Sensibilidad Ambiental: Una aproximación metodológica para validar Estudios de Impacto Ambiental. Caso de estudio: San Felipe II, estado Trujillo, Venezuela.

Environmental Impact Assessment. Case Study: San Felipe II, Trujillo State, Venezuela

Kretheis Márquez*, Fernando Delgado*, José Pérez*, José Ochoa**

Recibido: 28/01/2013
Aceptado: 17/04/2013

Resumen

La presente investigación plantea, a través del Análisis Multicriterio, constituir una herramienta para la determinación y jerarquización de los grados de Sensibilidad Ambiental de los diferentes sectores susceptibles de ser afectados por la ejecución de un proyecto de desarrollo agroindustrial (Planta de Alimentos Balanceados para Animales); a objeto de: i) servir de instrumento para la determinación de la intensidad en la evaluación de los impactos ambientales, ii) validar el método utilizado dentro de tal valoración y iii) suministrar información útil en la toma de decisiones. Una vez ejecutado el Análisis se obtuvo que el factor predominante para el cálculo de la sensibilidad ambiental, resultó ser la vulnerabilidad del acuífero a ser contaminado, consiguiéndose también que el área donde se emplazará el Proyecto corresponde a una zona medianamente sensible, por lo que se visualiza que el emplazamiento de los diferentes componentes del Proyecto, podrían afectar moderadamente al ambiente. Este resultado fue validado al comparar con la Evaluación de Impacto Ambiental global del Proyecto; en la que se obtuvo que su valoración ambiental, fue de -B (en la escala de –A a -E), lo que significa que el mismo se clasifica como de impacto negativo mayor que ligero pero menor que moderado.

Palabras clave: Análisis multicriterio, sensibilidad ambiental, toma de decisiones, evaluación de impacto ambiental, Trujillo, Carache.

* Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, correos electrónicos: kretheis@ula.ve, delgado@ula.ve, prjose@ula.ve. Teléfonos: 0424-4315491 / 0414-1791193 / 0414-7479693
** Consultor externo de la Coordinación de Asistencia Técnica del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, correo electrónico: jochoabat@gmail.com. Teléfono: 0424-1696088

Abstract

This research, through Multicriteria Analysis, aims to become a tool for identification and prioritization of environmental sensitivity degrees of different sectors likeky to be affected by the implementation of an agribusiness development project (Animal Balanced Food Plant). This, with the object to: i) serve as tool for determining the intensity of environmental impact assessment, ii) confirm and validate the method use in the assessment of environmental impacts and iii) provide useful information on the decision making. After running the analysis, it was found that the predominant factor for the calculation of environmental sensitivity proved the aquifer's vulnerability, with potential to be contaminated. It was found, also, that where the project will be located correspond to a fairly sensitive area. Preliminarily, it could be determined that location of various project's components could moderately affect the environment. This result was validated by comparing the overall Environmental Impact Assessment Project, previously executed, , in which it was found that the Project's environmental assessment was –B (in a scale –A to – E), which means that it is classified as a negative impact, greater than light but lower than moderate.

Keywords: Multi-criteria analysis, environmental sensitivity, decision making, environmental impact assessment, Carache, Trujillo.

Introducción

En terrenos de la hacienda San Felipe II, Sector San Felipe, de la parroquia Panamericana, municipio Carache, (a orillas de la Carretera Transandina) del estado Trujillo, está prevista la instalación de una moderna Planta Agroindustrial destinada para producir diversas formulaciones de piensos para animales de interés económico, como el cerdo y los peces. El área de influencia físico-natural de la Planta estará constituida por el espacio donde se producirán las alteraciones de los componentes: físico-químicos y biológico-ecológicos, manifestándose sus efectos en el corto o mediano plazo, como consecuencia de las actividades desarrolladas en el área de afectación del Proyecto. Así pues, tomando en cuenta que: i) el área de emplazamiento del Proyecto, es una zona degradada debido a la actividad agropecuaria que anteriormente se ejecutaba

y ii) una vez puesta en marcha la Planta, la operación cotidiana de la misma, no implicará la emisión de gases de combustión y que además se prevén filtros que mitiguen la afectación directa de la calidad del aire por dispersión del material particulado proveniente de la molturación de la materia prima, razón por la cual la principal corriente de desechos vendrá representada por la descarga de aguas residuales que serán dispuestas en el cuerpo receptor más cercano (río Cuzco); se tiene que la determinación del área de influencia físico-natural del Proyecto se sustenta en los límites naturales de la zona, impuestos por las características hidrográficas de la zona.

