principal	N.º de estudios, folletos, cursos, programas y proyectos realizados sobre el clima y la salinización de los suelos
	Cambio climático: menor precipitación y mayor evaporación y evapotranspiración y, por tanto, mayor ascenso de las sales				
	Estrés hídrico: mayor demanda de agua, menor oferta de agua dulce e incremento de aguas saladas (mayores vertimientos)				
	Pérdida de las funciones del bosque seco tropical	% de área y hectáreas de suelos presionados por aguas salinas superficiales y subterráneas			N.º de estudios, folletos, cursos programas y proyectos realizados sobre calidad de aguas y la salinidad
	Pérdida de las características intrínsecas de los suelos				
		% de área y hectáreas de suelos presionados por fuentes de sales provenientes de materiales geológicos y diapiros			N.º de estudios, folletos, cursos, programas y proyectos realizados sobre la incidencia de materiales geológicos en la salinización de los suelos
Económicos	Desconocimiento de la problemática de salinización de suelos	% de área y hectáreas de suelos presionados por actividades de sistemas de uso del suelo agrícolas, ganaderos, forestales, mineros y de protección		% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas de suelos clases II, III y IV (suelos aptos para la agricultura, la ganadería, forestal) y en suelos del distrito de riego La Ramada	N.º de estudios, folletos, cursos, programas y proyectos realizados sobre la incidencia de las labores y tecnologías agropecuarias en la salinización de los suelos
	Conflicto entre vocación del suelo, uso actual y uso histórico				
	Modelo de tenencia de la tierra				
	Baja productividad de los suelos				
Sociales	Búsqueda de rentas urbanísticas-turismo	% de área y hectáreas de suelos presionados por densidad de la población y por la deforestación		% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas con tendencias de la población	Difusión de medidas preventivas contra la salinización de los suelos
	Debilidad institucional local				
	Ausencia de regulación y control				
	Ausencia de ordenamiento territorial ambiental y de control				
	Ausencia de ordenamiento territorial minero y de control				
Amenazas socionaturales		% de área y hectáreas de suelos presionados por inundaciones e incendios forestales			

Tabla 23. Ejemplos de indicadores validados

9.2 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DETERMINANTES DE LOS PROBLEMAS DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

Vale la pena anotar que hasta ahora el proceso metodológico para recolectar, analizar y evaluar la información del componente social, cultural y económico ha tenido como fundamento la utilización e integración de los datos provenientes de las fases de zonificación y caracterización. Es así como desde la misma información secundaria y la recolección de información primaria se está observando la relación hombre-naturaleza, contextualizando el componente humano con respecto a la degradación de suelos por salinización.

La etapa final consiste en evaluar todos los componentes e indicadores con el fin de tener una mirada integrada del proceso de degradación de suelos por salinización. Esta evaluación debe presentarse de forma sencilla y clara para facilitar la toma de decisiones adecuadas por parte de los planificadores, y también debe permitir el ingreso de datos al sistema de información de monitoreo y seguimiento a la degradación de los suelos.

La evaluación se puede presentar por medio de gráficos radiales que relacionen los indicadores de presión e impacto por componente. También se debe obtener la cartografía de los ADSS con las estadísticas de las presiones e impactos.

Se deben evaluar todos los indicadores de manera integral, por componente y por indicador. Esto se logra relacionando de forma directa las capas de información de la magnitud y severidad de la salinización con las capas de información de cada uno de los indicadores por componente. Esta evaluación se presenta mediante una representación gráfica comparativa, tanto para los indicadores de presión como para los de impacto.

El procedimiento es el siguiente:

1. Para cada indicador, se seleccionan los niveles de mayor importancia y se superponen, con la utilización de los SIG, a la zonificación de salinización, considerada de acuerdo con sus valores de magnitud y severidad. Por ejemplo, se analiza la distribución de áreas de magnitud y severidad contra los niveles muy alto, alto y moderado del indicador agresividad climática; al final, se obtendrá un porcentaje de área de magnitud y otro de severidad para las zonas de mayor importancia en agresividad climática.

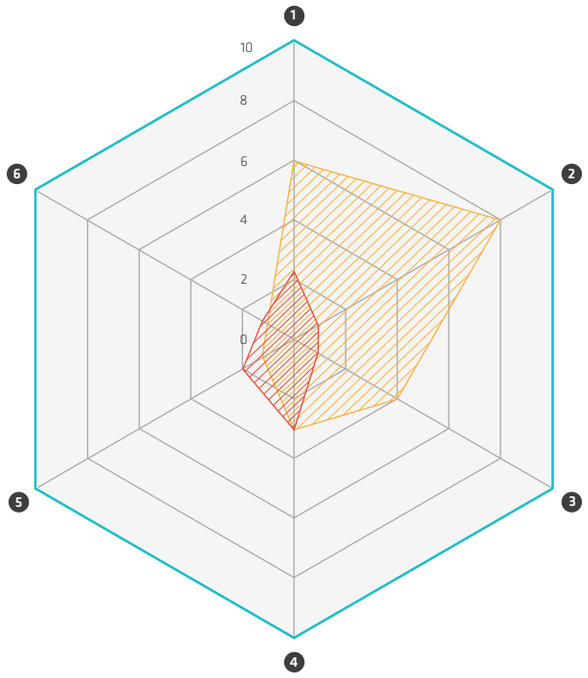
2. Se representan todos los indicadores, utilizando una hoja de cálculo, en una gráfica radial, normalizados en una escala de valores de 1 a 10, donde 1 se asemeja al 10% y 10 al 100%. Esta escala de valores permitirá visualizar la comparación entre todos los indicadores y componentes considerados e interpretar cuáles componentes son los que requieren mayor atención y, dentro de ellos, cuáles indicadores tienen prelación, ya sea para la prevención o para la restauración, rehabilitación o adaptación (ver Figura 27).

A nivel nacional o regional, se sugiere hacer un gráfico para los indicadores de presión y otro de los impactos que permitan la identificación rápida visual de las causas y consecuencias de la salinización en una determinada área.

3. Los gráficos resultantes de presiones (causas) e impactos (consecuencias) por departamento, áreas hidrográficas y área de jurisdicción de las corporaciones autónomas regionales se colocan de forma secuencial. Esto permitirá una comparación a nivel nacional.

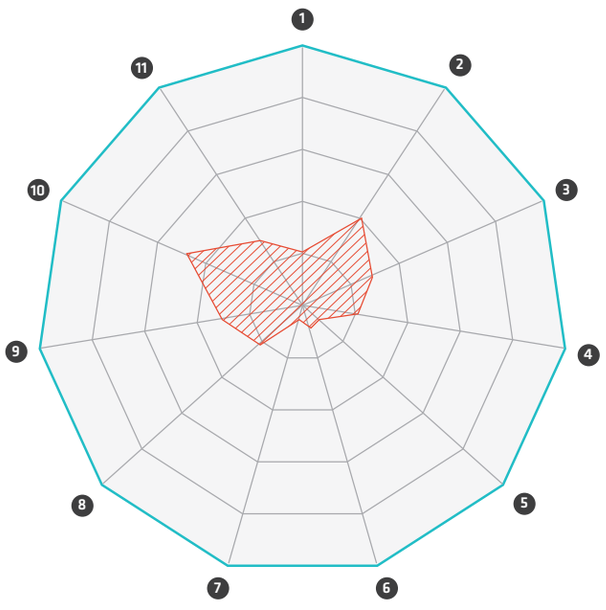
En la Figura 27 se presenta un ejemplo de las salidas gráficas de evaluación integral de las presiones o causas en un área determinada.





Máximo Magnitud Severidad

1 Agresividad del clima
4 Deforestación
2 Usos del suelo
5 Movimientos en masa
3 Crecimiento poblacional
6 Conflictos de uso del suelo



Máximo Magnitud Severidad

1 Ecológico - pérdida de los mejores suelos
2 Ecológico - áreas protegidas
3 Ecológico - áreas prioritarias a conservación
4 Económico - áreas para agricultura
5 Económico - áreas para ganadería
6 Económico - áreas para forestal
7 Económico - embalses amenazados
8 Social - NBI
9 Social - densidad de población
10 Social - territorios étnicos
11 Amenaza - inundaciones

Figura 27. Modelo gráfico de evaluación integral de las presiones o causas de la degradación de suelos por salinización para unidad de análisis



PROTOCOLO | IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA **DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN**

C. METODOLOGÍA A NIVEL LOCAL

10. FASE DE ZONIFICACIÓN
11. FASE DE CARACTERIZACIÓN
12. FASE DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

IDEAM | CAR | U.D.C.A





10. FASE DE ZONIFICACIÓN A NIVEL LOCAL

A nivel local, en esta fase se realiza un análisis más detallado, orientado a:

- Zonas críticas donde suceden actualmente procesos de salinización.
- Zonas de susceptibilidad alta y muy alta, o
- Zonas donde ocurren actividades antrópicas que están incidiendo en los procesos de salinización.

Estas zonas se seleccionan de acuerdo con los resultados de la zonificación regional, los modelos de susceptibilidad o según los intereses de las instituciones regionales, locales o los gremios.

A nivel local, el procedimiento general tiene los mismos lineamientos que se ejecutan a nivel regional, considerando adicionalmente varios aspectos y variables que contribuyan a identificar, delimitar y caracterizar los procesos de salinización de los suelos a mayor nivel de detalle, con el fin de realizar acciones para su prevención, mitigación y rehabilitación.

10.1 ETAPA DE ZONIFICACIÓN PRELIMINAR

La zonificación de la línea base de la degradación de suelos por salinización a nivel local se define en el modelo conceptual de la Figura 28. Si bien su contenido es similar al descrito para el nivel regional, en este caso se presenta mayor precisión en la construcción de las unidades de análisis espacial y en la información de las bases de datos, las cuales se basan en los estudios detallados y semidetallados de suelos y en los sistemas de uso. De este modo es posible establecer las unidades preliminares para realizar el muestreo en campo, cuya metodología se mantiene igual a la expuesta para el nivel nacional o regional.

10.1.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Considerando que la zonificación local está orientada a identificar áreas específicas con procesos de salinización para implementar acciones de gestión que prevengan, mitiguen o recuperen el impacto ocasionado, se requiere:

- Revisar y utilizar información proveniente de publicaciones o estudios elaborados por agremiaciones, centros o grupos de investigación, empresas, universidades, alcaldías y entidades a nivel local.

- Consultar planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo, Pomcas y otros estudios realizados en las zonas definidas.

- En su defecto, generar la información temática y cartográfica de mayor detalle y a escala adecuada.

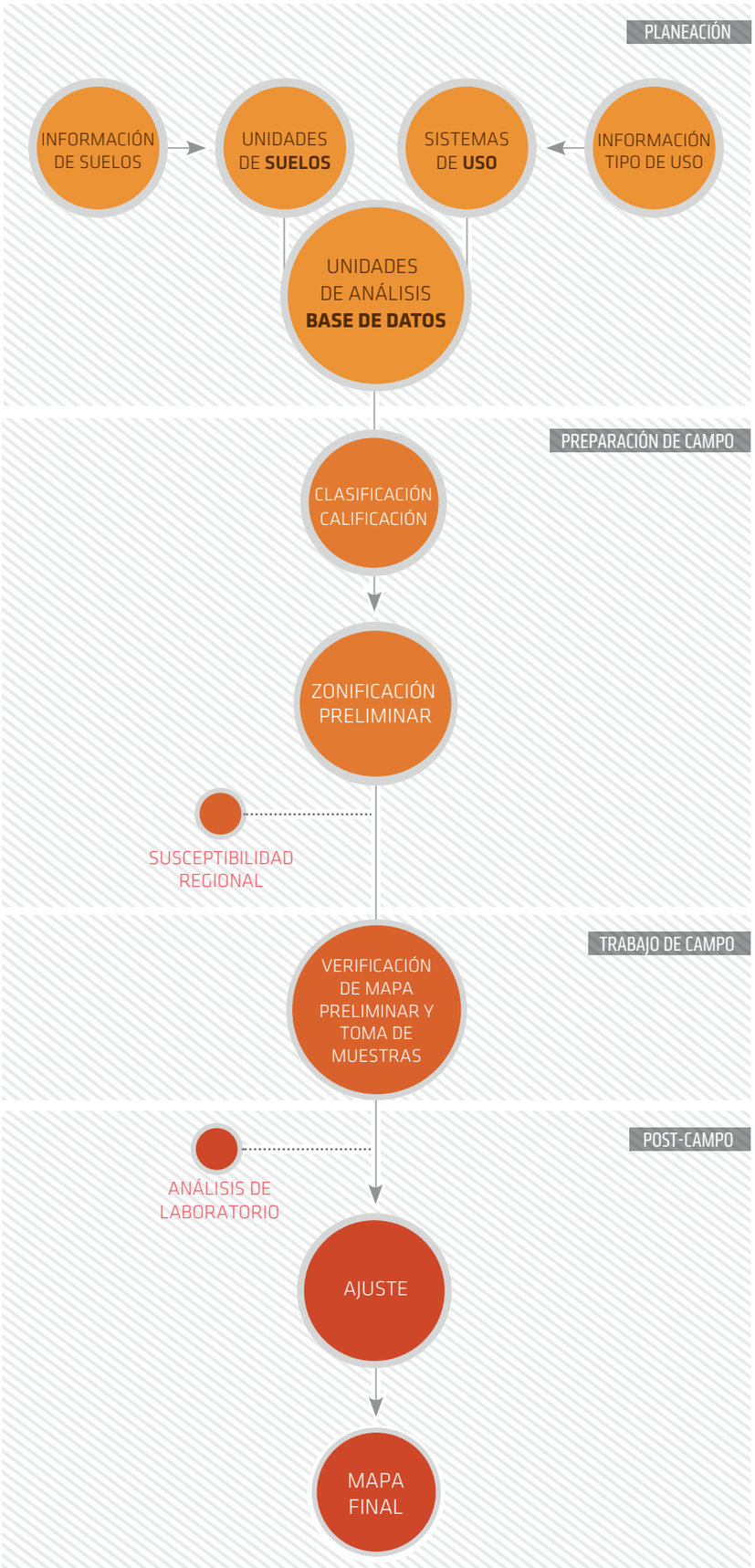


Figura 28. Modelo conceptual de zonificación de la línea base de la degradación por salinización a nivel local

Para escalas locales será necesario generar información primaria que incluya toma de datos de variables de suelos, aguas, clima, sistemas de usos y otras fuentes que ocasionan salinización.

La Tabla 24 identifica algunas de las principales fuentes de la información necesaria para elaborar la zonificación preliminar.

10.1.2 CLASIFICACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN A NIVEL LOCAL

La clasificación y calificación de la degradación de suelos por salinización a nivel local mantiene los mismos criterios utilizados para el nivel regional, es decir, sigue un sistema jerárquico que considera tres categorías: tipo, grado y clase (ver ítem 7.1.2). Además, se adicionan subdivisiones de subclase y la categoría de procesos, que se definen a continuación.

Subclase de salinización

La subclase es una subdivisión de la clase y se refiere a diferentes rangos por encima del límite que define a cada una de las clases o a diferentes relaciones catiónicas que determinan una mayor o menor intensidad del efecto de determinada sal en el suelo. En la Tabla 25 se especifican los rangos de calificación para cada una de las subclases.

Algunos suelos pueden tener combinación de clases de salinización debido a la dominancia de varias sales o formas iónicas; por ejemplo, se tiene

Tema	Información	Fuente
Suelos	Estudios semidetallados a detallados de suelos con bases de datos de características físico-químicas y mapas digitales	IGAC
Uso y Cobertura	Mapas de uso y cobertura detallados y actualizados Información de tipo y sistema de uso Otros usos antrópicos como minería, industria, exploraciones, etc.	IGAC-IDEAM, CAR, Servicio Geológico, Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), Censo Nacional Agropecuario, etc.
Zonificación preliminar de áreas susceptibles a salinización	Se sugiere que se parta de una susceptibilidad regional con mayor escala de detalle y mayor información de factores que determinan la salinización	IDEAM-CAR
Clima	Datos y mapas temporales de precipitación, temperatura y evapotranspiración Información de estaciones climáticas cercanas, complementada con estaciones privadas Análisis de escenarios o tendencias climáticas	IDEAM-Corporaciones regionales Empresas privadas
Geomorfología	Mapas de pendientes o DEM, modelos con datos de 30 m o menos Mapas de geomorfología, con identificación de tipos de relieve, elementos del paisaje o formas del terreno	IGAC-IDEAM SGC
Aguas e hidrogeología	Acuíferos, niveles freáticos Calidad de aguas Distritos de riego y drenaje o zonas de manejo hidráulico, etc.	IDEAM, Federriego, CARs

Tabla 24. Información relevante para la elaboración de la zonificación de la degradación de suelos por salinización a escala local

hipersalino-hipersódico o hipermagnésico-hiposódico. A continuación, se describen las principales subclases.

Clase sódico

- ***Subclase hiposódico:*** Son suelos cuya razón de adsorción de sodio está entre 13 y 25 o cuyo porcentaje de sodio intercambiable está entre 7,5% y 15%.

- ***Subclase hipersódico:*** Son suelos cuya razón de adsorción de sodio está entre 25 y 45 o cuyo porcentaje de sodio intercambiable está entre 15% y 30%.

- ***Subclase ultrasódico:*** Son suelos cuya razón de adsorción de sodio es mayor a 45 o cuyo porcentaje de sodio intercambiable es superior al 30%.

Clase magnésico

- ***Subclase hipomagnésico:*** Son suelos con porcentaje de saturación de magnesio mayor al 30% y la relación Ca/Mg es mayor a 10. En estos casos, aun con exceso de magnesio en la fase de cambio, se encuentra en equilibrio con el calcio.

- ***Subclase hipermagnésico:*** Son suelos con porcentaje de saturación de magnesio mayor al 30% y relación Ca/Mg entre 3 y 10. En estos casos se presenta exceso de magnesio en la fase de cambio, de modo que este último domina sobre el calcio.

- ***Subclase ultramagnésico:*** Son suelos con porcentaje de saturación de magnesio mayor al 40% y relación Ca/Mg menor a 3. En estos casos el exceso de magnesio en la fase de cambio es tal que la proporción de calcio es muy baja.

Variables	Rangos	Subclase
CE (dS/m)	CE≥2<4 dS/m	**Isosalino**
	CE≥4<8 dS/m	**Hiposalino**
	CE≥8<16 dS/m	**Hipersalino**
	CE≥16 dS/m	**Ultrasalino**
RAS o PSI	RAS≥13<25 o PSI≥7,5<15	**Hiposódico**
	RAS≥25<45 o PSI≥15<30	**Hipersódico**
	RAS≥45 o PSI≥30	**Ultrasódico**
PMgI≥30 y relación Ca/Mg	Ca/Mg≥10	**Hipomagnésico**
	Ca/Mg≥3<10	**Hipermagnésico**
	Ca/Mg<3	**Ultramagnésico**
$CaCO_3$eq (porcentaje de carbonato de calcio equivalente)	$CaCO_3$eq≥2%<10% (efervescencia visible al contacto con HCl)	**Hipocalcáreo**
	$CaCO_3$eq≥10%<25% (efervescencia fuertemente visible al contacto con HCl. La reacción forma poca espuma)	**Hipercalcáreo**
	$CaCO_3$eq ≥ 25% (Efervescencia extremadamente fuerte al contacto con HCl. Formación rápida de espuma espesa)	**Ultracalcáreo**
Yeso ($CaSO_4$*$2H_2O$) Porcentaje de yeso	$CaSO_4$*$2H_2O$≥5<15%	**Hipogypsico**
	$CaSO_4$*$2H_2O$≥15<60%	**Hipergypsico**
	$CaSO_4$*$2H_2O$≥60%	**Ultragypsico**
CE, pH y [SO_4]	CE≥4 y pH<4 y [SO_4]>0,05% (jarosita)	**SSA actual**
	pH≥4<6 o S>2% (pirita)	**SSA potencial**

Tabla 25. Calificación de las subclases de salinidad

Clase calcáreo

- ***Subclase hipocalcáreo:*** Son suelos con concentraciones de $CaCO_3$ entre el 2% y el 10%. Cuando a estos suelos se les adiciona HCl al 10%, la reacción es apenas perceptible al oído.