Con base en lo anterior, el área de influencia físico-natural del Proyecto se corresponde a la porción de territorio limitada al noroeste y al sureste por los cauces de los Ríos Botey y Cuzco, respectivamente y al norte por la vía principal Carretera Silos de Monay-Las Llanadas (tal como se muestra en la Figura 1) y abarca una superficie estimada de 577,33 ha (CIDIAT, 2013).

Un Análisis de Sensibilidad Ambiental permitirá estimar el potencial de afectación (transformación o alteración) que puede sufrir el área de influencia físico-natural del Proyecto, como resultado de la alteración de los procesos físicos, químicos y biológicos.

En tal sentido, el Análisis de Sensibilidad Ambiental en el área de influencia físico-natural de la Planta de Alimentos Balanceados en el estado Trujillo tiene como objetivos: i) identificar los niveles de sensibilidad ambiental del área en estudio, ii) servir de instrumento para la determinación de la intensidad en la evaluación de los impactos ambientales, iii) suministrar información útil en la toma de decisiones y iv) corroborar y validar el método utilizado dentro de la valoración de impactos ambientales.

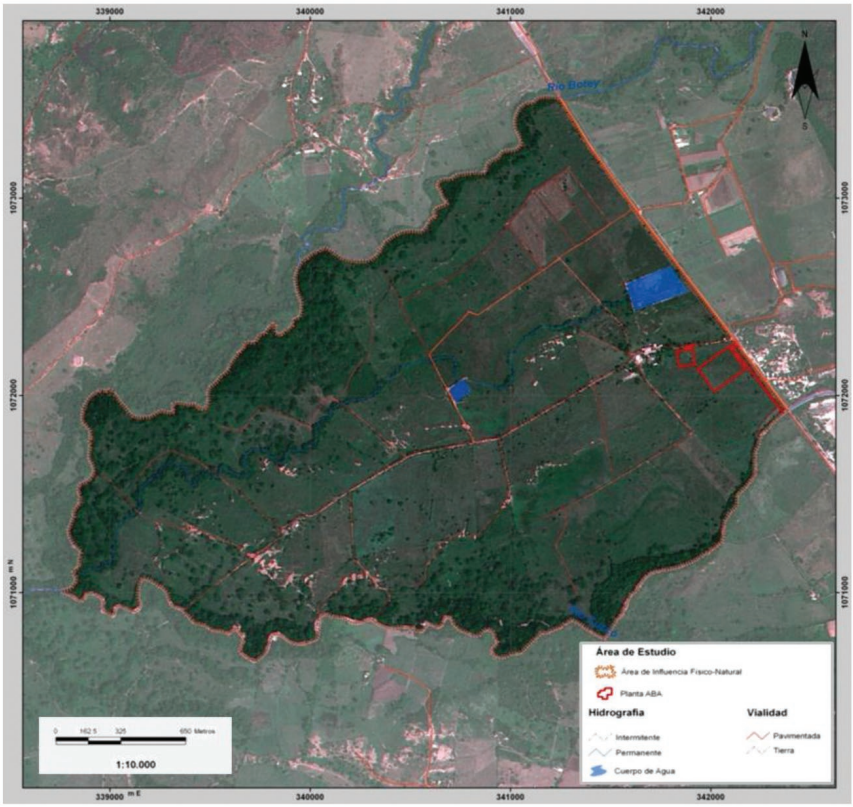

Figura 1. Área de influencia físico-natural del Proyecto
Fuente: CIDIAT (2013)

Características generales del área de estudio

El área de estudio está ubicada en el sector Norte de la Sabana de Monay, entre los ejes de los Ríos Botey y Río Cuzco (Seco o San Felipe), al Norte del eje del Río Carache. El sector estudiado, como parte de una amplia depresión tectónica rellenada por sedimentos, no presenta ejes de falla. Sin embargo, estos sí se manifiestan como una extensa red al Este y al Sureste, definiendo el sector vecino de lomas y colinas del piedemonte de la Cordillera de Trujillo. El sitio de emplazamiento de la Planta de Alimentos Balanceados, corresponde con una terraza alta, con suelos predominantemente de granulometría fina, que fue cubierta parcialmente por un manto

coluvio-aluvial muy localizado, de granulometría gruesa, lo cual conformó, desde el punto de vista fisiográfico, un banco alto con pequeñas depresiones adyacentes, o bajíos.