- ***Subclase hipercalcáreo:*** Son suelos con concentraciones de $CaCO_3$ entre el 10% y el 25%. Cuando a estos suelos se les adiciona HCl al 10%, la reacción es moderada y se ve una aparición paulatina de espuma o efervescencia y una leve liberación de CO_2.

- ***Subclase ultrarcalcáreo:*** Son suelos con concentraciones de $CaCO_3$ mayores al 25%. Cuando a estos suelos se les adiciona HCl al 10%, la reacción es violenta, caracterizada por una rápida formación de espuma y liberación de CO_2.

Clase sulfatado ácido

- ***Subclase sulfatado ácido potencial:*** Son suelos con concentraciones de azufre elemental mayores a 2% y pH inferior a 3,5. Normalmente, se encuentran en áreas pantanosas con aguas ricas en azufre que han sido drenadas; como consecuencia de esto, se ha oxidado el azufre, causando una acidificación del medio y un aumento de la salinidad asociada al anión sulfato.

- ***Subclase sulfatado ácido actual:*** Son suelos con concentraciones de aniones sulfato (SO_{-4}) mayores a 0,05% y pH inferior a 6. Normalmente, se encuentran en áreas pantanosas con aguas ricas en azufre que están en su estado original.

Procesos de salinización

La categoría de proceso se refiere a aquellos eventos o actividades que producen aumento de sales en el suelo. Estos pueden ser de origen natural o antrópico: en el primer caso, intervienen en general procesos pedogenéticos como la sodificación o la calcificación, mientras que los segundos se refieren principalmente a los aumentos de sales debido al riego o fertilización, entre otros. La calificación de esta categoría se presenta en la Tabla 26.

10.1.3 ELABORACIÓN DEL MAPA PRELIMINAR DE ZONIFICACIÓN

En esta actividad se interpreta la información relacionada con los estudios de suelos y el sistema de uso, así como la información adicional disponible de distritos de riego, minería, entre otros. Asimismo, se hace el procesamiento cartográfico para definir geográficamente las unidades de análisis para su posterior clasificación y calificación.

10.1.3.1 Definición y generación de unidades espaciales de análisis

Las unidades de análisis espacial en el nivel local deberán tener delineaciones más detalladas y precisas, que correspondan al estado actual de salinización. Para esto es necesario apoyarse en:

- Las delineaciones de las unidades de suelos detalladas.

- Los límites de cada uno de los sistemas de uso de la tierra.

- Otros apoyos cartográficos provenientes de distritos y sistemas de riego, áreas de influencia de la minería, de las zonas urbanas, entre otras.

Estas unidades espaciales se determinan bajo los mismos procesos que se utilizan en el nivel regional (la integración de información cartográfica de suelos, uso de la tierra y susceptibilidad a salinización), considerando información más detallada.

Análisis de la información de suelos

Las unidades cartográficas de suelos sirven de delineaciones para la zonificación. Estas se toman de estudios detallados o semidetallados de suelos, elaborados por el IGAC u otras organizaciones, según la disponibilidad. Sin embargo, este tipo de estudios son pocos en el país y de reducido cubrimiento, y en algunos casos no están actualizados. Por lo tanto, es necesario realizar levantamientos de información primaria, generando nuevas delineaciones de suelos.

Las unidades de suelos detalladas presentan un tipo de suelo dominante, cuya información se debe organizar en una base de datos con todas sus características morfológicas, físicas y químicas: en particular, datos de conductividad eléctrica (CE), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), la razón de adsorción de sodio (RAS), entre otras, así como los contenidos de cada una de las bases intercambiables. Con estos datos se puede realizar la calificación preliminar de grado, clase y subclase, según las tablas definidas en los ítems 7.1.2 y 10.1.2.

Análisis de la información de uso actual de la tierra

En el nivel local se requiere disponer de información detallada y actualizada sobre los diferentes usos de la tierra, donde se especifiquen los sistemas de uso y sus características en cuanto a intensidad, mecanización y prácticas agronómicas (como riego, fertilización, uso de agroquímicos, entre otras). También conviene tener información histórica de las unidades de producción que indique por cuánto tiempo se han utilizado, con qué frecuencia se riega y se fertiliza, etc.

Criterio		Condiciones y Actividades
Condiciones naturales y actividades antrópicas	Naturales	Sequía-disminución de la precipitación
		Aportes de inundaciones o fuentes marinas
		Aportes de acuíferos salinos (termales, etc.)
		Incremento de la temperatura
		Aportes de acuíferos salinos (termales, etc.)
		Fuentes hidrosalinas
		Evapotranspiración
		Fluctuación de nivel freático
		Acumulaciones de carbonatos y sulfatos
		Incremento de bases
	Antrópicos	Aplicación excesiva de fertilizantes
		Adición excesiva de enmiendas
		Afloramiento de horizontes o capas salinas por erosión acelerada
		Vertimiento de residuos industriales
		Vertimiento de residuos mineros
		Uso de aguas contaminadas
		Riego con aguas salinas
		Riego y contacto con capas subsuperficiales salinas
		Aumento de evaporación superficial por tala
		Oxidación de minerales por drenaje
		Formación de sulfatos por drenaje
		Degradación por erosión
		Sistemas de riego
		Distritos de riego
		Quemas de coberturas del suelo
		Sellamiento de entrada de aguas por construcción de diques
		Efectos de rebosamiento de represas

Tabla 26. Calificación de los procesos de salinización

El mapa de uso a esta escala debe incluir información de mayor nivel de detalle, como son los sistemas de uso o sistemas de producción (sistemas de uso del suelo -SUS-), complementada con información de minería, exploraciones petroleras, industria, etc. Es importante delimitar los distritos de riego u otros sistemas de irrigación, así como delinear las parcelas según la antigüedad de su uso. Se sugiere apoyarse en la utilización de sensores remotos de alta resolución como fotografías actuales e imágenes de satélite; incluso herramientas como Google Earth son muy útiles.

Los SUS involucran tipos de usos que requieren ciertas y determinadas particularidades socioeconómicas y tecnológicas, las cuales se desarrollan en un entorno que posee unos atributos biofísicos (geoformas y clima). Desde esa premisa, en primera instancia, se consideran los siguientes supuestos o hipótesis:

1. El relieve y las geoformas como determinantes de los SUS y la susceptibilidad de los suelos a degradarse por salinización:

- La geografía y la cultura propias de ciertas regiones del país indican que el patrón productivo intensivo en mecanización, fertilización y riego localizado en laderas, colinas y lomerío, adoptado generalmente por los pequeños productores de bajos recursos implica:

    - Menor afectación por razones naturales.

    - Menor afectación por razones antrópicas, pues las tecnologías utilizadas son escasamente invasivas del suelo y por ende generan impactos inferiores.

- La geografía y la cultura en ciertas regiones del país indican que el patrón productivo intensivo en mecanización, fertilización y riego localizado en terrazas o valles (zonas planas u onduladas) adoptado generalmente por los grandes productores de altos recursos implica:

    - Mayor afectación por razones naturales.

    - Mayor afectación por razones antrópicas, pues las tecnologías utilizadas son fuertemente invasivas del suelo y por ende generan fuertes impactos.

2. El clima como determinante de los SUS y la susceptibilidad de los suelos a degradarse por salinización:

- La interacción de factores atmosféricos, biofísicos y geográficos en ciertas regiones del país conduce a que el patrón productivo en climas húmedos genere menor susceptibilidad a la salinización de los suelos, ya que las sales se lavan con las aguas lluvias (dilución y arrastre).

- La interacción de factores atmosféricos, biofísicos y geográficos en ciertas regiones del país conduce a que el patrón productivo en climas secos genere mayor susceptibilidad a la salinización de los suelos porque se presenta concentración de sales.

En segunda instancia, se considera un conjunto de variables estructurantes (típicas, proxy y sombra) que cumplen diferentes propósitos en la calificación de los SUS:

- Típicas: Identifican los aspectos propios u objeto de estudio del tipo de uso (por ejemplo, agricultura tradicional, etc.).

- Proxy: Sirven de indicadores de las aplicaciones de conocimientos y habilidades en las variables objeto de estudio (por ejemplo, agricultura tradicional de tecnología baja, media o alta, entre otras).

- Sombra: Proveen las señales hipotéticas acerca del entorno que rodea la complementariedad existente entre las variables objeto de estudio y las proxy (agricultura tradicional de tecnología baja, media o alta en ladera, colina y lomerío, terraza o valle seco o húmedo, entre otras).

Recapitulando, las particularidades de los SUS permitirán:

1. Identificar fuentes de salinización.

2. Cualificar los SUS y jerarquizar o calificar la susceptibilidad a la salinización del suelo bajo diferentes criterios (ver Tabla 27).

Análisis de la información de susceptibilidad

En este nivel conviene realizar un modelamiento de la susceptibilidad de los suelos a la salinización tomando los principales factores que ocasionan este proceso de degradación (clima, relieve, hidrogeología y uso o actividades antrópicas, entre otros). El proceso metodológico en este caso sigue los mismos componentes y pasos del ejercicio regional, procurando que la información tanto espacial como alfanumérica sea de mayor detalle. Así, el modelo de susceptibilidad debe incluir información local sobre:

- Clima: condiciones climáticas y análisis espaciales de variaciones climáticas.

- Geomorfología: tipos de relieve, forma del terreno, elementos del paisaje.

- Aguas: hidrogeología, niveles freáticos y calidad de aguas.

- Sistemas de uso y sus prácticas de manejo.

Posteriormente, se seleccionan las variables o atributos por componentes que presentan relación con la salinización, teniendo en cuenta que la escala de detalle y el nivel de la información permiten realizar una clasificación por categorías de forma cualitativa. Esta etapa incluye una revisión del estado del arte a escala regional, en la cual se analiza la información geográfica digital y análoga existente mediante un sistema de información geográfico que permite el almacenamiento, la estructuración y el modelamiento.

En suma, los usos del suelo posibilitan relacionar los actores sociales y las presiones, fuerzas motrices e impactos del proceso de salinización.

SUS	CRITERIO
AGRÍCOLA	**MECANIZACIÓN AGRÍCOLA (DISCOS) →** El volteamiento del suelo hace que el horizonte subsuperficial quede en la superficie, exponiendo las sales en las zonas de enraizamiento y cultivos. En consecuencia, en caso de utilización de riego, al reposar estas sales en la superficie se desplazarán en solución hacia las pendientes inferiores, lo cual conduce a una mayor susceptibilidad de los suelos a la degradación por salinización (SSDS).
	FERTILIZACIÓN AGRÍCOLA (QUÍMICA)[1] → Los nutrientes aplicados en exceso mediante fertilizantes químicos no son totalmente asimilados por las plantas, lo que ocasiona que algunas de las sales permanezcan residuales en el suelo. Esto conduce a una mayor SSDS.
	REGADÍO AGRÍCOLA (AGUAS DURAS[2], CONTAMINADAS Y PESADAS[3]) → Influye a través de la utilización de aguas superficiales o subterráneas con sales de origen natural o, en su defecto, aguas alteradas por la acción antrópica. Al regar se pueden solubilizar las sales que están concentradas en los horizontes superiores, dispersándose hacia zonas de enraizamiento o hacia acuíferos, lo cual conduce a una mayor SSDS.
PECUARIO	**GANADERÍA BOVINA INTENSIVA →** En la ganadería bovina intensiva, la mayor concentración de sales se origina por el manejo inadecuado de la urea proveniente de la orina animal. Se ocasiona por el vertimiento de aguas residuales (lavado, etc.) de la estabulación, así como por la fertilización de las pasturas que generan efectos residuales de sales, lo cual conduce a una mayor SSDS. **GANADERÍA BOVINA EXTENSIVA →** Aunque existe concentración en menor medida, la ganadería bovina extensiva presenta cierta difusión de las sales, lo cual conduce a una menor SSDS.
BOSQUES, VEGETACIÓN Y PLANTACIONES	**BOSQUES Y VEGETACIÓN NATURAL →** Existe un equilibrio entre las sales presentes en los suelos y las especies vegetales, lo cual genera una menor SSDS. **BOSQUES Y VEGETACIÓN NATURAL INTERVENIDA →** No existe equilibrio entre las sales presentes en los suelos y las especies vegetales, lo cual conduce a una mayor SSDS. **PLANTACIÓN FORESTAL PROTECTORA Y PRODUCTORA →** Al tratarse de cultivos a largo plazo, no existe equilibrio entre las sales presentes en los suelos y las especies vegetales, lo cual conduce a una mayor SSDS.
MINERÍA	**SUBTERRÁNEA →** Concentración de aguas freáticas con sales durante la fase de explotación y en las zonas de acopio del material extraído. Estas producen lixiviados que por escorrentías generan menor SSDS. **CIELO ABIERTO →** Al quedar todo el material expuesto (carbón, calizas, etc.) a la intemperización, las sales se diluyen y, por escorrentía, van hacia las partes bajas de las cuencas, así como hacia las zonas de acopio del material extraído, lo cual genera mayor SSDS.
URBANO	**CENTROS URBANOS →** Dependiendo de su tamaño (pequeño, mediano o grande), la concentración de sales y vertimientos de aguas contaminadas, pesadas o duras en las cuencas de los ríos generará menor o mayor SSDS.

Tabla 27. Criterios para clasificar los sistemas de uso.
Fuente: Construcción de este trabajo

1 Los principales fertilizantes químicos utilizados suelen ser: nitrato de amonio, sulfato de amonio, urea, nitrato de calcio, nitrato de sodio, fosfato monoamónico, fosfato diamónico, cloruro de potasio, nitrato de potasio, sulfato de potasio y sulfato de magnesio. Se clasifican como macronutrientes (mayores-nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y manganeso) y micronutrientes (menores-hierro, boro, zinc, cloro, molibdeno, cobre y níquel).

2 También denominadas calcáreas, se caracterizan por contener altos niveles de minerales: en particular, sales de magnesio y calcio.

3 Aguas con altas concentraciones de plomo, mercurio y cobre. Igualmente, designa aquellas aguas en las que reposan contaminantes domésticos, industriales, agrícolas, pecuarios y mineros.



La susceptibilidad se expresa como la probabilidad de ocurrencia de acumulación de sales, en términos cualitativos, basada en la integración de las variables que indican o se relacionan con este proceso.

El análisis se inicia asignando un peso en valor porcentual a las diferentes variables[4] que componen cada factor. De este modo se obtiene un mapa por cada factor evaluado, cuya integración da como resultado el mapa final de susceptibilidad local a la salinización de los suelos a nivel detallado. En este nivel se debe considerar la temporalidad de los impactos de la salinización, así como la incidencia de los principales factores (en particular, la variabilidad climática, las previsiones de los efectos del cambio climático y la intensidad de las prácticas en los sistemas de uso de la tierra). Todos estos aspectos harán parte de la leyenda del mapa final (ver Tabla 28).

La Figura 29 presenta un modelo conceptual para el análisis local de la susceptibilidad a salinización. Sin embargo, es posible modificarlo de acuerdo con las condiciones de la zona de estudio y según la disponibilidad de información, especialmente porque los procesos específicos de salinización pueden variar geográficamente.

El mapa de susceptibilidad de los suelos a la salinización es de gran utilidad ya que reduce el universo de unidades de análisis y centra la atención sobre las categorías más altas, donde se deben concentrar los trabajos de campo y la atención para su manejo sostenible.



4 Para cada variable se realiza una relación con los posibles procesos de salinización, ya sea por condiciones naturales o por actividades antrópicas.

Clase	Descripción clase	Temporalidad	Descripción temporalidad	Factor	Descripción del factor y lineamientos de gestión
Muy Baja (1)	Suelos que por su naturaleza, o condiciones de geomorfología, de clima o de cobertura actual, tienen la menor probabilidad de presentar degradación por salinización	No aplica	No aplica		Mantener en coberturas naturales o de conservación
Baja (2)	Suelos que, por sus condiciones de geomorfología, de clima húmedo, de cobertura y ocupación actual, tienen poca probabilidad de presentar degradación por salinización	Largo plazo	Impacto en términos de décadas	Sistemas de uso	Podría ser afectado por cambios de usos. Se sugieren prácticas de manejo integrales sostenibles
Media (3)	Suelos que, por sus condiciones biofísicas de geomorfología, de clima subhúmedo, de cobertura, de ocupación y uso actual, presentan una probabilidad moderada de degradación por salinización	Largo plazo	Impacto en términos de décadas	Clima	Cambios en el largo plazo por escenarios de cambio climático que indican aumento de evapotranspiración. Se sugiere realizar planes de manejo, conservación, mitigación y adaptación para minimizar impactos climáticos en salinización
				Sistemas de uso	El clima o el uso actual no afectan la aparición de salinización, pero se sugieren prácticas preventivas de manejo sostenible que impidan dicho proceso
				Clima	Largo plazo por escenarios de cambio climático que indican tendencias a aumento de clima seco. Se sugieren planes de adaptación y mitigación para evitar salinización
		Mediano plazo	Impacto quinquenal	Clima	Mediano plazo por variabilidad climática, con tendencia a ocurrencia de años secos (El Niño). Se sugieren planes de manejo y mitigación para conservar la humedad en los suelos y el monitoreo de condiciones climáticas
				Sistemas de uso	Mediano plazo por usos agropecuarios semiintensivos. Se sugieren prácticas de manejo conservacionistas y sostenibles para evitar salinización, especialmente en manejo de fertilización, enmiendas, riego y quemas
		Corto plazo	Impacto semestral, anual y bianual	Sistemas de uso	Corto plazo por usos agrícolas intensivos de alto impacto en salinización. Se sugieren prácticas de manejo y sistemas productivos que no aceleren procesos de salinización
Alta (4)	Suelos que, por sus condiciones biofísicas de geomorfología con topografía plana a ligeramente inclinada, de climas subhúmedos a secos, de coberturas, de ocupación y uso actual, pueden presentar grados moderados a severos de salinidad y gran probabilidad de degradación por salinización	Mediano	Impacto quinquenal	Clima	Mediano plazo por variabilidad climática en años de La Niña (húmedos) por inundación y en años secos (El Niño) por aumento de sequía. Se requieren planes de adaptación y mitigación de efectos climáticos y el uso de plantas tolerantes a condiciones de salinidad altas y a climas secos, además de prácticas de rehabilitación
				Sistemas de uso	Mediano plazo por usos agropecuarios semiintensivos. Se requiere realizar planes de manejo de fertilización, encalado y riego acordes con las necesidades de cultivo y con base en análisis de laboratorio
		Corto plazo	Impacto semestral, anual y bianual	Sistemas de uso	Corto plazo por usos agropecuarios intensivos. Se requieren prácticas de uso sostenibles de recuperación y manejo y se sugiere adecuar usos a estas condiciones (uso de especies tolerantes a sales)
Muy alta (5)	Suelos que, por sus condiciones naturales de geomorfología con topografía plana, climas secos a áridos, materiales parentales salinos y uso, presentan la mayor probabilidad a degradación por salinización	Corto plazo	Impacto actual	Clima y sistemas de uso	Corto plazo por usos intensivos agropecuarios y acelerado por condiciones climáticas con tendencias a disminución de precipitación y a aumento de evapotranspiración. Se requieren acciones inmediatas de gestión integral sostenible y adecuar usos a estas condiciones (uso de especies tolerantes a sales o sistemas extractivos de sales)

Tabla 28. Modelo de leyenda de mapa de susceptibilidad de los suelos a la salinización a nivel local

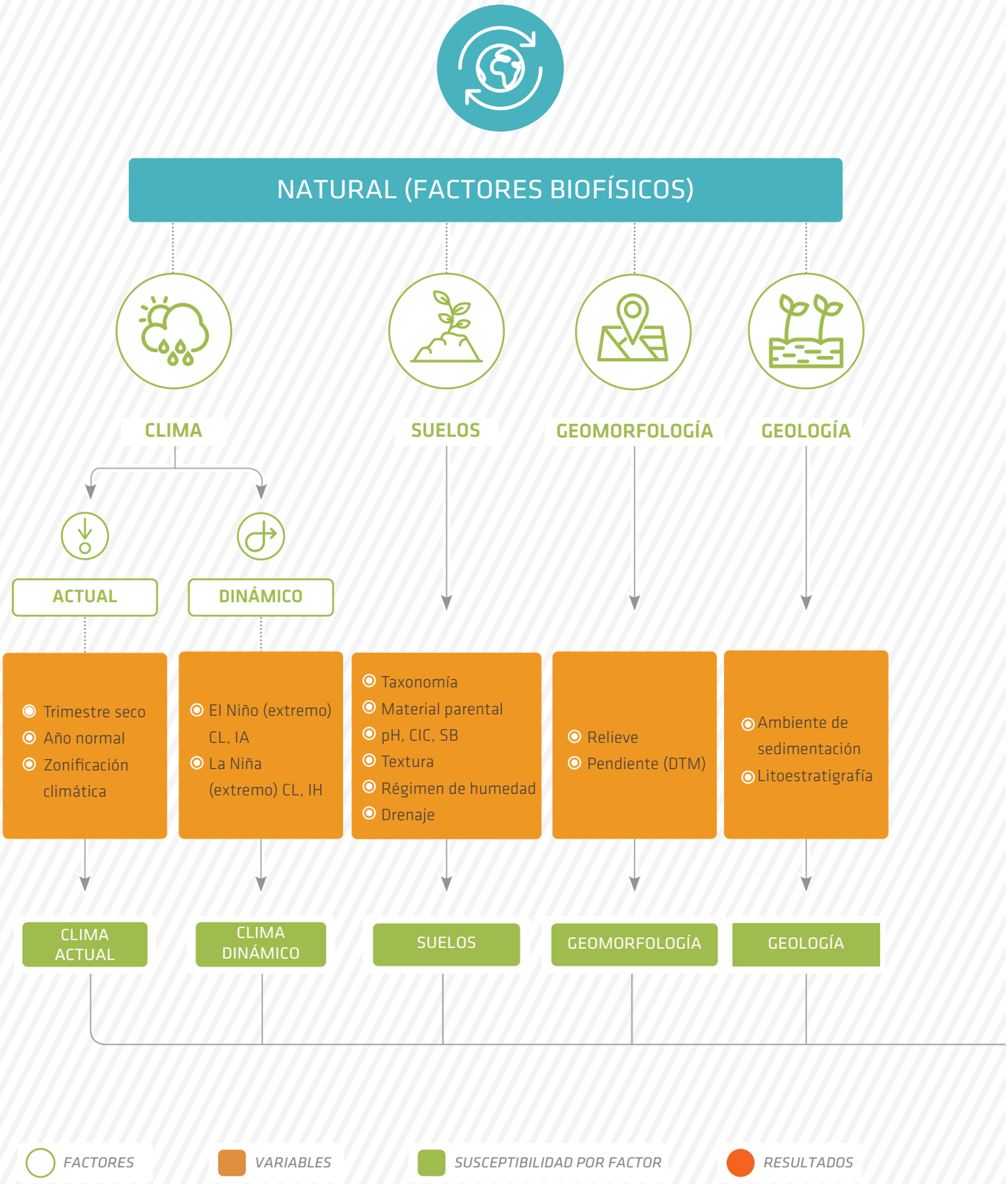
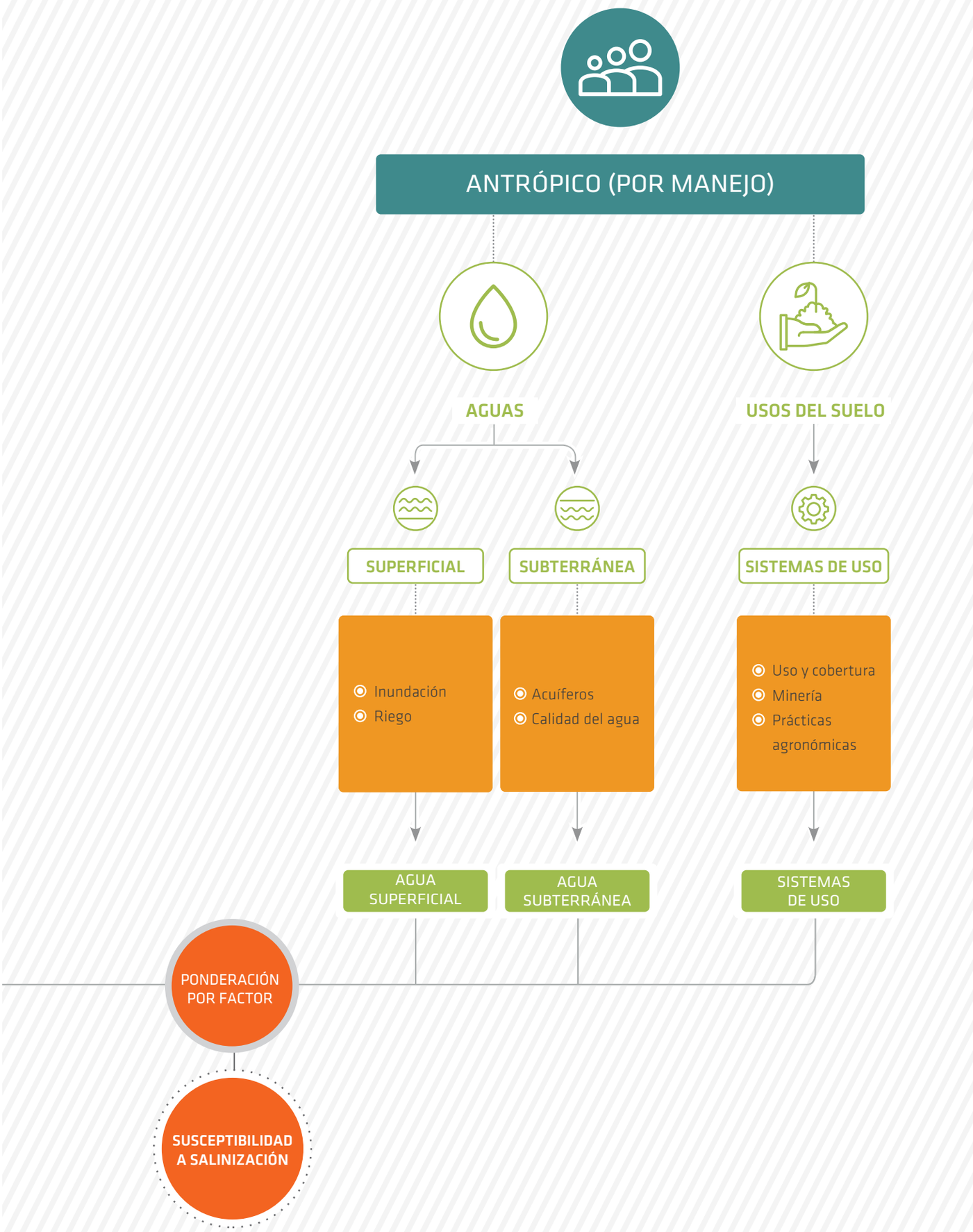


Figura 29. Modelo conceptual propuesto para determinar zonas susceptibles a salinización a escalas local y regional


ANTRÓPICO (POR MANEJO)
AGUAS
USOS DEL SUELO
SUPERFICIAL
SUBTERRÁNEA
SISTEMAS DE USO
Inundación
Riego
Acuíferos
Calidad del agua
Uso y cobertura
Minería
Prácticas agronómicas
AGUA SUPERFICIAL
AGUA SUBTERRÁNEA
SISTEMAS DE USO
PONDERACIÓN POR FACTOR
SUSCEPTIBILIDAD A SALINIZACIÓN

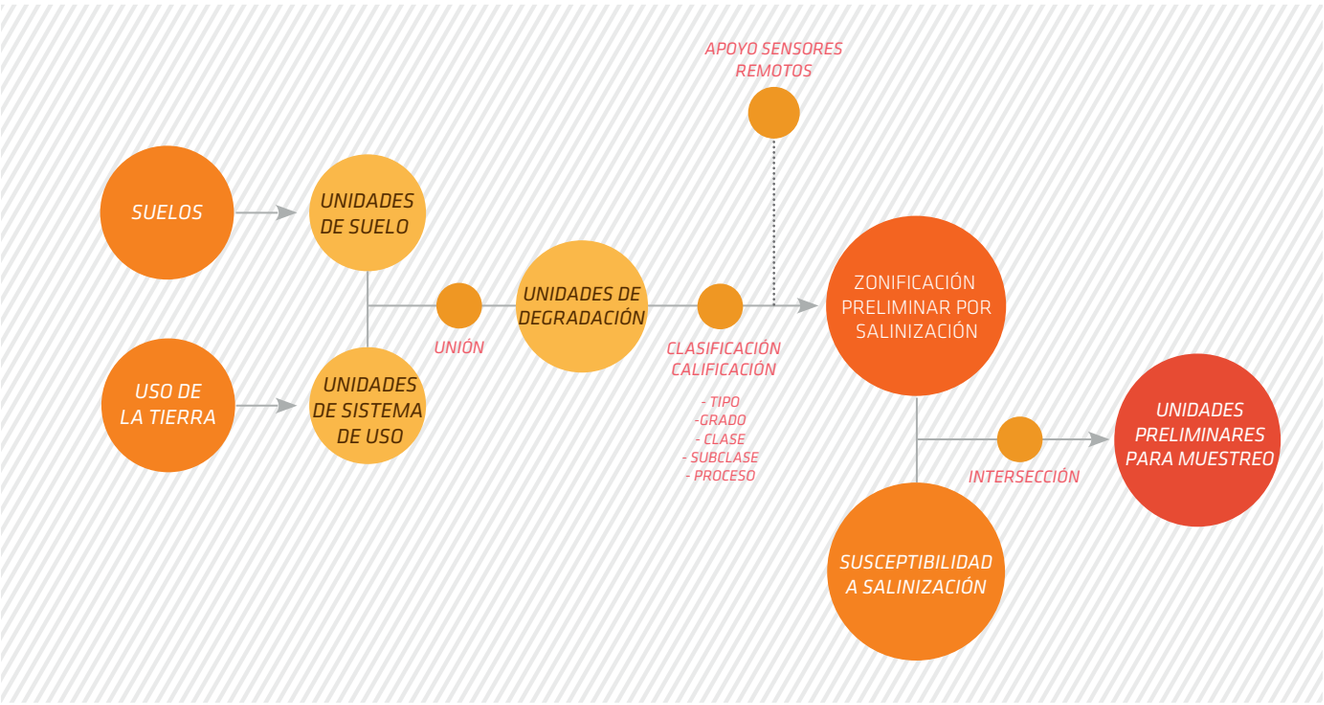


Figura 30. Modelo cartográfico para la elaboración de la zonificación preliminar de la línea base de degradación de suelos por salinización

10.1.3.2 Calificación de las unidades espaciales

Las unidades espaciales de degradación de suelos por salinización se califican confrontando la base de datos de información de los suelos y de los sistemas de uso con el sistema de clasificación (tipo, grado, clase, subclase y procesos) descrito en los ítems 7.1.2 y 10.1.2.

- Para calificar el tipo, el grado y la clase se usan los mismos criterios y el mismo procedimiento metodológico del nivel regional. En este caso el proceso es más sencillo ya que las unidades de suelos son homogéneas y solo domina un perfil modal. La ponderación de los datos se realiza solamente sobre los horizontes, e incluso se podrán tomar decisiones sobre la calificación del horizonte con mayor limitación.

- Para calificar la subclase y los procesos se toma la información de la base de datos de suelos y sistemas de uso y se realizan los cálculos de saturación de las diferentes bases o de la concentración de las sales o iones. Para este caso, también contribuyen las observaciones y evidencias de campo como las costras salinas o sódicas, las reacciones de HCl, entre otras.

10.1.3.3 Elaboración del mapa de zonificación preliminar de degradación de suelos por salinización a nivel local

La zonificación preliminar a nivel local se realiza de forma similar a la del nivel regional:

1. Se preparan las coberturas digitales y se sistematiza la información con el objeto de organizar el conjunto de elementos, procesos y subproductos que involucran la zonificación preliminar.

2. Se realizan procesos de análisis espaciales de SIG[5] hasta lograr un mapa integrado con unidades homogéneas de degradación de suelos por salinización, a nivel detallado (ver Figura 30).

Las especificaciones relacionadas con el área mínima cartografiable y demás aspectos cartográficos se encuentran en la metodología del nivel regional.

10.2 ETAPA DE PREPARACIÓN DE TRABAJO DE CAMPO

Como se indicó en el nivel regional, el propósito de esta etapa es definir las actividades que permitan, mediante trabajo de campo, validar y caracterizar las unidades espaciales de degradación de suelos por salinización. Para tal propósito, se deben determinar:

5 Estos procesos consideran actividades de reclasificación, disolución y generalización.

- Los recorridos para la validación.
- El sistema de muestreo.
- Los materiales e instrumentos requeridos.
- Los sitios más representativos para la toma de muestras de suelos, aguas y vegetación.
- Los actores (contactos) locales que brinden el apoyo necesario para el desarrollo de esta actividad.
- Entrevistas y charlas con instituciones, gremios y productores que puedan apoyar este proceso mediante suministro de información y acompañamiento.

10.2.1 DISEÑO DEL FORMULARIO DE CAPTURA DE INFORMACIÓN DE CAMPO

Así como en el nivel regional, se debe diseñar o rediseñar un formulario que se adapte a las condiciones de la zona de estudio. La información mínima que debe contener es la misma relacionada en el ítem 7.2.1. Sin embargo, para el nivel local es preciso tener en cuenta la colección de bioindicadores en campo, esto es, la identificación de especies vegetales propias de ambientes con alta concentración de sales.

El numeral 11 del formulario, denominado Componente biótico (Figura 31), hace referencia a las morfoespecies vegetales recolectadas que son posibles bioindicadores de procesos de degradación de suelos por salinización. En este se anotarán las siguientes características:

- El nombre común o específico.
- La abundancia.
- El hábito de crecimiento.
- Las fotografías (se hace referencia al número para relacionarlas con el punto de muestreo).

10.2.2 DISEÑO DEL MUESTREO DE CAMPO Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para diseñar el muestreo se parte de la zonificación preliminar con el fin de hacer un análisis de representatividad que identifique las zonas posibles para el muestreo; luego se definen los transectos. Al ubicar las zonas de muestreo se deben observar las vías de acceso y la heterogeneidad de las unidades, y dentro de estas se localizan los sitios de muestreo.

Debido a que se trata de un muestreo de mayor intensidad por las exigencias de la escala a nivel local, se recomienda utilizar la red rígida o flexible. En este caso las observaciones se hacen teniendo en cuenta un distanciamiento preestablecido, que depende de la escala de detalle que se va a utilizar. Usando una cuadrícula, se plasman los sitios de muestreo, que corresponden a las intersecciones de las líneas, tal como aparece en la Figura 32.



11. COMPONENTE BIÓTICO

Morfoespecie N° Código _____

Nombre común o nombre específico _____

Abundancia

- ☐ Muy frecuente
- ☐ Poco frecuente
- ☐ Frecuente
- ☐ Ausente

Hábito de crecimiento

- ☐ Trepador
- ☐ Hierba
- ☐ Arbusto
- ☐ Rastrera

Fotografías _____

_____

Morfoespecie N° Código _____

Nombre común o nombre específico _____

Abundancia

- ☐ Muy frecuente
- ☐ Poco frecuente
- ☐ Frecuente
- ☐ Ausente

Hábito de crecimiento

- ☐ Trepador
- ☐ Hierba
- ☐ Arbusto
- ☐ Rastrera

Fotografías _____

_____

Morfoespecie N° Código _____

Nombre común o nombre específico _____

Abundancia

- ☐ Muy frecuente
- ☐ Poco frecuente
- ☐ Frecuente
- ☐ Ausente

Hábito de crecimiento

- ☐ Trepador
- ☐ Hierba
- ☐ Arbusto
- ☐ Rastrera

Fotografías _____

_____

OBSERVACIONES

Morfoespecie N° _____

_____

Morfoespecie N° _____

_____

Morfoespecie N° _____

_____

12. RELACIÓN MUESTRAS:

12.1. Suelos para laboratorio: _____

12.2. Densidades no.: _____ Método (terrón o cilindro): _____

10.3. Agua no.: _____

10.4. Otras: _____

Figura 31. Complemento de información del componente biótico para el formulario de captura de información en campo

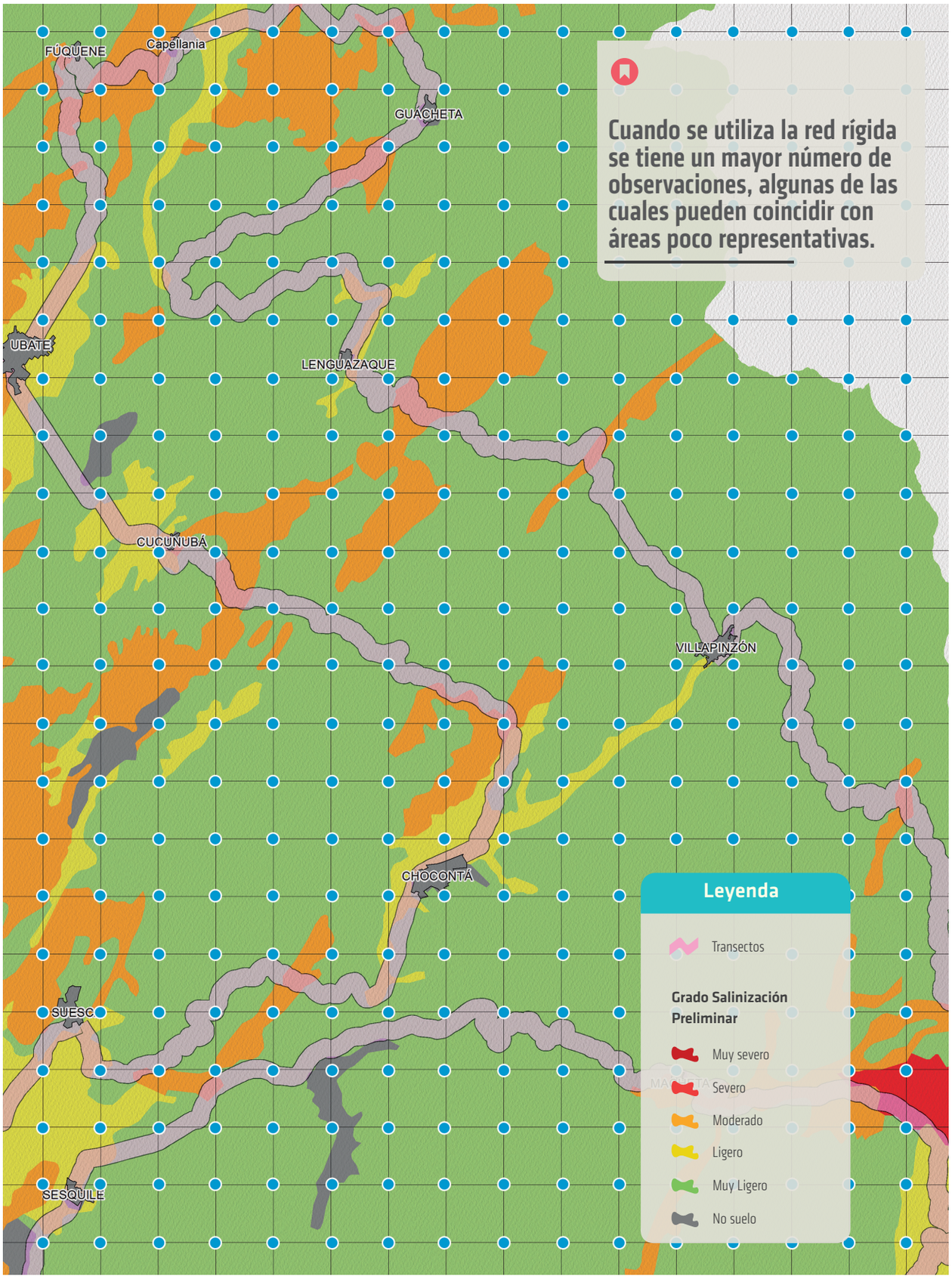


Figura 32. Diseño de muestreo de red rígida, sugerido para el muestreo del nivel local

Se recomienda red rígida siempre que los accesos, las vías y la autorización de los propietarios para ingresar a los predios lo posibiliten. De lo contrario, se sugiere el uso de una red flexible, que se basa en el mismo criterio, pero permite una reubicación de los puntos dependiendo de las condiciones mencionadas.