El clima que se encuentra en el área de estudio posee características de un clima tropical. Este clima está influenciado por la convergencia intertropical, la cual asciende del Ecuador hasta aproximadamente los 10º de Latitud Norte y afecta al territorio venezolano a partir de los meses de abril y mayo, lo que coincide con el comienzo de la estación lluviosa o periodo de invierno. Durante este período están soplando los vientos alisios desde el norte hacia la zona ecuatorial, llegando hasta aproximadamente los 4º de latitud Norte (MARN, 1984). Debido a su altitud promedio, el área de estudio se ubica dentro el piso térmico caluroso. Desde el punto de vista climático, el área, se ubica en la franja altitudinal ("piso climático" o "piso térmico") llamada Tropical Cálido.

En un marco hidrológico regional, el área de influencia establecida para el estudio se encuentra rodeado de las cuencas de los Ríos Monaicito, Jirarajara, Bonilla, Carache y, como se mencionó anteriormente dentro de las cuencas de los Ríos Cuzco y Botey. El CIDIAT (2013), expresa que la superficie de las cuencas de los Ríos Botey y Cuzco, hasta el sitio de su confluencia, fue calculada en 143,52 km2 (Río Botey), y en 73,55 km2 (Río Cuzco). La pendiente media de estas cuencas es de 20 %. Las aguas subterráneas que transcurren por depósitos aluviales del cuaternario forman acuíferos frecuentemente extensos de tipo granular con una permeabilidad generalmente alta, mientras que la Formación Misoa tiene acuíferos locales de tipo fisurado de areniscas y/o conglomerados con una permeabilidad variable.

La vegetación originalmente presente en esta localidad correspondía a bosques siempre verdes o semideciduos, los cuales han sido deforestados en una amplia superficie para ser sustituidos por pastizales con fines ganaderos o tierras agrícolas. En la actualidad predominan comunidades herbáceas en pastizales o sabanas abiertas dominadas por los géneros Brachiaria y Panicum, las cuales

poseen un carácter arbolado en algunos sectores, como resultado de la regeneración de especies propias de ecosistemas boscosos confinados a las riberas de los Ríos Cuzco y Botey. Estos bosques se distribuyen en franjas muy estrechas y de escasa continuidad, en virtud de los efectos de extracciones selectivas de maderas y deforestaciones ocurridas en años previos.

En lo que respecta a la fauna silvestre, las comunidades que habitan el área de estudio están dominadas por especies de la provincia biogeográfica llanera en su zona de contacto con el piedemonte andino, existiendo una mayor proporción de componentes omnívoros, insectívoros y frugívoros propios de ambientes caracterizados por la presencia de una matriz herbácea continua, interrumpida por franjas boscosas estrechas influenciadas por aislamiento ecológico y efectos de borde.

Materiales y métodos

Fase de recopilación, generación, organización y análisis de la información temática básica del área de influencia físico-natural del Proyecto

En esta fase se procedió a la:

- Recopilación, organización y análisis de las investigaciones realizadas sobre el área de influencia físico-natural del Proyecto y áreas aledañas.

- Elaboración del mapa base del área de influencia físico-natural, para lo cual se consideró una Imagen Multiespectral Spot 5 Nº 652-331 del año 2009, puesto que, la Hoja de Cartografía Nacional 6145 III SO a escala 1:25.000 sobre la cual cae el Proyecto, carece de información sobre el área a ocupar y afectar por el mismo.

- Recopilación de información físico-natural en el área de influencia, en el caso del subcomponente suelo, se procedió a la ejecución de un inventario de las unidades de suelos presentes en

el área, considerando para ello seis puntos de muestreo, ubicados estratégicamente sobre las diferentes unidades geomorfológicas del área. Para el caso de las unidades ecológicas, fue realizada en la zona una evaluación ecológica rápida de los ecosistemas existentes. Respecto a las aguas subterráneas fueron analizados distintos estudios de disponibilidad de este recurso en el área.

Fase de determinación de los factores y restricciones a ser considerados en el Análisis de Sensibilidad Ambiental

El Análisis Multicriterio propuesto, basado en el método de ponderación considera dos (2) tipos de criterios: *factores* y *restricciones*. Los factores son generalmente continuos y ellos indican la idoneidad relativa de ciertas áreas; y las restricciones son siempre de carácter Booleano y sirven para excluir ciertas zonas dentro del área en estudio. Para efectos del Proyecto evaluado, considerando tanto las características específicas del mismo, como las condiciones naturales del área de influencia se consideró sólo una restricción y cuatro criterios denominados factores (ver Tabla 1), que determinarán la sensibilidad ambiental del sitio.