Una vez se han ubicado los puntos en la intersección de las líneas que conforman la red dibujada sobre la cartografía que se llevará a campo, como aparece en la Figura 32, y con el apoyo de aplicaciones informáticas que permiten visualizar la zona de estudio y también un GPS, se realiza una programación precampo donde se estiman los recorridos y el área de interés por cubrir.

Con relación al muestreo de material vegetal, en esta etapa es importante contar con información secundaria sobre:

1. Las condiciones biofísicas que se presentan en la zona de estudio, ya que tienen una gran influencia en los procesos de salinización.

2. Las especies vegetales que se pueden encontrar en la zona y que sean consideradas posibles indicadoras de procesos de degradación de suelos por salinización.

El uso de esta información es útil para agudizar la observación en campo con el fin de asociar la presencia de especies bioindicadoras al contenido de sales del suelo. De esta forma es posible precisar el muestreo.

10.2.3 PREPARACIÓN DE INSTRUMENTOS Y MATERIALES PARA EL TRABAJO DE CAMPO

Los materiales cartográficos y los instrumentos de posicionamiento utilizados en el trabajo de campo deben ser preparados con anterioridad. En primer lugar, se debe disponer de las coberturas digitales detalladas para que sean visualizadas y manipuladas directamente en campo a partir de diferentes receptores como GPS, tableta o celular. La información se captura directamente en campo, de manera que el usuario pueda ubicarse geográficamente en terreno y tomar datos de forma automatizada. Se debe garantizar que a cada elemento se le asigne un código único de identificación, un único par de coordenadas XY (no reasignables a otro elemento) y los demás atributos de información que se capturan por observación o medición objetiva, propios del muestreo que se esté realizando.

Definidas las zonas de muestreo, en el nivel local es importante adelantar la gestión con las instituciones del sector público y privado, lo mismo que con gremios y productores que se relacionan con esta problemática, para obtener de ellos el acompañamiento, el apoyo para el trabajo de campo y los permisos para el ingreso a los predios donde se realizarán los muestreos. Con este fin se debe elaborar y enviar los oficios correspondientes, y realizar llamadas para confirmar la colaboración y coordinar el cronograma y las actividades de los trabajos de campo.

Los principales materiales y equipos requeridos para el trabajo de campo se encuentran enunciados en el ítem 7.2.3.

10.3 ETAPA DE TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo tiene como objetivo:

- Validar las delineaciones de la zonificación preliminar.

- Verificar las calificaciones de cada una de las unidades en cuanto a tipo, grado, clase, subclase y procesos de salinización.

- Colectar información de campo que contribuya a caracterizar cada una de las unidades espaciales de degradación, por medio de la aplicación de los formularios de captura, el muestreo de suelos, aguas y vegetación, y las entrevistas con los asistentes técnicos, productores y campesinos.

Para el logro de estos propósitos se deben realizar las siguientes actividades:

- Recorridos de campo.

- Levantamiento de información y datos.

- Toma de muestras para ser enviadas al laboratorio.

El procedimiento es similar al descrito en el nivel regional (ver ítem 7.3):

1. Realizar un recorrido general o de reconocimiento de la zona para comprobar directamente en el terreno las delineaciones, la suficiencia y la accesibilidad de vías, así como los posibles rasgos indicadores que se observaron a través de las herramientas empleadas como Google Earth, imágenes de satélite, fotografías aéreas y convencionales (ver información complementaria en el capítulo 13). En esta actividad también se pueden identificar cambios en el uso del suelo como

la expansión urbana, la dinámica de los cuerpos de agua y las dificultades que posiblemente impidan el muestreo en los puntos proyectados, de manera que se puedan encontrar alternativas para superar la situación.

Se sugiere diligenciar el formulario con el mayor número de datos y anotaciones posible, incluyendo la información del componente biótico (por ejemplo, color de las flores, hábito de crecimiento, color de tallo, densidad de población, etc.).

2 Tomar muestras de suelo y agua siguiendo las indicaciones planteadas para el nivel regional (ver ítem 7.3.3). Cabe recordar que, en el caso del nivel local, es necesario colectar material vegetal con el fin de identificar bioindicadores de salinidad de suelos. El procedimiento para la colecta es el siguiente:

A Identificar las especies vegetales más representativas y repetitivas en cada punto de muestreo para su recolección.

B Colectar muestras. Estas deben ser la porción terminal del tejido vegetal, aproximadamente de 30 a 35 cm de longitud. El corte debe ser limpio, ayudado por tijeras de corte. Es importante hacer la colecta en estado fértil (con flores y/o frutos) para su posterior identificación.

C Llenar la respectiva etiqueta con la información del punto muestreado y la frecuencia con la cual se encuentra dicha especie allí (Figura 33).

D Prensar y conservar con alcohol cada una de las muestras tomadas en campo con ayuda de papel periódico.

Para el análisis foliar, se colectan hojas desarrolladas de la parte media de cada especie. Así se establece su composición química y su relación con el suelo en el cual fueron tomadas.

10.4 ETAPA DE POSTCAMPO

En esta etapa se llevan a cabo las siguientes actividades:

- Análisis en el laboratorio de muestras de suelos y aguas.
- Lectura e interpretación de los análisis de laboratorio.
- Revisar y ajustar la calificación de las unidades de degradación.
- Ajustar las delineaciones de las unidades del mapa preliminar.
- Elaborar el mapa final, junto con su leyenda detallada.

Las muestras de suelos y aguas colectadas en campo son llevadas al laboratorio de suelos y siguen los mismos procesos y métodos que se han descrito en el nivel regional (ver ítem 7.4.1). Además, se recomienda realizar los análisis de los aniones: en particular, contenidos de sulfatos, carbonatos, cloruros y nitratos.

República de Colombia
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

IDEAM - CAR - U.D.C.A

FORMATO COMPONENTE BIÓTICO
PROYECTO: LBD DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

INFORMACIÓN COLECTOR

FECHA dd/mm/aa **NOMBRE** _____
CÓDIGO _____ **MORFOESPECIE** _____

INFORMACIÓN ESPECIE

Nombre común o sp _____
_____

RASGOS

Exudados _____ Olores _____
Tamaño _____ Fotografía N _____

OBSERVACIONES _____
_____
_____

Figura 33. Ejemplo de rótulo para muestras de material vegetal

Posterior a la recolección del material vegetal en campo, se toman fotos de cada morfoespecie colectada en un fondo blanco. Para detallar las características de estas se tiene en cuenta la completa exposición de cada órgano de la planta que pudiera ser útil para su identificación. Luego el material se conserva dentro de las prensas, teniendo en cuenta que cada individuo (morfoespecie) presente su debido código de identificación y su posterior entrega al Herbario Nacional o al más cercano a la zona de estudio.

El material vegetal analizado se correlaciona con los resultados químicos de laboratorio de suelos por medio de la relación de las familias más representativas y la tolerancia que estas presentan, según literatura, a suelos salinos. En la Figura 34 se presentan algunas especies típicas de zonas con problemas de salinización de suelos, en particular las colectadas en la zona baja de la cuenca del río Bogotá, jurisdicción CAR en Cundinamarca.



Nombre común	Municipios	Clima
Cola de escorpión	Tocaima	Cálido árido
	Ricaurte	Cálido árido



Nombre común	Municipios	Clima
Bledo	Jerusalén	Cálido árido
	Tocaima	Cálido árido
	Ricaurte	Cálido árido



Nombre común	Municipios	Clima
Guerrillera	Funza	Muy frio semihumedo
	Bojacá	Muy frio húmedo



Nombre común	Municipios	Clima
Bicho	Agua de Dios	Cálido árido
	Tocaima	Cálido semiárido
	Girardot	Cálido árido
	Jerusalén	Cálido semiárido
	Ricaurte	Cálido árido

Figura 34. Material vegetal clasificado

10.4.1 AJUSTE DEL MAPA DE ZONIFICACIÓN PRELIMINAR

De acuerdo a los resultados del trabajo de campo, la zonificación preliminar debe ser ajustada tanto en la calificación de las unidades como en las delineaciones donde se comprobó que existían errores de delimitación.

Para ajustar la calificación de cada una de las unidades:

1. Se parte de la información de los resultados de laboratorio de suelos, agua y vegetación.

2. Se compara nuevamente con el sistema de clasificación.

3. Se procede a calificar las unidades en cada una de sus categorías: tipo, grado, clase, subclase y/o procesos.

Por otra parte, los ajustes en los límites de las delineaciones de cada una de las unidades espaciales se hacen según las observaciones y anotaciones realizadas en los recorridos de campo. Esta labor es importante, considerando que la zonificación es producto de procesos de reclasificación y del cruce de mapas de suelos y uso de la tierra, donde se pueden generar inconsistencias temáticas.

Finalmente, se deben realizar las actividades necesarias por medio de procesos de SIG sobre las coberturas digitales, de tal manera que a nivel cartográfico se ajuste y elabore la zonificación final.

10.4.2 ELABORACIÓN DEL MAPA FINAL DE ZONIFICACIÓN POR SALINIZACIÓN Y SU LEYENDA

Al final de esta fase se debe obtener el mapa de zonificación de línea base de degradación de suelos por salinización a nivel local. Cada unidad debe estar calificada con los atributos de tipo, grado, clase, subclase y procesos.

Para elaborar la zonificación final de la línea base local, según el modelo de la Figura 21 (ver ítem 7.4.3), se deben seguir estos pasos:

1. Realizar geoprocesamiento de unión con la cobertura digital detallada, según escala de salida (entre 1:10.000 y 1:25.000), que contemple el perímetro de la zona de estudio.

2. Llevar a cabo el geoprocesamiento de actualización, donde se rescatan los cuerpos de agua, centros urbanos y otras coberturas diferentes a las unidades de suelos[6].

3. Cumplir con estándares de calidad cartográficos mínimos (ver ítem 7.4.3).

4. Definir la representación (simbología) de la cobertura digital.

5. Elaborar la leyenda temática y de simbología utilizada en la zonificación, donde se consideran los atributos de tipo, grado, clase, subclase y procesos, junto con la descripción de cada unidad. En la Tabla 29 se presenta un ejemplo de la leyenda de la zonificación a nivel local.

6 Para estos dos primeros procesos, es necesaria la base cartográfica oficial del IGAC de la escala de salida.

Tipo	GRADO	CLASE	SUBCLASE	PROCESOS
Natural	Muy ligero	N/A	N/A	Pedogénesis en materiales pobres en bases
	Severo	Calcáreo	Ultracalcáreo	Calcificación (mineralización del calcio)
				Pedogénesis calcárea
Mixto	Moderado	Calcáreo	Hipercalcáreo	Calcificación (mineralización del calcio)
				Adición permanente de enmiendas (calcáreas)
				Inadecuado manejo de agroquímicos
		Magnésico	Hipomagnésico	Adición permanente de enmiendas (dolomiticas)
				Alcalinización (Incremento de bases)
	Severo	Calcáreo	Ultracalcáreo	Calcificación (mineralización del calcio)
				Uso continuo de riego con aguas duras
		Sódico	Hipersodico	Pedogénesis sódica
				Uso continuo de riego con aguas salinas
		Calcareo - Magnésico	"Hipercalcareo	Aplicación permanente de fertilizantes
				Uso continuo de riego con aguas duras
				Calcificación (mineralización del calcio)
Antrópico	Muy ligero	N/A	N/A	Inadecuado manejo de agroquimicos
	Ligero	Salino	Isosalino	Inadecuado manejo de agroquimicos
	Moderado	Salino - Sulfatado ácido	Hiposalino-SSA actual	Aplicación permanente de fertilizantes
		Salino-Calcáreo	Hipocalcáreo	Adición permanente de enmiendas (calcáreas)
				Inadecuado manejo de agroquímicos
	Muy severo	Sódico	Hipersalino	Uso continuo de riego con aguas salinas
		Salino	Hiposalino	Sequías frecuentes y prolongadas por deforestación
		Magnésico-Calcáreo	Hipomagnésico-Hipercalcáreo	Sequías frecuentes y prolongadas por deforestación
				Uso continuo de riego con aguas duras

Tabla 29. Modelo de leyenda de la zonificación de la degradación de suelos por salinización a nivel local





11. FASE DE CARACTERIZACIÓN A NIVEL LOCAL

La fase de caracterización a escala local profundiza sobre las posibles causas y consecuencias de la degradación de suelos por salinización en cada uno de los ADSS establecidos en el estudio a nivel regional. Hace énfasis en mayor detalle y resolución de la información primaria biofísica y socioeconómica. Además, busca evidenciar la dinámica de los procesos de salinización de los suelos en el tiempo y en el espacio.

Los productos de esta fase corresponden a:

- La actualización y precisión de las variables FPIR seleccionadas para escalas temporales y espaciales, las cuales serán validadas en la fase de análisis.
- Los ADSS caracterizados por las microcuencas que los conforman.
- La organización y sistematización de la información alfanumérica y espacial.

11.1 ETAPA DE CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR

En esta etapa se identifican las variables, criterios y métodos y se definen las unidades de análisis del estudio local. Estas últimas deben permitir la actualización y el mayor detalle de las causas, consecuencias y respuestas del proceso de salinización de los suelos en zonas específicas.

11.1.1 IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES Y CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN

El objetivo de esta actividad a nivel local es identificar y definir las variables y criterios que inciden en la degradación

de los suelos por procesos de salinización. El modelo FPEIR, expuesto en las secciones 5.2.1 y 8.1.1, también es muy útil en este nivel de análisis. En ese orden de ideas, se debe:

1. Agrupar las variables y criterios en fuerzas motrices (causa indirecta), presiones (causa directa), impactos (consecuencias) y respuestas (acciones de prevención, mitigación, recuperación) que ocurran frente a esta problemática.

2. Actualizar la información obtenida en la línea base regional.

3. Considerar información adicional de tipo espacial y temporal que evidencie la dinámica de los procesos de salinización de los suelos.

4. Generar nuevos datos que apoyen la toma de decisiones.

En esta actividad se realiza también el inventario de datos e información, que sirve como soporte para plantear hipótesis sobre las causas, consecuencias y respuestas. Estas se confrontarán y verificarán en el trabajo de campo y serán la base para la fase de análisis y evaluación.

En la Tabla 30 se presentan algunas variables de presiones en el componente ecosistémico o ecológico y riesgos socionaturales, las fuentes y tipo de información y los criterios o hipótesis en relación con la salinización de los suelos para la escala local.

La revisión bibliográfica y el levantamiento de información en este nivel deben enfocarse en aquellos temas que puedan relacionarse directa o indirectamente con la problemática de la salinización. Se sugiere para la consulta lo siguiente (según disponibilidad y nivel de detalle):

- Revisión histórica de la construcción de territorio, procesos y modelos de colonización, determinantes culturales en el aprovechamiento y uso de los recursos naturales, cosmovisión, análisis de clases dominantes y poder hegemónico, modos de producción y tipos de cultivos, relación con mercados y demanda interna a nivel de microcuencas de los ADSS. Estos estudios pueden encontrarse en universidades, bibliotecas o internet.

- Dinámicas demográficas a nivel veredal.

- Roles y responsabilidades de la institucionalidad estatal y privada: ¿qué entidades trabajan o desarrollan proyectos relacionados con la degradación de suelos? Las fuentes de información son gobernaciones, alcaldías, corporaciones autónomas regionales o de desarrollo sostenible.

- Políticas públicas municipales con influencia a nivel local.

- Indicadores y variables socioeconómicas a nivel municipal y veredal.

- Instrumentos de planificación (Pomca, POT, EOT, PBOT). Como fuente de información se puede recurrir a alcaldías, gobernaciones y corporaciones autónomas regionales.

Se sugiere también realizar análisis de información relacionada con lo ambiental y geográfico, específicamente en los siguientes temas:

- Clima.

- Geomorfología.

- Biodiversidad.

- Suelos.

- Amenazas naturales y socionaturales (desertificación, variabilidad y cambio climático, entre otras).

- Ecosistemas.

Además, es pertinente levantar información relacionada con:

- Uso del suelo.

- Sistemas de producción y prácticas de manejo agrícola (ancestrales, tradicionales, mecanización, otras).

- Tenencia de la tierra.

- Degradación del suelo.

- Datos socioeconómicos.

- Datos demográficos.

- Infraestructura.

- Dinámica de mercados.

- Información sociológica y cultural.

La información de sensores remotos y cartográfica digital (vector o ráster), en escalas detalladas, es útil para apoyar las fases de zonificación y caracterización, dirigido al monitoreo y seguimiento de la salinización de los suelos.

11.1.2 DEFINICIÓN DE UNIDADES ESPACIALES DE REFERENCIA

A nivel local, las unidades de análisis son los ADSS y los subambientes que se relacionan con las microcuencas de la zona de estudio. Cada ambiente debe tener su delimitación por subcuenca y microcuencas, que están conformadas por su zona de acumulación y depositación de materiales con

Componente ecológico/ ecosistémico	Variables/fuentes de información	Criterios/hipótesis
Clima	Comportamientos de la precipitación y la temperatura años atrás y tendencias Frecuencia e intensidad de eventos El Niño y La Niña Tendencias de cambio climático IDEAM, CAR	Los descensos de los promedios decadales de precipitación se relacionan con procesos de mayor salinización de suelos, pues hay menos disolución y lavado y más concentración de sales
		Mayor frecuencia de eventos de El Niño se relaciona con mayor salinización de suelos al disminuirse los lavados de sales y darse posibles ascensos de aguas freáticas por mayor evaporación
		Mayor frecuencia de eventos de La Niña se relaciona con el efecto de las inundaciones, las cuales pueden transportar sales y luego depositarlas por sedimentación o disolver sales depositadas o almacenadas en los suelos salinos y transferirlas a otros lugares
Aguas e hidrogeología	Acuíferos, niveles freáticos/sistemas de riego/calidad de aguas Servicio Geológico Colombiano IDEAM Ministerio de Salud y Protección Social Empresas públicas municipales Asociaciones de usuarios de distritos de riego	En zonas secas los niveles freáticos tienden a ascender por los procesos de evaporación y evapotranspiración. Así, las sales suben a los horizontes superiores del suelo, generando salinización
		La salinización de los suelos no se puede concebir sin las dinámicas y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, las cuales pueden contener altas cantidades de sales
Geología	Materiales rocosos/Minería Servicio Geológico Colombiano	Rocas ricas en sales como las yesíferas, calcáreas y carbonatadas son fuentes que generan suelos naturalmente salinos naturalmente, pero pueden ser fuentes de salinización de suelos y aguas
Suelos	Relieve/drenaje/CE/pH/bases Estudios generales de suelos Clasificación taxonómica Clases agrológicas IGAC	Estudios micromorfológicos de arcillas y materia orgánica identifican alteraciones de dispersión por el sodio, información útil para alertas tempranas
Ecosistemas	Biomas/transformación/deterioro/biodiversidad Estudio de ecosistemas colombianos Unidades biogeográficas IDEAM IAvH	Los biomas costeros, xerofíticos, subxerofíticos y secos son más susceptibles a los procesos de salinización. La vegetación xerofítica y halófita ayuda a localizar los suelos salinos mediante bioindicadoras
Tipos y sistemas de uso del suelo	Mapas de uso actual de la tierra/ sistemas de uso/sistemas de producción a escala detallada y actualizados Metodología Corine Land Cover Categorías de uso de la tierra Agrícolas, ganaderos, agroforestales, mineros, y otros IDEAM UPRA IGAC	Estudios de sistemas de uso de los suelos más detallados y frecuentes son indispensables para el análisis de la salinización de los suelos
Riesgos	Inundaciones/incendios forestales/ deslizamientos IDEAM ODGRD	Las inundaciones traen sedimentos normalmente ricos en bases y sales Los incendios forestales de zonas secas pueden aumentar las sales de los suelos Los deslizamientos aportan materiales a las fuentes hídricas que disuelven las sales

Tabla 30. Criterios e hipótesis, variables y fuentes de información para identificar las causas de la salinización de los suelos a nivel local

sales (zonas planas) y su zona de aportes indirectos de materiales con sales (zonas de ladera).

Igualmente, se hace necesario establecer la relación de la degradación de suelos por salinización con otras unidades espaciales de planificación como son:

- Planes de ordenamiento territorial.
- Planes de manejo de cuencas hidrográficas.
- Zonificación ambiental y sus áreas protegidas.
- Áreas prioritarias para la conservación.
- Áreas con amenazas naturales y socionaturales.

Identificar las relaciones con estas unidades puede ayudar a prevenir y mitigar la salinización por medio del control y prácticas de manejo sostenible, por ejemplo:

- Aguas vertidas.
- Nacimientos de aguas termominerales y establecimientos que las aprovechan para el turismo.
- La calidad de agua de riego.
- Uso y aplicación de los fertilizantes.
- El cambio de uso del suelo sobre rocas calcáreas, yesíferas.
- Minería sin control ambiental de sus vertimientos, lixiviados, polvos.
- La deforestación.
- Los incendios forestales.
- Las inundaciones.

11.1.3 ANÁLISIS Y GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS DE REFERENCIA

Se deben generar mapas temáticos detallados relacionados con información espacial climática, geomorfológica, de uso y cobertura actual de la tierra, sobre tenencia y distribución espacial de la propiedad, división político-administrativa y áreas protegidas. También se deben generar mapas de referencia de unidades de planificación en los POT o en los Pomca, planes de manejo ambiental de proyectos de desarrollo, entre otros.

Para identificar y caracterizar las causas por fuentes de sales, se debe:

- **Construir los ADSS a escala local:** Se cruza el mapa de subcuencas con la zonificación de degradación de suelos por salinización escala local y se definen los escenarios de salinización de los ADSS, a partir de la identificación de los focos y fuentes de salinización.

- **Delimitar las unidades de análisis o subambientes:** Se genera el mapa de microcuencas, iluminando los cuerpos de agua superficiales a partir de la red hídrica primaria y secundaria. Se puede apoyar con modelos digitales del terreno y la teledetección.



- **Caracterizar los focos de salinización por microcuencas:** Se identifican las unidades de la zonificación con grado severo y muy severo, se ubican en cada una de las microcuencas y se relacionan con las unidades de aguas subterráneas.

- **Localizar y ubicar las fuentes de sales naturales por microcuencas:** Se identifican y delimitan materiales geológicos ricos en sales, ríos con aguas con altos contenidos de sales, nacimientos de aguas minerales o termominerales, diapiros, entre otros, diferenciando su procedencia como fuentes directas e indirectas.

- **Localizar las zonas con diferentes niveles freáticos:** Si no existe información al respecto, se debe generar y empezar el proceso de monitoreo.

- **Localizar las zonas con diferentes valores de calidad de agua:** En particular, en cuerpos de aguas superficiales que sean fuentes directas e indirectas de riego o uso en los suelos. Se deben realizar muestreos antes y después de los ADSS (preferiblemente en las épocas de lluvias y de sequía), análisis de caudales y estiajes, aguas de riego y drenaje, aguas subterráneas y aguas de vertimientos de industrias y centros poblados.

- **Localizar zonas con procesos de deforestación en diferentes épocas:** Históricas y recientes.

- **Localizar y caracterizar las fuentes de sales de origen antrópico, según las distintas actividades:**

  - Uso de aguas subterráneas.
  - Uso de aguas en distritos de riego.
  - Sistemas de uso del suelo: áreas agrícolas, ganaderas, forestales, mineras, urbanas a escala local.

Esta información se debe generar por medio del SIG del proyecto, realizando los ajustes necesarios de sistema de proyección, coordenadas de origen y demás información cartográfica. También se debe revisar y valorar la calidad de la información, así como establecer la validez temporal por medio de los metadatos. La escala de salida deberá estar entre 1:10.000 y 1:25.000.

11.2 ETAPA PREPARACIÓN DE TRABAJOS DE CAMPO

En esta etapa se presentan una serie de actividades y herramientas que tienen como propósito recoger y analizar información primaria: desde la percepción de un ciudadano del común hasta el más conocedor del tema, con el fin de caracterizar las variables de presión y de impactos de la salinización.

En el nivel local, las principales actividades y herramientas metodológicas que se utilizan son:

- Entrevistas semiestructuradas por medio de encuestas para cada tipo de actores.



- Talleres o conversatorios con la comunidad y aplicación de ejercicios, en donde se socializa la problemática y se construyen los indicadores de presión (causas) y de impacto (consecuencias).

- Matrices para el análisis y evaluación de la información.

Estas herramientas deberán capturar datos e información cuantitativa, ya que los análisis serán más profundos e integrales. Esta información se debe relacionar y complementar con la recogida en los talleres con los actores locales.

El nivel local se basa en información directa con actores y autoridades de tipo municipal, así como corporaciones y organizaciones que tengan nivel de influencia en el manejo y gestión territorial ambiental.

11.2.1 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA EN CAMPO

Para contar con información más precisa sobre la problemática, es necesario capturar en el terreno las percepciones de los actores locales de las áreas afectadas. Con ese fin, se debe diseñar un formulario o guía de preguntas que orienten la entrevista a los productores o líderes locales (ver cuadro de entrevistas en el ítem 8.2.2).

En las preguntas se debe resaltar la dinámica de los procesos de salinización en las escalas de tiempo y espacio. Para esto se sugiere tener en cuenta:

- Comportamientos de la precipitación y la temperatura, variabilidad climática.

- Comportamiento de los eventos extremos (El Niño y La Niña).

- Escenarios de cambio climático. Comportamiento de la precipitación y la temperatura a largo plazo.

- Comportamiento de las inundaciones, frecuencia, duración.

- Comportamiento de los incendios, frecuencia, duración.

- Cambios en el uso del suelo.

- Cambios en los niveles freáticos.

- Tipos de riego: por inundación, goteo, aspersión, gravedad, manguera. Frecuencia de riego, lámina de agua por cultivo, calidad y cantidad de aguas de riego.

- Vertimiento de industrias, explotaciones mineras y asentamientos humanos.

- Relación de impactos ambientales generados por las sales en los cultivos (pérdida de cosechas, disminución del rendimiento, en la producción, pérdidas económicas).

- Identificación de los indicadores de fuerzas motrices a partir del cuestionamiento sobre por qué se hacen las actividades que generan la salinización de los suelos (tal es el caso, por ejemplo, del riego con agua salada, la fertilización con excedentes de sales o las mecanizaciones inadecuadas).

El diseño de las entrevistas o encuestas debe explorar las técnicas locales usadas para combatir la salinización del suelo con el fin de analizar las variables de los indicadores de respuesta.

En este nivel se debe tener flexibilidad en las preguntas, y el entrevistador tiene la libertad de dar mayor profundidad a algunas de estas según el actor o la situación por analizar. Es común encontrar actores que desconocen el proceso de la salinización, las causas y las consecuencias que esta problemática puede tener en la economía de la región e incluso en la seguridad alimentaria de las comunidades locales.

11.2.2 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES RELACIONADOS CON LOS PROCESOS DE SALINIZACIÓN DE SUELOS

Se deben adelantar las siguientes acciones:

1. Elaborar un formato de directorio que identifique y caracterice a los actores sociales e institucionales relacionados con la problemática.

2. A partir de los ambientes y fuentes de salinización, identificar y registrar en el directorio los actores claves para el seguimiento y monitoreo a la degradación de suelos por salinización.

3. Seleccionar actores. Estos pueden ser representantes institucionales, comunitarios y sectoriales o el campesino o citadino que puedan aportar al conocimiento de la problemática y a la gestión sostenible de los suelos en un marco de responsabilidades compartidas, alertas tempranas y medidas de prevención.

En la Tabla 31 se relacionan los principales actores con las unidades de análisis y unidades espaciales de referencia a nivel local.

Objeto de estudio	Unidad de análisis	Unidad espacial de referencia	Actores relevantes
Local	Unidades de ambientes y subambientes de salinización	Subcuenca, microcuenca, áreas de fuentes indirectas, municipio, veredas, corregimiento	Productores, propietarios y campesinos
			Secretarías de planeación y agricultura
			Alcaldías
			Líderes comunitarios
			Juntas de acción comunal
			Gremios locales
			Universidades, SENA e institutos agropecuarios
			CAR
			Contralorías municipales

Tabla 31. Principales actores a nivel local

11.3 ETAPA DE TRABAJO DE CAMPO

11.3.1 RECORRIDOS DE OBSERVACIONES EN TERRENO

Igual que para el estudio regional, se debe realizar una visita preliminar de reconocimiento de la zona de estudio para establecer las relaciones de los procesos de salinización de los suelos y definir las visitas posteriores para levantamiento y validación de información primaria y secundaria, toma de muestras de agua y encuentros con actores sociales e institucionales claves. Los recorridos se realizan dentro de los ambientes y subambientes de salinización de suelos.

11.3.2 REUNIONES CON ACTORES LOCALES Y REGIONALES: APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS

Las entrevistas con actores locales deben ser orientadas hacia los focos localizados en los escenarios de salinización. Se debe procurar hacer una evaluación participativa de:

- El uso y la vocación de la tierra.
- El impacto que generarían en el futuro cercano la degradación de los suelos por salinización y el desarrollo regional en los bienes y servicios del suelo (por ejemplo, la incidencia de la salinización en las emisiones de CO_2, la alteración del ciclo hidrológico en la región, la capacidad de filtro de sustancias extrañas en aguas freáticas o alimentos, y no solamente en la fertilidad de los suelos y producción agrícola industrial).

El equipo de trabajo que haga la implementación de esta metodología a nivel local deberá tener en cuenta, para el estudio, las áreas de fuentes directas e indirectas de sales de los ADSS. El propósito de esto es explorar las causas y consecuencias de estos procesos de degradación local en un contexto regional y nacional para dimensionar las prioridades de acción y articulación en la gestión institucional de los tres niveles.

Se deberán seguir los mismos pasos, procedimientos y esquemas de trabajo de la implementación regional del protocolo para la identi-



ficación, análisis y evaluación de la degradación de suelos por salinización, con la adaptación de estrategias propias para cada contexto, recopilando información con la comunidad, y relacionando percepciones de la problemática de los diferentes grupos socioeconómicos.

11.3.3 TALLERES LOCALES CON ACTORES CLAVES

Los talleres en este nivel deberán constituirse como conversatorios donde se recoja la percepción de las comunidades y actores clave del orden social, económico e institucional sobre la salinización de los suelos en los ambientes y subambientes de esta problemática.

Los conversatorios pueden estar orientados a:

- Identificar causas y consecuencias de la salinización de los suelos por ADSS y microcuenca.
- Las respuestas o soluciones frente a la prevención, mitigación y restauración de los suelos degradados por salinización en la localidad.

11.4 ETAPA POSTCAMPO

11.4.1 ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

La información biofísica y socioeconómica obtenida a partir de la revisión bibliográfica oficial y de los talleres, conversatorios y encuestas se organiza por componente para cada microcuenca o subambiente de salinización de suelos. Para esto se utilizan tablas de hojas de datos y, mediante SIG, la base de datos espacial.

Los datos y variables provienen del estudio a nivel regional para cada ADSS y de los talleres y conversatorios locales con actores claves en temas específicos relacionados con los medios de vida y los sistemas de uso y manejo del suelo.

11.4.2 CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS

Cada ADSS tiene sus propias fuerzas motrices, presiones, impactos y respuestas; por tanto, no se pueden utilizar indicadores fijos para todos los casos. Sin embargo, el hecho de crear indicadores de presiones y de impactos para cada uno de los componentes (ecológico/ecosistémico, económico, social, cultural, amenazas socionaturales y político-institucional) puede orientar la búsqueda en las etapas de la planificación y la sistematización de la información.

El proceso de la construcción de indicadores y indicadores en el nivel lo-

cal se puede realizar considerando los pasos y lineamientos que se presentan en el ítem 8.4.2.

11.4.3 CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA RELACIONADA CON PROCESOS DE SALINIZACIÓN DE SUELOS

A nivel local se debe profundizar el estudio de la presión del clima sobre los suelos para generar procesos de salinización. En ese sentido, es necesario partir del análisis de frecuencia de la precipitación y de la evapotranspiración. Incluso es necesario relacionar los efectos de la variabilidad climática y sus manifestaciones (fenómenos El Niño y La Niña) y el comportamiento de las lluvias y las sequías con las causas y tendencias de la salinización de los suelos.

Igualmente, se requiere profundizar en la observación de los niveles freáticos y de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales en relación con la salinidad de las aguas.

Los productos de la caracterización biofísica son:

- La matriz del modelo FPEIR en las variables del componente ecológico/ecosistémico.
- Mapas del ADSS con los principales procesos ecológicos que determinan las causas y los impactos de la degradación de suelos por salinización.

11.4.4 CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y CULTURAL RELACIONADA CON LOS PROCESOS DE SALINIZACIÓN DE SUELOS

Se parte de una profundización sobre los usos del suelo (agrícola, ganadero, forestal, minero y centros urbanos) y los sistemas de uso, orientados a identificar actividades que generan sales o procesos de salinización de suelos, teniendo en cuenta las áreas de fuentes directas e indirectas. Se debe actualizar la información sobre amenazas por incendios forestales e inundaciones.

Con esto en mente, se debe hacer énfasis en los principales cambios reconocidos en la recolección de información (entrevistas semiestructuradas, talleres participativos, etc.). Asimismo, es preciso correlacionar los conceptos teóricos con la lectura que hacen los pobladores de las transformaciones de su medio y de la calidad de los recursos naturales.

Las fuerzas motrices y las respuestas se deducen de los talleres y conversatorios. Las primeras pueden tener una aclaración a nivel regional y local cuando se construyen los hitos del uso del suelo histórico en una línea de tiempo.

Los productos de la caracterización socioeconómica y cultural son:

- La matriz del modelo FPEIR con las variables de los componentes económico, social, cultural, amenazas socionaturales y político-institucional.
- La línea de tiempo de los usos históricos de los suelos y los hitos en los procesos de salinización del recurso.
- Los mapas de los ADSS a nivel local, que indiquen los principales procesos socioeconómicos y las amenazas socionaturales que determinan las causas y las consecuencias de la degradación de suelos por salinización.





12. FASE DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN A NIVEL LOCAL

En la fase de análisis se examinan de forma individual, en las microcuencas o subambientes de cada ADSS, cada una de las variables seleccionadas por componente para los indicadores de presión y de impacto. El objetivo es identificar y ubicar espacialmente el grado de la relación de causalidad o de consecuencia con la magnitud y severidad de la salinización de los suelos.

En la fase de evaluación se examinan en forma conjunta, para cada subambiente de salinización de suelos, todas las variables y componentes seleccionados para los indicadores de presión y de impacto. El propósito es determinar aquellos que más inciden en la salinización de los suelos y la afectación de bienes y servicios ambientales ocasionados por estos procesos, determinando indicadores de presión y de impacto.

12.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

En esta etapa se analizan los valores de presiones de cada una de las variables consideradas para cada subambiente de salinización con las diferentes magnitudes y severidades de los procesos de degradación. Se deben separar las presiones de la zona, las fuentes indirectas y las directas en la búsqueda de los indicadores de causalidad de la problemática. Para cada microcuenca o subambiente, se cruza la siguiente información de los valores de presión:

1. Presiones del componente económico:

- Sistemas de uso agrícola vs. los valores de severidad de la salinización.

- Sistemas de uso ganadero vs. los valores de severidad de la salinización.

- Sistemas de uso forestal vs. los valores de severidad de la salinización.

- Sistemas de uso minero vs. los valores de severidad de la salinización.

- Sistemas de uso de protección vs. los valores de severidad de la salinización.

2 Presiones del componente amenazas socionaturales:

- Los valores de presión de las amenazas por inundación y por incendios forestales por microcuencas vs. los valores de severidad de la salinización.

3 Presiones del componente ecológico/ecosistémico:

- Los valores de presión de las variables climáticas (comportamiento de la precipitación, temperatura, fenómenos ENSO y del cambio climático) vs. severidad de la salinización.

- Los valores de presión de las fuentes hidrosalinas de cuerpos de agua superficial (ríos, quebradas, humedales, pozos de aguas termominerales, aguas marinas) y subterráneas (niveles y calidades de aguas freáticas, salinidad de las aguas subterráneas) vs. valores de severidad de la salinización.

- Los valores de presión de las fuentes de sales de materiales geológicos ricos en sales y de diapiros vs. valores de severidad de la salinización de los suelos.

- Los valores de presión de todas las variables del componente de cada microcuenca o subambiente vs. los valores de severidad de la salinización.

Los productos son:

1 Para el componente socioeconómico:

- Estadísticas y análisis de las presiones de cada sistema de uso del suelo vs. los valores de severidad de la salinización de los suelos por microcuenca o subambiente.

- Mapa de cada microcuenca, que localiza las presiones por sistemas de uso y las severidades, cada una con sus valores.

- Estadísticas de todas las presiones socioeconómicas (índice de presión por sistemas de uso del suelo —IPSUS—) y análisis para cada una de las microcuencas del ADSS.