Tabla 1. Factores y restricciones, consideradas en el análisis multicriterio

Criterios	
Factores	**Restricción**
Sensibilidad de unidades de tierra por Capacidad de Uso	Sensibilidad de los cuerpos de agua
Susceptibilidad del suelo por procesos de erosión hídrica	
Vulnerabilidad de acuíferos	
Sensibilidad de las unidades ecológicas	

Fuente: Elaboración propia

Fase de elaboración de Mapas de Sensibilidad Ambiental para cada factor y restricción

Determinación del mapa de sensibilidad de unidades de tierra por Capacidad de Uso

La Capacidad de Uso de la tierra es un agrupamiento de tierras en clases y subclases, con base en sus potencialidades y limitaciones (restricciones) para sus usos agrícolas generales. Las tierras de clases más bajas tienen menos limitantes o más potencialidades para su uso con respecto a las tierras de clases más altas (Comerma y Arias, 1971). Pudiéndose inferir entonces que la afectación de unidades con mejor capacidad de uso agropecuario por el emplazamiento de alguna obra de infraestructura, representaría daños irreversibles a la capacidad productiva de la tierra, razón por la cual estas unidades son catalogadas con mayor índice de sensibilidad, tal como se expresa en la Tabla 2.

Tabla 2. Sensibilidad de las unidades de tierra por clasificación de uso

Clasificación de uso de la tierra	Sensibilidad
I , II y III	Alta
IV, V y VI	Moderada
VII y VIII	Baja

Fuente: Elaboración propia

Determinación del mapa de susceptibilidad del suelo por procesos de erosión hídrica

La erosión hídrica es un proceso continuo que consiste en la separación de las partículas y agregados de la masa del suelo, su transporte y sedimentación, siendo el agente activo el agua, (Cubero, 1994, citado por Márquez, 2009) expresa que los factores físicos que definen la susceptibilidad del suelo a la erosión son:

a. El clima. La capacidad erosiva de la lluvia es una función de su intensidad y duración, mientras más altas sean las tasas de precipitación el suelo es más vulnerable a ser erosionado.
b. La topografía. A medida que aumenta el grado de la pendiente o se incrementa la longitud de la pendiente, la velocidad y el volumen del agua de escorrentía aumentan su poder erosivo.
c. El suelo. Desde el punto de vista de la textura, en caso de lluvias

intensas los suelos con un alto porcentaje de limo o de arcilla son muy susceptibles a la erosión, mientras que suelos arenosos poseen gran capacidad de infiltración, aunque el bajo poder de coherencia de sus agregados favorece el arrastre de los mismos.

Considerando lo expuesto, para el caso del Proyecto en evaluación, la susceptibilidad del suelo por riesgos de procesos de erosión hídrica se estimó por la relación de dos (2) factores físicos como son la topografía y los materiales del suelo.

La relación antes mencionada, establecerá el riesgo de erosión hídrica del suelo, a través del método propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), en su Guía de Irrigación (1997). Este método estima el riesgo de erosión mediante el resultado del producto del porcentaje de la pendiente y la erosionabilidad del suelo (Figura 2). El factor pendiente fue determinado por mediciones directas en campo, para cada unidad de suelo, mientras que la erosionabilidad del suelo fue estimada considerando el método propuesto por Kirkby y Morgan, 1980 que relaciona textura y porcentaje de materia orgánica, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores estimado de K, según Kirkby y Morgan (1980)

	Contenido de materia orgánica (%)				
Textura del suelo	**< 0,5**	**2,0**	**4,0**	**6,0**	**10,0**
Arenoso (a)	0,007	0,004	0,003	0,002	0,001
Arenoso (a) fino	0,021	0,018	0,013	0,009	0,004
Arenoso (a) muy fino	0,055	0,047	0,037	0,027	0,015
Areno-francoso (aF)	0,016	0,013	0,011	0,009	0,005
Areno-francoso (aF) fino	0,032	0,026	0,021	0,017	0,012
Areno-francoso (aF) muy fino	0,058	0,050	0,040	0,030	0,015
Franco-arenoso (Fa)	0,036	0,032	0,025	0,016	0,011
Franco-arenoso (Fa) fino	0,046	0,040	0,032	0,024	0,018
Franco-arenoso (Fa) muy fino	0,062	0,054	0,043	0,032	0,020
	Contenido de materia orgánica (%)				
Textura del suelo	**< 0,5**	**2,0**	**4,0**	**6,0**	**10,0**
Franco (F)	0,030	0,045	0,038	0,030	0,021
Franco-limoso (FL)	0,063	0,055	0,043	0,031	0,019
Limoso (L)	0,079	0,068	0,055	0,050	0,045
Franco-arcillo-arenoso (FAa)	0,036	0,033	0,028	0,023	0,018
Franco-arcilloso (FA)	0,037	0,033	0,028	0,023	0,018
Franco-arcillo-limoso (FAL)	0,049	0,042	0,034	0,026	0,020
Arcillo-arenoso (Aa)	0,018	0,017	0,016	0,015	0,013
Arcillo-limoso (AL)	0,033	0,030	0,025	0,020	0,015
Arcilloso (A)	0,038	0,034	0,030	0,025	0,017