- Mapa de localización del IPSUS de las presiones de los diferentes usos y de la severidad de la salinización de los suelos de cada microcuenca en todo el ADSS.

2 Para el componente amenazas socionaturales:

- Estadísticas de la presión de cada una de las amenazas por microcuenca o subambiente vs. severidad de la salinización de los suelos.

- Mapa de cada microcuenca, que localiza las presiones de las amenazas con sus valores de severidad de la salinización de los suelos.

- Estadísticas del índice de presión por amenazas socionaturales (IPAS)



Indicadores de presiones

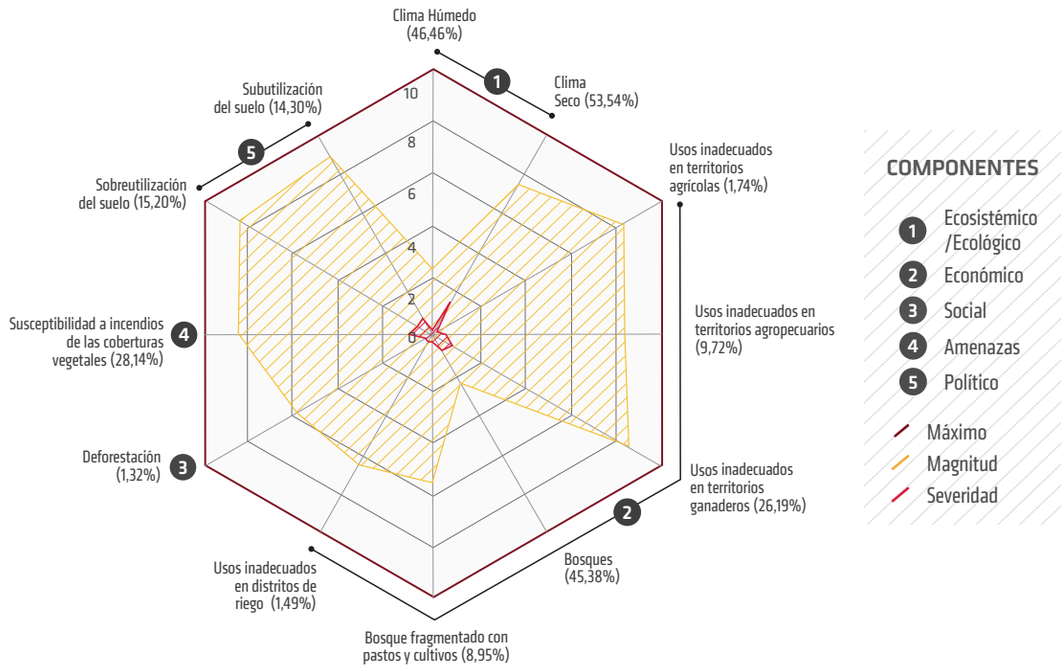


Figura 35. Ejemplo de la representación de las presiones sobre la degradación de suelos por salinización

de todas las amenazas socionaturales por microcuenca.

- Mapa de los IPAS por microcuenca, en todo el ADSS.

3 Para el componente ecológico:

- Estadísticas y análisis de las presiones por cada una de las variables consideradas en el clima, por microcuenca.

- Estadísticas y análisis de las presiones por fuentes hidrosalinas vs. valores de severidad de la salinización de los suelos.

- Estadistas y análisis de las presiones por factores geológicos vs. valores de severidad de la salinización de los suelos.

- Mapa de cada microcuenca, que localiza las presiones por clima, fuentes hidrosalinas y factores geológicos.

- Estadísticas del índice de presión por factores ecológicos (IPFE) por microcuenca.

- Mapa del IPFE por microcuencas, en todo el ADSS.

12.2 EVALUACIÓN DE LAS PRESIONES

Se evalúan de forma conjunta todos los índices de presión por componente. De este modo se detecta cuáles están incidiendo significativamente en los procesos de degradación de suelos por salinización en cada ADSS y se establecen indicadores de presión y de impacto. El procedimiento es el siguiente:

1 Se establece una tabla de síntesis por cada subambiente de salinización de suelos, en donde se encuentran los índices de presión de los componentes ecológico/ecosistémico, económico, social y amenazas socionaturales, con los valores de presión de cada variable.

2 Se traslada la información a la gráfica de red de Excel. Esto permite una mejor interpretación de los resultados de la evaluación de las presiones de cara a:

- La toma de decisiones de acuerdo a unas prioridades de atención.

- Dar avisos y alertas tempranas.

Cada ADSS tiene una gráfica de red propia con:

- Un valor de magnitud y severidad de la salinización de suelos.

- El universo de cada variable y su valor de presión.

- El índice de presión por componente.

12.3 ANÁLISIS DE IMPACTOS

En esta actividad se analizan los impactos de las variables consideradas en cada uno de los componentes con las diferentes magnitudes y severidades de la salinización de los suelos por microcuenca, buscando las consecuencias de este proceso. Se debe cruzar la siguiente información:

1. Componente ecológico/ecosistémico:

- Valores de severidad de la salinización de suelos vs. áreas protegidas y prioritarias para la conservación y estructura ecológica principal.

- Valores de severidad de la salinización de suelos vs. tierras de climas secos y húmedos.

2. Componente económico:

- Valores de severidad de la salinización de suelos vs. suelos clases II, III y IV.

- Valores de severidad de la salinización de suelos vs. suelos aptos para la agricultura, la ganadería y forestal.

- Valores de severidad de la salinización de suelos vs. distritos de riego.

3. Componente social:

- Valores de severidad de la salinización de suelos vs. densidad de la población y tendencias.

Los productos son:

1. Para el componente ecológico/ecosistémico:

- Estadísticas y análisis del impacto de la degradación de suelos por salinización en las categorías de áreas protegidas, prioritarias para la conservación y estructura ecológica principal, por subambientes.

- Mapa del impacto de la degradación de suelos por salinización para las categorías de protección por microcuencas del ADSS.

- Estadísticas y análisis de tierras con degradación de suelos por salinización en climas secos y húmedos.

- Mapa de impacto de la degradación de suelos por salinización por climas secos y húmedos.

2. Para el componente económico:

- Estadísticas y análisis del impacto de la salinización de los suelos en suelos clases II, III y IV.

- Mapa de localización de niveles de severidad de la salinización y de las clases de suelos.

- Estadísticas y análisis del impacto de la salinización de los suelos sobre los suelos con aptitud agrícola, ganadera y forestal.

- Mapa de localización de niveles de impacto de la salinización de los suelos aptos para agricultura, ganadería y forestal.

- Estadísticas y análisis del impacto en suelos de los distritos de riego.

3. Para el componente social:

- Estadísticas y análisis del impacto de la salinización de suelos sobre la densidad de población y sus tendencias.

- Mapa de localización de la salinización de los suelos, las densidades de población y tendencias.

El protocolo presenta estas variables, pero se deben considerar otras que salgan de la correlación entre la teoría, la información secundaria y la primaria para cada caso en particular.

12.4 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

Se evalúan de forma conjunta todos los impactos por componente. Así se detecta cuál es el grado de afectación por los procesos de salinización de suelos en cada ADSS y se establecen indicadores de impacto. Los pasos para esto son:

1. Se establece una tabla síntesis por cada ambiente de salinización de suelos en donde se encuentran los índices de presión de los componentes ecológico/ecosistémico, económico, social y amenazas socionaturales, con los valores de porcentaje de área y hectáreas de cada variable.

2. Al igual que para la evaluación de las presiones, la información se traslada a la gráfica de red de Excel.

Cada subambiente de salinización tiene una gráfica de red propia con:

- Un valor de magnitud y severidad de la salinización de suelos.

- El universo de cada variable y su valor de impacto.

- El índice de impacto por componente.





PROTOCOLO | IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA **DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN**

D. RECOMENDACIONES Y LINEAMIENTOS

13. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN

14. LINEAMIENTOS PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

IDEAM | CAR | U.D.C.A



13. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se presentan algunas recomendaciones relacionadas con la implementación del presente protocolo, con el propósito de apoyar el logro de los objetivos propuestos. En ese sentido se resaltan:

- El uso adecuado de la cartografía según el nivel de análisis.
- La utilización de los sensores remotos.
- La aproximación a un diseño estadístico de muestreo y estimación de la precisión del mapa.

13.1 RECOMENDACIONES PARA LA ZONIFICACIÓN

La zonificación de la degradación de suelos por salinización considera una serie de actividades donde se toman decisiones de cartografía, uso de sensores remotos y salidas gráficas para los informes y reportes. A continuación, se describen algunas recomendaciones para el uso de estas herramientas.

13.1.1 CARTOGRAFÍA BASE, ESCALAS DE TRABAJO Y SALIDAS GRÁFICAS

Es importante utilizar la cartografía base oficial del país con todos sus elementos constitutivos, que incluyen centros poblados, vías, ríos, curvas de nivel, entidades territoriales (departamentos, municipios, corregimientos) y los topónimos (nombres locales). La entidad encargada de elaborar la cartografía base del país es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

La escala del mapa se define como la relación de proporcionalidad que existe entre una distancia medida en el terreno y su correspondiente medida en el mapa, que determina la cantidad de detalle que debe mostrarse (IGAC, 2015). Las escalas oficiales de trabajo que ha definido el IGAC se dividen en tres grupos (categorías):

- **Escala pequeña:** 1:500.000 y menores, empleadas para el planeamiento general y estudios estratégicos: 1:100.000, 1:250.000, 1:500.000.
- **Escala mediana:** Más grandes que 1:100.000 y más pequeñas que 1:5.000. Se emplean para el planeamiento más detallado: 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000.
- **Escala grande:** Iguales y mayores a la escala 1:5.000, empleadas para usos urbanos, técnicos y administrativos.

Las escalas estándar de los mapas topográficos son las siguientes: 1:100.000, 1:25.000 y 1:5.000.

Para los diferentes niveles de análisis de la zonificación de la degradación de suelos por salinización, se recomiendan las siguientes escalas:

- Nacional: 1:100.000-1:500.000.
- Regional: 1:25.000-1:100.000.
- Local: 1:5.000-1:25.000.

Para las salidas gráficas, que son los formatos de representación cartográfica de los resultados finales, se recomienda tener en cuenta la grilla de distribución de planchas del IGAC (ver Tabla 32).

13.1.2 USO DE SENSORES REMOTOS

Las imágenes de sensores remotos, hoy en día, constituyen una herramienta fundamental para la cartografía temática. De hecho, ya se han realizado algunos trabajos a nivel internacional que contribuyen en la identificación de zonas salinas sobre imágenes de sensores remotos.

La integración de los avances en las tecnologías de teledetección a los estudios de la salinización de suelos es un campo en expansión, investigación y difusión, especialmente para detectar y controlar características superficiales del suelo, así como en las capas del subsuelo. A lo largo de las últimas dos décadas, varios investigadores han descrito la utilidad de la teledetección para la cartografía de la salinidad y evaluación de riesgos (Mougenot y Pouget, 1993; Metternicht, 2008; Farifteh, Van Der Meer y Van Der Meijde, 2008). Por ejemplo, la información espectral[1] obtenida puede utilizar-

Nivel de análisis	Escala de salida	Formatos
Nacional	1:100.000, 1:500.000	Temático + topográfico
Regional	1:100.000, 1:50.000	Temático + topográfico + Modelo del terreno
Local	1:10.000, 1:25.000	Temático + topográfico + Modelo del terreno + imagen

Tabla 32. Escalas y formatos de salidas

1 Existen índices espectrales de suelo, tales como el de color (CI) y brillo (BI), que señalan suelos con sales expuestas en superficie.

Nivel de detalle	Resolución espacial	Resolución espectral	Resolución temporal
Nacional	De 30 a 15 metros	Espectro visible	Intervalos de revisita en periodos húmedos y secos. Según la línea temporal de la información secundaria
Regional	De 15 a 5 metros	Espectro visible y región del infrarrojo	Intervalos de revisita en periodos húmedos y secos, con mayor nivel de detalle Según la línea temporal de la información secundaria, y acorde con las condiciones del periodo de trabajo en campo
Local	Menor a 5 metros	Espectro visible y región del infrarrojo	Intervalos de revisita en periodos húmedos y secos, con intensidad no mayor de 10 días Acorde con el momento y las condiciones del periodo de trabajo en campo

Tabla 33. Recomendaciones mínimas para la selección de imágenes

se de forma cualitativa para identificar las áreas afectadas por sales (Dehaan, 2002; Howari, 2002) o, en una forma cuantitativa, para relacionar las propiedades espectrales y la abundancia de sales minerales en los suelos afectados por ellas (Farifteh, Van Der Meer y Van Der Meijde, 2008).

Existe un conjunto de factores y condiciones peculiares de halomorfismo que facilitan la detección de los suelos afectados por sales. Entre ellos se destaca la concentración de sales en la superficie del suelo, en forma de costras blancas con alto coeficiente de reflexión y las características propias de la reflectancia en el control de la mineralogía de sal (Metternicht, 2008). Sin embargo, según García (IGAC, IDEAM y MAVDT, 2010), hay casos de salinidad que no producen costras blancas como el magnesio y el potasio, lo que dificulta su identificación.

Las herramientas de percepción remota pueden apoyar los trabajos de campo para identificar los procesos de salinización, con técnicas como el procesamiento digital de imágenes, la espectrometría y otras geoestadísticas en los diferentes niveles de detalle.

Para la selección de las imágenes (de satélite o aerotransportadas), se deben tener en cuenta el nivel de detalle del estudio y las características técnicas del producto (resoluciones). En la Tabla 33 se realizan algunas recomendaciones mínimas al respecto.

El uso de sensores remotos puede considerarse en dos momentos particulares de la fase de zonificación:

1. Antes de realizar trabajos de campo (precampo): Se requiere una logística inicial que acerque las visitas a aquellas zonas en donde se prevé encontrar procesos de salinización en suelos. Esta planeación del recorrido y la priorización de los puntos de interés pueden ser orientadas por las imágenes de satélite, las cuales permiten observar e interpretar la cobertura de la tierra (identificación preliminar de procesos de salinización del suelo) y relacionarla con capas de variables biofísicas (clima, relieve, estudios de suelo, entre otros).

2. En el análisis de la experiencia e información que se obtiene en campo (postcampo): Los profesionales que interpretan las imágenes satelitales pueden correlacionarlas con los resultados de las muestras y observaciones para buscar patrones en el comportamiento de los procesos de salinización.

De ser posible, la sinergia entre los resultados de campo (químicos, físicos, entre otros) y la percepción remota (interpretación de imágenes e índices) debe colaborar en la identificación de estos procesos en la misma región de estudio.

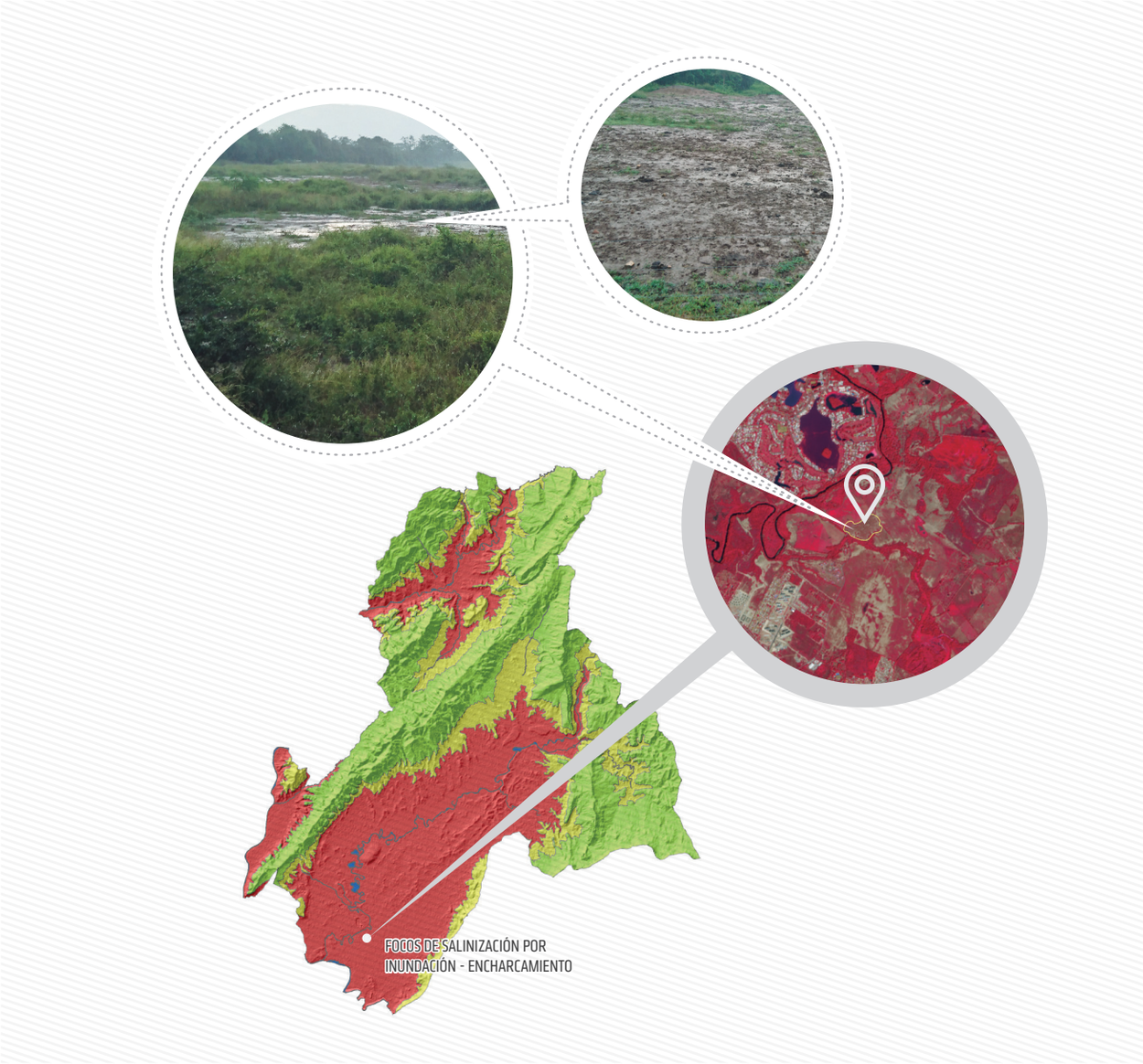


Figura 36. Ejemplo de identificación del proceso de salinización del suelo en el municipio de Girardot (Cundinamarca)

El apoyo de los sensores remotos en la fase de zonificación puede ser ejemplificado con el caso del ADSS correspondiente a la cuenca baja del río Bogotá (municipio de Girardot). En la Figura 36 se observan las zonas de acumulación de sales en dicha área (en color rojo en el mapa), y la fotografía terrestre y la imagen del sensor Sentinel de un punto en el que se encontró un proceso avanzado de salinización del suelo.

Por otra parte, en las Figuras 37 y 38 se observa un patrón especial característico (los tonos grises claros indican la posible presencia de procesos de salinización), con forma irregular y tendencia a seguir un flujo de drenaje (en zonas climáticas frías, el moteado es más oscuro).

Las imágenes satelitales de alta resolución ofrecen la posibilidad de generar cartografía a escala menor o igual 1:25.000.

En la fase de caracterización, la percepción remota puede ser de gran utilidad porque permite simultáneamente vistas espaciales y espectrales del terreno, a pesar de problemas tales como la corrección atmosférica en proyecciones oblicuas y



Figura 37. Foco de salinización, municipio de Cota – Cundinamarca. 2017

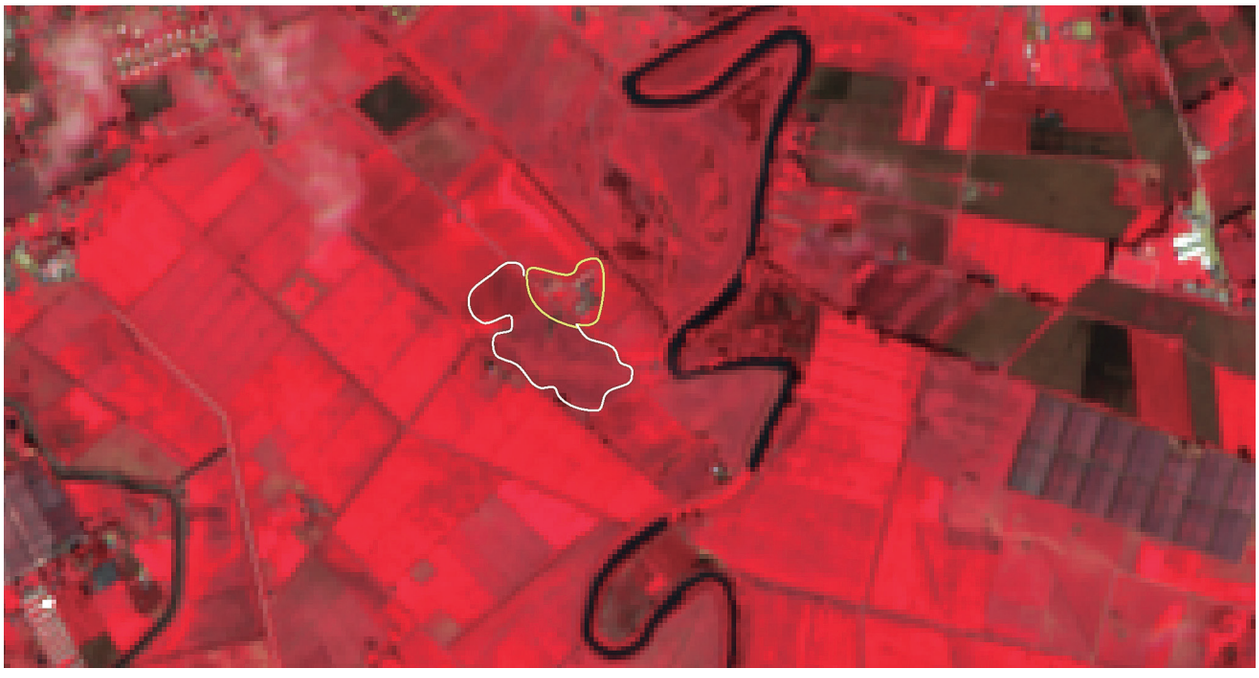


Figura 38. Foco de salinización, visto en una imagen Sentinel 2 (Infrarrojo cercano, rojo y verde – 843), municipio de Cota - C/marca - 2017

geométricas, o la distorsión de la imagen final. Además, las imágenes capturadas con sensores multiespectrales también proporcionan información sobre los cambios indirectamente relacionados con la salinidad del suelo (por ejemplo, variaciones en la humedad del suelo, la vegetación o de albedo).

Lo anterior es importante para que el grupo interdisciplinario de profesionales realice la caracterización de los ambientes de salinización de manera

que, además de tener en cuenta los resultados de la fase de zonificación, interpreten las presiones ejercidas sobre el suelo que provocan la acumulación y depositación de sales. Al respecto, la percepción remota contribuye con imágenes de verdadero y falso color para identificar y delinear actividades y prácticas que suelen generar dichas presiones (ver Figura 39).

Finalmente, en la fase de análisis y evaluación la percepción remota da la posibilidad de analizar multitemporalmente aquellas zonas denominadas focos de salinización, en donde se presentan los procesos más graves de degradación del suelo. Esto facilita el seguimiento y monitoreo de la problemática en una región.

Para facilitar la identificación y descripción específica de los focos de salinización, se pueden utilizar las siguientes imágenes de alta resolución espacial y temporal:

- Fotografías aéreas.
- Imágenes pancromáticas.

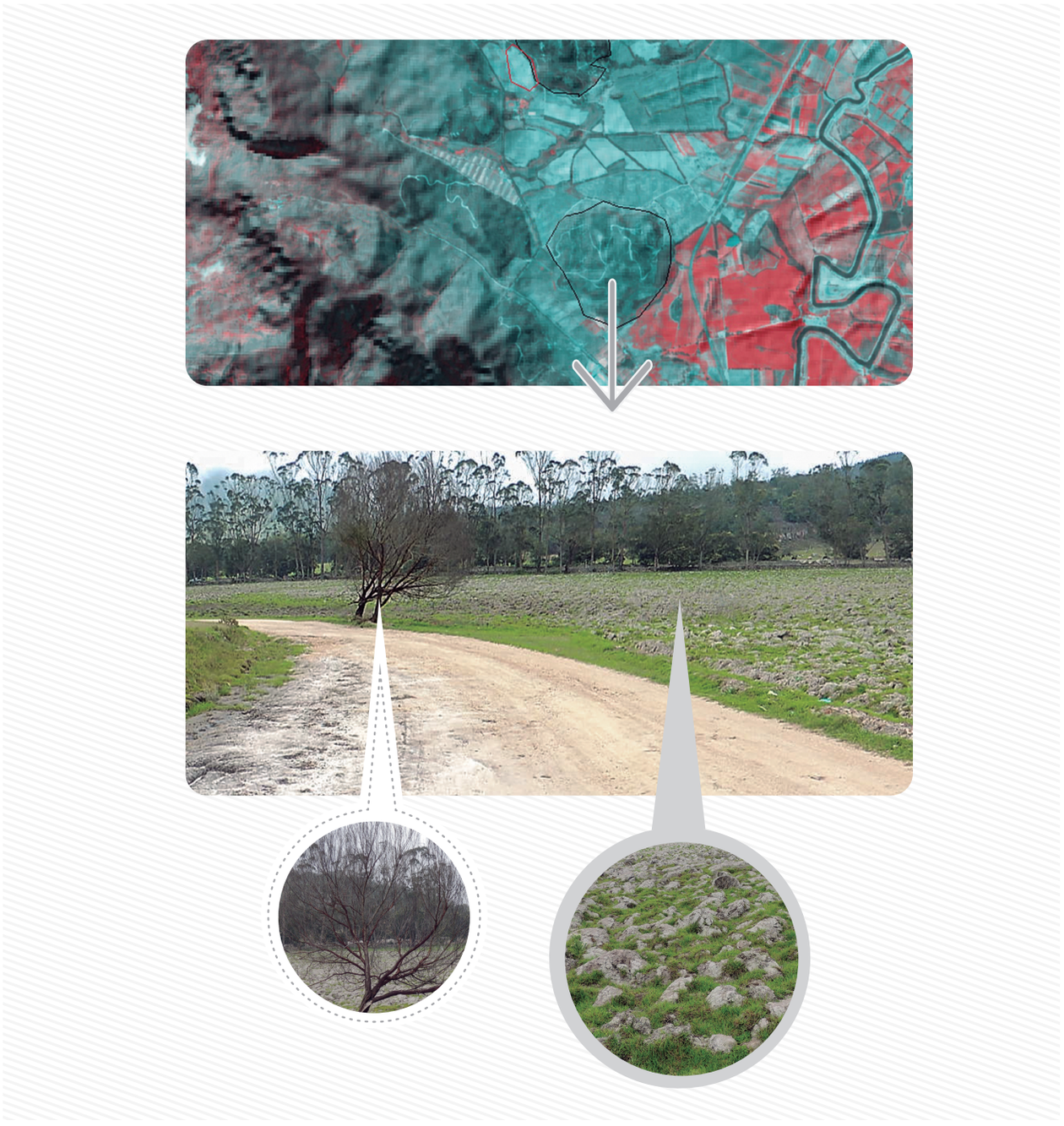


Figura 39. Ambiente de salinización identificado en campo y analizado en la imagen del sensor Sentinel 2. Soacha (Cundinamarca)

- Microondas.

- Sensores hiper o multiespectrales montados en aeronaves. Por ejemplo: vehículos aéreos no tripulados (VANT, o UAV por su sigla en inglés).

- Imágenes digitales multiespectrales (DMSI).

Estos recursos tienen la capacidad de detectar paisajes con proceso de salinización en alta y muy alta resolución espacial (es decir, 5 m nivel regional a 0,25 m nivel local).

Por ejemplo, en la Figura 40 se observa una imagen de alta resolución espacial (5 cm), en cuyos polígonos de color amarillo se encontraron procesos de salinización de suelos. Por otro lado, en la Figura 41 se muestra la imagen Sentinel de resolución de 10 m del mismo lugar (es decir, en menor detalle pero con mayor visión del conjunto) en época seca (febrero de 2017). En este caso, las características pictórico-morfológicas permiten suponer que en las zonas de color azul opaco (infrarrojo cercano, rojo y verde-843) existen procesos de salinización del suelo.

13.2 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS DE CAMPO Y POSCAMPO

Los trabajos de campo son una de las actividades más importantes dentro del protocolo ya que contribuyen en la validación de la zonificación preliminar y permiten tomar muestras representativas. Además, en esta etapa tienen lugar los procesos de socialización, la captura de información primaria y la validación de la información secundaria.

13.2.1 ACTORES E INSTITUCIONES DE APOYO

Es importante identificar los principales actores regionales y locales y elaborar una base de datos con su nombre, cargo, dirección y teléfonos de contacto. Asimismo, se deben realizar cartas oficiales que presenten el proyecto y las actividades que se van a desarrollar en la región definida, y una presentación de los profesionales que van a realizar los trabajos de campo.

El acompañamiento de las instituciones regionales y locales es fundamental en los trabajos de campo, pues son el puente de contacto con los habitantes de la zona, productores o propietarios de los predios que se van a visitar o donde se van a tomar las muestras. También tienen el conocimiento local sobre los problemas de salinización de los suelos o de las actividades relacionadas con este problema.

Se requiere comunicación directa con los propietarios o productores de las zonas donde se ha planificado realizar el sistema de muestreo de suelos, vegetación y aguas. De este modo dichos actores podrán involucrarse y reconocer la problemática y la necesidad de hacer esta clase de estudios. La comunicación debe ser de varias maneras:

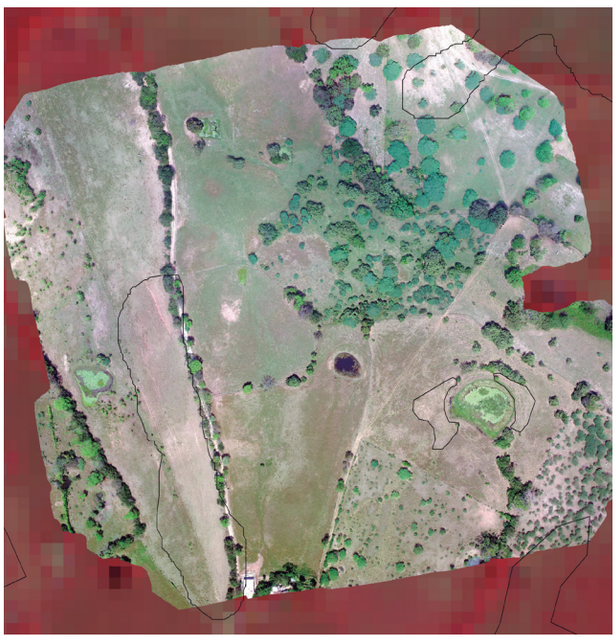


Figura 40. Imagen de alta resolución espacial capturada con un sistema aéreo no tripulado (UAV), municipio de Agua de Dios (Cundinamarca)

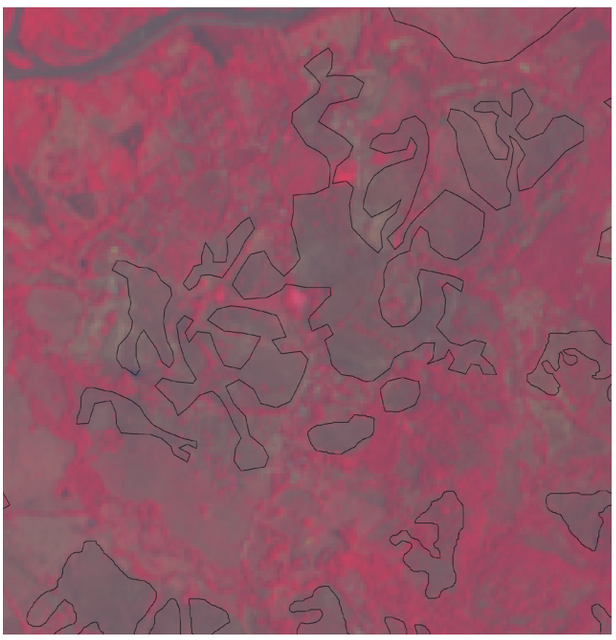


Figura 41. Imagen Sentinel de época seca (febrero de 2017), municipio de Agua de Dios (Cundinamarca)

- Cartas de presentación.
- Llamadas telefónicas.
- Correos electrónicos.
- Entrevistas a los sitios de trabajo.

Los actores directos deben conformar un nodo de comunicación permanente sobre la dinámica del problema de salinización en los suelos. Asimismo, podrán hacer parte de la red que se debe establecer para el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por salinización, con el fin de que aporten información y datos de forma periódica y ordenada.

13.2.2 DISEÑO ESTADÍSTICO PARA EL MUESTREO

El objetivo del muestreo es obtener información acerca de las variables que intervienen en el proceso de salinización, a partir de la susceptibilidad y la zonificación. Dadas las características de este tipo de estudios, es conveniente un diseño muestral de conglomerados en dos etapas:

1. Una en la que se escogen los conglomerados.
2. Otra en la que se define el número de individuos dentro del conglomerado, según las categorías del grado de la salinización.

El muestreo por conglomerados es una técnica que aprovecha la existencia de grupos en la población que representan correctamente el total de esta en relación con la característica que se quiere medir. De esta manera se pueden seleccionar únicamente algunos de estos conglomerados para realizar el estudio.

El muestreo tiene como finalidad determinar qué parte de una realidad en estudio (población o universo-N) debe examinarse con el propósito de hacer inferencias o generalizar conclusiones sobre el total de la población. Así, obtener una muestra adecuada significa lograr una versión simplificada de la población, la cual reproduce sus rasgos básicos. Para efectos de lograr un acercamiento al *tamaño del universo (N)*, es pertinente referenciar algunas estadísticas sobre el total de hectáreas que integran cada área de trabajo, así como de su distribución según el grado de salinización (ver Tabla 34).

Tomando en cuenta la información disponible sobre las hectáreas de la zona de trabajo señalada en la Tabla 34, se observa a nivel acumulado una gran aglomeración en el grado muy ligero (70,8% y 71,7%, respectivamente). Por consiguiente, se puede optar por un diseño muestral de conglomerados en dos etapas, centrado en los grados de salinización.

El tamaño de la muestra se determina teniendo en cuenta factores:

- Teóricos, tales como tamaño de la población, grado de confianza, error de la muestra y probabilidad de que se produzca el evento de estudio.

Grado	Ventana 1 Área /ha	%	Ventana 2 Área /ha	%
Muy ligero	24.671,2	70,8	59.572,0	71,7
Ligero	4.630,5	13,3	10.756,2	12,9
Moderado	4.113,9	11,8	6.815,0	8,2
Severo	952,3	2,7	1.505,7	1,8
Muy severo	251,0	0,7	104,2	0,1
No suelo	238,8	0,7	4.383,2	5,3
	34.857,8	100,0	83.136,2	100,0

Tabla 34. Distribución del área de las ventanas según grados de susceptibilidad a la salinización

- Logísticos.
- Geográficos.
- De costos.
- De localización.
- De disponibilidad de información (en cuanto a las hectáreas y sus grados de susceptibilidad a la salinización).

El tamaño de la población o universo (N) se reconoce como de carácter finito, es decir, constituido por un determinado número de elementos o unidades (en este caso, hectáreas). Por lo general, se trata de una población relativamente pequeña, menor a 100.000 elementos. Para estudios de procesos de salinización, se sugiere determinar el tamaño de la muestra (n) mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{N * Z^2 * \hat{P} * \hat{Q}}{(N-1) * E^2 + Z^2 * \hat{P} * \hat{Q}}$$

- N: Tamaño de la población.
- Z: Nivel de confianza.
- P: Probabilidad de que ocurra el evento de estudio.
- Q: Probabilidad de que no ocurra el evento de estudio.
- E: Margen de error.

Se pueden tomar varios niveles de confianza asociados a distintos márgenes de error y, dado que se desconoce el valor de la varianza poblacional (situación muy habitual en la práctica), se recurre al equivalente de esta como supuesto más desfavorable: que ambas probabilidades (p y q) presenten un valor de 0,50. Esto, aunque implica una muestra de mayor tamaño, reduce las posibilidades de equivocación en la estimación de los parámetros poblacionales correspondientes a las variables en estudio. La Tabla 35 muestra un ejemplo de tamaños muestrales de hectáreas.

Para escoger la muestra, en esta etapa se puede recurrir al método de probabilidad proporcional al tamaño (PPT), el cual consiste en distribuir el tamaño de la muestra de manera proporcional de acuerdo al peso relativo de las áreas según los grados de salinización en la respectiva ventana dentro del conjunto del área de la ventana (ver Tabla 36). Así, se tiene que:

$PPT=(n\ /N_{1...i})$

- *i* corresponde a las zonas de estudio.

Independientemente del tamaño muestral escogido, este se distribuirá de acuerdo a los pesos relativos de cada uno de los grados de susceptibilidad en cada una de las ventanas.

N= 83.136.2 ha				
Nivel de confianza NC	Margen de error E	Tamaño muestral n	Margen de error E	Tamaño muestral n
90%	5%	270	2,5%	1.069
95%		382		1.509
97,5%		499		1.960
99%		658		2.572

Tabla 35. Ejemplo de tamaños muestrales para la ventana 1 según diferentes niveles de confianza y márgenes de error

Grado	Ventana 1	Ventana 2
	% muestra	% muestra
Muy ligero	70,8	71,7
Ligero	13,3	12,9
Moderado	11,8	8,2
Severo	2,7	1,8
Muy severo	0,7	0,1
No suelo	0,7	5,3
	100,0	100,0

Tabla 36. Ejemplo de parámetros para la distribución de los tamaños muestrales

Posteriormente, se procede a seleccionar las hectáreas en el interior de los conglomerados definidos a través de un muestreo probabilístico. Para esto se debe distribuir espacialmente la muestra dentro de cada zona de estudio, bien sea aleatoriamente o sistemáticamente.

13.2.3 ESTIMACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LA ZONIFICACIÓN

Es recomendable realizar un ejercicio que pueda definir la precisión[2] del mapa de zonificación final de la degradación de suelos por salinización. Para ello, se calcula o estima la confirmación de un número determinado de polígonos por medio de la verificación de campo o de otro medio más detallado como fotografías aéreas o imágenes de satélite. Se puede realizar un cálculo ponderado considerando los tres criterios de evaluación: codificación, delimitación temática y nivel de detalle. El propósito es confirmar una muestra representativa de unidades espaciales con respecto a la realidad del terreno, la cual debe ser al menos del 85% en su revisión.

Aunque existen varios métodos para el cálculo de la precisión de los mapas temáticos, se propone el sugerido por el programa GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment, 2003) debido a su sencillez para su aplicación. Este consiste en:

1. Seleccionar al azar un número representativo de sitios o puntos de control en el mapa.

2. Visitar en campo los sitios seleccionados y verificar la codificación o calificación de la salinización. En caso de no poder realizar la visita en campo a todos los puntos debido a la accesibilidad o a costos, se podrá verificar por medio de fotografías aéreas de la misma época o similar.

3. Crear un cuadro comparativo de las clasificaciones de mapas y los datos de validación de los sitios de muestreo (ver Tabla 37), donde define la igualdad o diferencia de la información.

4. Estimar cuántos puntos corresponden a la calificación del mapa y cuántos puntos son diferentes.

La selección de la muestra debe ser al azar y debe corresponder entre 1-5% del número de unidades o polígonos.

Considerando el ejemplo de la Tabla 37, de 10 puntos de verificación de información, 8 fueron iguales y 2 fueron diferentes. Con esta información se puede realizar el cálculo de la precisión del mapa de la siguiente manera:

Precisión=(N.º iguales/total puntos)*100=(8/10)*100=80%

El número de puntos de control es importante y se puede definir de distintas maneras, empleando métodos estadísticos de acuerdo a la representatividad de cada una de las categorías del mapa y su distribución espacial.

13.3 RESULTADOS ESPERADOS DE LA LÍNEA BASE

Los resultados y productos de la implementación de este protocolo son esencialmente:

- Zonificación de la línea base de la degradación de suelos por salinización.
- Caracterización del territorio y de los ADSS.
- Análisis y evaluación de los indicadores de los procesos de salinización.

Estos productos deberán ser socializados con los actores que participaron en algunas de las etapas o fases, así como con otros actores en los diferentes niveles (nacional, regional y local),

2 La precisión se define como "la proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, bajo condiciones especificadas". Se puede expresar numéricamente mediante medidas de dispersión tales como desviación típica, variancia o coeficiente de variación.

con el fin de recibir una retroalimentación para el ajuste de la metodología, los análisis y las evaluaciones.

Los reportes (estadísticos, *shapefiles*, mapas, datos, gráficos) deberán ser objeto de difusión y circulación para sensibilizar sobre la degradación de suelos, con el propósito de orientar la toma de decisiones y garantizar la continuidad en el monitoreo y seguimiento a diferentes escalas. Además, los ajustes continuos para la adaptación de las condiciones particulares de cada estudio son imprescindibles. Finalmente, es importante mantener el diálogo con cada una de las partes involucradas en el monitoreo y seguimiento a la degradación de suelos, con el fin de tener una continua retroalimentación, donde se dé una gran participación y se compartan las experiencias a nivel internacional, nacional, regional y local.

Sitio	Código del mapa	Código del punto de control - Validación	Diferencias	
1	Ligera	Ligera	✓	
2	Moderada	Severa		X
3	Severa	Severa	✓	
4	Ligera	Ligera	✓	
5	Moderada	Moderada	✓	
6	Moderada	Moderada	✓	
7	Severa	Severa	✓	
8	Ligera	Moderada		X
9	Moderada	Moderada	✓	
10	Muy severa	Muy severa	✓	

Tabla 37. Ejemplo de comparación de datos del mapa y verificación en campo en puntos de control

N= 34.857.8 ha				
Nivel de confianza NC	Margen de error E	Tamaño muestral n	Margen de error E	Tamaño muestral n
90%	5%	269	2,5%	1.050
95%		380		1.472
97,5%		495		1.898
99%		651		2.466

Tabla 38. Ejemplo de tamaños muestrales para una ventana de trabajo según diferentes niveles de confianza y márgenes de error



14. LINEAMIENTOS PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

14.1 MONITOREO Y SEGUIMIENTO

El monitoreo y seguimiento del proceso de degradación de suelos por salinización requiere capturar información con distribución espacial y a nivel temporal que permita llevar adelante el control y uso sostenible de los suelos. A continuación, se describen los lineamientos para el levantamiento de información a nivel espacial y multitemporal, así como la definición de indicadores de seguimiento.

14.1.1 LEVANTAMIENTO ESPACIAL DE DATOS

El levantamiento de información es trascendental para el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por salinización. La distribución espacial de los datos deberá ser lo más representativa posible, considerando la distribución espacial y la superficie de las unidades de suelos y sistemas de uso de la tierra, de tal manera que los resultados se puedan extrapolar de forma asertiva a las unidades que no se han muestreado.

En la línea base, se debe realizar un sistema de muestreo que abarque al menos el 10% de la superficie del área de trabajo y el 50% de las unidades de análisis espacial (unidad de suelos+unidad de sistemas de uso), con el fin de que la calificación final de las unidades tenga validez estadística.

En cuanto al proceso de monitoreo, es necesario realizar un diseño de muestreo que incluya las unidades que se muestrearon para elaborar la línea base, más las unidades donde se han presentado cambios de uso y otras donde se considere o presuma que se han

presentado afectaciones por procesos de salinización, bien sea por reportes de productores o funcionarios locales o bien porque se hayan identificado por medio de sensores remotos u otro tipo de información.

La información se debe comparar de forma espacial de tal manera que se detecten los cambios positivos o negativos en la concentración de las sales o de alguno de los cationes dominantes, con el fin de realizar una nueva calificación del problema y definir las causas de la degradación por salinización.

14.1.2 LEVANTAMIENTO TEMPORAL DE DATOS

El monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por salinización requiere un levantamiento temporal de datos e información que permita identificar los cambios (en particular negativos) sobre la clasificación de tipo, grado y clase de salinización.

La temporalidad de los levantamientos para el monitoreo depende de las necesidades para atender este problema según los niveles de análisis (ver Tabla 39):

- La problemática local requiere mayor atención y por tanto se debe realizar de forma más periódica: al menos una vez al año.

- A nivel regional, se deberá acudir a una red de monitoreo interactores, es decir, los distintos actores deberán participar con datos espacio temporales. Es necesario que una institución (idealmente, la autoridad ambiental regional) encabece la recopilación de datos e información al menos una vez cada 5 años.

- A nivel nacional, el monitoreo se debe realizar al menos cada 10 años, considerando una red que compile la información local y regional y se complemente con el levantamiento de información adicional, según la distribución de los sitios de muestreo espacial.

14.1.3 INDICADORES DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN

Los principales indicadores para el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por salinización se consideran de acuerdo con los cambios sufridos en el tiempo en cuanto a estado, presión, impacto y respuesta. Se calculan por medio de las mediciones realizadas en cada periodo de análisis y según la diferencia entre ellas.

A continuación, se proponen una serie de indicadores para tener en cuenta en el proceso de monitoreo y seguimiento (ver Tablas 40, 41, 42 y 43).

Nivel de análisis	Escala de trabajo	Temporalidad del monitoreo	Observaciones
Nacional	1:100.000-1:500.000	Al menos cada 10 años	Consolidación de datos red y observatorio suma?? y generalización nacional
Regional	1:25.000- 1:100.000	Al menos cada 5 años En zonas de uso intensivo, cada año	Consolidación de datos red y observatorio entidades regionales y locales
Local	1:5.000-1:25.000	Una vez al año En zonas de uso intensivo, según las prácticas agronómica En zonas con influencia de minería, turística, etc.	Consolidación de datos red y observatorio entidades locales
Finca o unidad productiva	Según tamaño	Sistema de monitoreo permanente	Observaciones directas e indirectas Toma de datos, según prácticas de manejo Ejemplo: después de cada riego o de cada fertilización

Tabla 39. Temporalidad del monitoreo según los niveles de análisis

Estado	Variable	Indicador de cambio
Tipo	Origen de las sales	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en zonas con cambio de sistema de uso
Grado	Cantidad o concentración de sales, medida con CE o % de Mg, Na, sulfatos	% de área y hectáreas afectadas por salinización con cambio en la concentración de sales Indicador de severidad de la degradación
Clase	Dominancia de sal, catión o anión, medida por cantidad o % de Na, Mg, Ca, sulfatos	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos con cambio en la clase
Subclase	Dominancia de sal, catión o anión, medida por cantidad intrínseca de contenido de Na, Mg, Ca, sulfatos	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos con cambio en la subclase
Procesos	Actividades y fuentes que afectan el cambio de la salinidad en los suelos	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos con cambio en los procesos

Tabla 40. Indicadores de estado

Componente	Variable	Indicador de cambio
Ecológico	Cambio climático	% de área y hectáreas afectadas por la severidad y debida a la agresividad climática
		% de área y hectáreas afectadas por la severidad en suelos donde la precipitación ha cambiado
Económico	Agricultura	% de área y hectáreas afectadas por la severidad en sistemas productivos

Tabla 41. Indicadores de presión

Componente	Variable	Indicador de cambio
Ecológico	Áreas protegidas	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas protegidas prioritarias para la conservación y estructura ecológica principal
Económico	Suelos clases II, III y IV	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas de suelos clase II,III y IV;
Social	Crecimiento poblacional	% de área y hectáreas afectadas por salinización de suelos en áreas con tendencias incrementales de la población.

Tabla 42. Indicadores de impacto

Componente	Variable	Indicador de cambio
Ecológico	Áreas de importancia ecológica	% de proyectos con estrategias de conservación o recuperación de suelos en áreas de importancia ambiental
		N° hectáreas con proyectos de conservación, rehabilitación o restauración
Económico	Áreas de importancia agrícola o pecuaria	% de proyectos con estrategias de conservación o recuperación de suelos en áreas agrícolas o ganaderas
		N° hectáreas con prácticas para la conservación, rehabilitación o restauración
Social	Educación y sensibilización	N° de programas de capacitación, divulgación y sensibilización en los procesos de degradación de suelos por salinización
		N° de personas capacitadas o sensibilizadas en los temas de degradación de suelos

Tabla 43. Indicadores de respuesta

14.2 LINEAMIENTOS PARA LA GESTIÓN Y MANEJO

La salinización es un grave problema de degradación de los suelos a nivel mundial, en gran parte derivado de actividades humanas (principalmente, el adelanto de la agricultura de regadío sin tener en cuenta las características de las aguas para riego y de los suelos; en especial, su capacidad para retener e infiltrar agua). Este proceso afecta drásticamente los servicios ecosistémicos, sobre todo la producción de la gran mayoría de especies agrícolas de importancia económica para la producción de alimentos, materias primas, materiales genéticos y medicinales. En tal sentido, es de especial atención el cuidadoso manejo de los suelos para evitar que el problema de acumulación de sales se presente y ponga en riesgo su calidad.

La creciente degradación de los suelos y sus consecuencias pueden atribuirse, por un lado, a la progresiva presión poblacional y, por otro lado, a la falta de conocimiento por parte de la mayoría de la sociedad y de las instituciones con responsabilidad en la toma de decisiones sobre la planificación del uso y manejo de las tierras, así como sobre la importancia de los servicios ecosistémicos que presta el suelo y sus funciones para la vida sobre la tierra.

El manejo de la salinización de los suelos debe abordarse desde una perspectiva de búsqueda de soluciones específicas en el corto, mediano y largo plazo, combinando medidas preventivas, de mitigación, rehabilitación y restauración. Sin embargo, es conveniente hacer hincapié y concentrar esfuerzos económicos, académicos, institucionales y humanos en las primeras, debido a que los resultados pueden ser mucho más sólidos y duraderos en el tiempo y a unos costos financieros de menor impacto en las economías regionales y locales.

En cuanto a medidas de prevención, se debe:

- Comprometer a todos los sectores de la sociedad, en cabeza de las instituciones que tengan dentro de su accionar misional el velar por la conservación de los recursos ambientales, entre ellos el suelo, el cual es un componente primordial de la biodiversidad de los ecosistemas.

- Desarrollar programas y proyectos cuya estructura plasme las inquietudes y vivencias de las comunidades que trabajan la tierra.

◉ Sensibilizar y capacitar a las poblaciones sobre la importancia del suelo en la seguridad alimentaria, en el equilibrio ambiental y en el desarrollo socioeconómico y cultural de la sociedad.

◉ Utilizar los resultados de la implementación del protocolo en las acciones de prevención; en particular, el modelo de susceptibilidad para identificar las zonas con mayor propensión a este proceso de degradación.

◉ Desarrollar e implementar, con constante presencia del Estado y a través del accionar responsable y transparente de las instituciones, una agricultura con prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente. En ese sentido, se debe aplicar:

- El conocimiento del uso y vocación de los suelos.
- Rotación de cultivos con cobertura del suelo.

◉ Uso responsable de insumos agrícolas con permanente asistencia técnica.

◉ Uso racional del agua y calidad del agua para riego.

- Uso de materia orgánica.
- Sistemas agrosilvopastoriles.
- Protección de áreas de amortiguación.
- Técnicas de captación de aguas lluvias.
- Labranza vertical para aireación u oxigenación del suelo

Las medidas de mitigación son aplicables cuando el problema ya está presente y deben:

◉ Caracterizar completamente la problemática para entender las causas de la acumulación de sales.

◉ Evaluar la calidad del agua para riego para predecir el efecto de su uso como causa de salinidad.

◉ Considerar el uso de prácticas económicas que permitan eliminar las sales y recuperar la capacidad productiva del suelo. Para esto es necesario tener en cuenta aspectos tales como la capacidad de adaptación de los cultivos a la salinidad y el uso de materiales de enmiendas de bajo costo y fácil consecución que contribuyan a minimizar los efectos de la salinización y a la vez permitan la viabilidad de las diferentes actividades productivas.

Por último, las medidas de restauración se implementan cuando los servicios ecosistémicos se han disminuido de manera importante o la productividad no es económicamente viable. Se hace necesario entonces:

◉ Realizar un diagnóstico completo y profundo que permita conocer la problemática en todo su contexto y, con base en ello, establecer programas de recuperación.

◉ Fomentar una participación decidida y organizada de las comunidades afectadas, con el apoyo de las entidades locales, de tal manera que puedan manifestar sus dificultades.

◉ Comprometer a las instituciones correspondientes para que gestionen los recursos necesarios para impulsar la investigación, generar el conocimiento y plantear las soluciones que permitan revertir los efectos adversos ocasionados por la salinización de los suelos a los diversos ecosistemas.





BIBLIOGRAFÍA

A

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (2002). *Señales medioambientales.* Luxemburgo: Publicaciones de las Comunicaciones Europeas.

Andrade, H. e Ibrahim, M. (2003). *¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?*

B

Bautista, A. y Etchevers, R. (2004). La calidad de los suelos y sus indicadores. *Revista Ecosistemas:* 90-97.

Bhogal, E.A. (2009). Organic carbon additions: efects on soil Bio-physical and physico-chemical properties. *European Journal of soil Science:* 276-286.

Biggs, A. y Watling, K. (2010). *Salinity Risk Assessment for the Queensland Murray-Darling Region.* Queensland.

Brady, N. y Weil, R. (2002). Soils of dry regions: alkalinity, salinity. En: N. Brady y R. Weil. *The Nature and Properties of Soils* (págs. 378-403). New York, USA: Prentice Hall.

C

Castro, H.E. y Gómez, M. (2015). *Suelos sulfatados ácidos. El caso del Valle Alto del río Chicamocha. Boyacá - Colombia.* (1.ª ed.). Tunja: Editorial UPTC.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (2013). *Clima y sector agropecuario en Colombia. Adaptación para la sostenibilidad productiva.* Palmira, Colombia: CIAT.

Comisión de la Comunidades Europeas (CCE). (2002). *Hacia una estrategica temática para la protección del suelo.* Bruselas, Bélgica.

D

Dehaan, R. (2002). Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. *Remote Sensing of Environment,* 80(3) (June 2002): 406-417.

Doran, J., y Parkin, B. (1994). Defining *Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America,* 35.

F

FAO. (1973). *Calcareous Soils. FAO SOILS BULLETIN 21.* Roma: FAO.

FAO. (1990). *Management of Gypsiferous Soils. FAO SOILS BULLETIN 62.* Roma: FAO.

FAO. (2000). *Evaluación de la degradación de tierras en zonas áridas.* Roma, Italia: FAO.

FAO. (10 de Junio de 2002). *La sal de la tierra: peligro para la producción de alimentos.* Roma, Italia: FAO. Disponible en: [http://www.fao.org/worldfoodsummit/spanish/newsroom/focus/focus1.htm].

FAO. (2011). *Foro Global sobre Salinización y Cambio Climático del 2010.* Roma, Italia: FAO.

FAO. (2013). *El sistema de información global sobre el agua de la FAO - AQUASTAT.* Roma, Italia: FAO.

FAO. (2015). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050.* Roma, Italia: FAO.

Farifteh, J., Van Der Meer, F. y Van Der Meijde, M. (2008). Spectral characteristics of salt-affected soils: A laboratory experiment. *Geoderma,* 145(3-4) (June 2008): 196-206.

H

Howari, F.G. (2002). Spectral properties of salt crusts formed on saline soils. *Journal of Environmental Quality,* 31(5) (September 2002): 1453-61.

I

IDEAM. (2002). *Modelo de susceptibilidad de los suelos a la salinización.* Bogotá D.C.

IDEAM. (2008). *Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.* Bogotá.

IDEAM y U.D.C.A. (2015). *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión. Versión 2.* Bogotá D.C.: Ediplás Ltda.

IGAC. (2004). *Aspectos prácticos de la adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como DATUM oficial de Colombia.* Bogotá D.C.: IGAC.

IGAC. (2015). *Subdirección de Agrología.* Disponible en: [http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PIwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOBB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-+A].

IGAC. (2016). *Suelos y tierras de Colombia.* Bogotá D.C.: IGAC.

IGAC, IDEAM y MAVDT. (2010). *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos y tierras por erosión y salinización.* Bogotá D.C.: Editorial IGAC.

INFFER. (2013). *Designing a practical and rigorous framework for comprehensive evaluation and prioritisation of environmental projects.* Crawlwy, Australia.

IPCC Intergovernmental Panel of Climate Change. (2001). *Climate Change 2001: Volume II Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge: Cambridge University Press.

J

Jeinst Campo Rivera, Unimedios. (25 de mayo de 2013). *UN Periódico*. Disponible en: [http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/a-tiempo-para-evitar-salinizacion-de-los-suelos-del-valle.html].

M

Metternicht, G.Z. (2008). *Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management*. Boca Ratón, FL: CRC Press.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington D.C.: Island Press.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2015). *Politica para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá D.C.: Comunicaciones MADS.

Morrans, M.C. (s.f.). *Introducción a la ecologia del paisaje.*

Mougenot, B. y Pouget, M. (1993). Remote sensing of salt affected soils. *Remote Sensing Reviews*, 7(3-4): 241-259.

N

Nyle, C. y Brady, R. (2002). *The Nature and Properties of Soils* (13.a ed.). Delhi, India: Pearson Education Asia.

O

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2002). *Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible*. Johannesburgo (Sudáfrica): ONU.

Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015). *Cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015*. Nueva York: ONU.

P

Progeo. (2016). *El suelo como sistema ecológico*. Buenos Aires, Argentina: Progeo.

Q

Qadir, M.Q. (2014). *Economics of salt–induced land degradation and restoration*. Nueva York: Wiley Online Library.

S

Salitchev, K. (1979). *Cartografía*. La Habana, Cuba: Pueblo y educación.

Sánchez López, R. y Gómez Sánchez, C.P. (2012). *Programa de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras de Colombia*. Bogotá D.C.: IDEAM.

Sánchez, G. (2013). *Desarrollo y medio ambiente: Una mirada a Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad Autónoma de Colombia.

W

Walkley, A. (1935). *An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils*. Inglaterra.

Williard, H.H. (1974). *Instrumental methods of analysis*.