Fuente: Kirkby y Morgan (1980)

Determinación del mapa de vulnerabilidad de acuíferos

El riesgo a la contaminación de un acuífero se refiere a la potencialidad de alteración de la calidad natural del agua subterránea, por cambios en sus propiedades físicas, químicas o biológicas, ya sea como consecuencia directa o indirecta de la actividad del hombre o por razones naturales. Esto provoca que el agua pueda ser impropia para los usos a los que se destinaba antes de la contaminación, pero no necesariamente para otros en donde la normativa de calidad lo permita. La sola presencia de elementos o sustancias contaminantes en una fuente no implica que estos estén migrando hacia el acuífero, sino es la interacción entre la carga contaminante y la vulnerabilidad del acuífero que determina el riesgo de contaminación del mismo.

	Erosionabilidad del suelo (K)											
Pendiente (S, en %)	.10	.15	.17	.20	.24	.28	.32	.37	.43	.49	.55	.64
0.1	.01	.02	.02	.02	.02	.03	.03	.04	.04	.05	.06	.06
0.2	.02	.03	.03	.04	.05	.06	.06	.07	.09	.10	.11	.13
	Ligero											
0.3	.03	.05	.05	.06	.07	.08	.10	.11	.13	.15	.17	.19
0.4	.04	.06	.07	.08	.10	.11	.13	.15	.17	.20	.22	.26
0.5	.05	.08	.09	.10	.12	.14	.16	.19	.22	.25	.28	.32
1.0	.10	.15	.17	.20	.24	.28	.32	.37	.43	.49	.55	.64
1.5	.15	.23	.26	.30	.36	.42	.48	.56	.65	.74	.83	.96
	Moderado											
2.0	.20	.30	.34	.40	.48	.56	.64	.74	.86	.98	1.10	1.28
3.0	.30	.45	.51	.60	.72	.84	.96	1.12	1.29	1.47	1.65	1.92
4.0	.40	.60	.68	.80	.96	1.12	1.28	1.48	1.72	1.96		
5.0	.50	.75	.85	1.00	1.20	1.40	1.60					
6.0	.60	.90	1.02	1.20	1.44	1.68						
7.0	.70	1.05	1.19	1.40	1.68							
			Severo									
8.0	.80	1.20	1.36	1.60								
9.0	.90	1.35	1.53									
10.0	1.0	1.50										

Clase de Riesgo	Valor S*K
Ligero	<0.2
Moderado	0.2 - 1.0
Severo	>1.0

Figura 2. Relación erosionabilidad / pendiente y riesgo de erosión hídrica
Fuente: USDA (1997). Con modificaciones propias

El concepto de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas está ligado a una cualidad del medio geológico que las contiene, que ofrece un cierto grado de protección a la contaminación de las aguas debido a sus características hidráulicas intrínsecas (porosidad, permeabilidad, espesor, capacidad de cambio, etc.), atenuadoras de la carga contaminante original

(Generalitat Valenciana, 1998). La contaminación de los acuíferos puede ser de carácter físico, químico y biológico; en el caso del Proyecto "Planta de Alimentos Balanceados", el principal riesgo sobre el acuífero lo representa la contaminación química por posible introducción al recurso subterráneo de combustibles de los tanques de almacenamiento, derivada de posibles fugas en los mismos. Dependiendo de los procesos de transporte de los contaminantes, asociados a las propiedades hidráulicas de las rocas del medio, los agentes pueden alcanzar en un tiempo determinado el nivel de las aguas subterráneas, produciendo la alteración de sus propiedades. Estos impactos ambientales pueden generar que hábitats completos se afecten de forma importante y que su recuperación se realice en periodos de tiempo extremadamente largos, ya que la degradación de forma natural de la más simple de estas sustancias, sucede en teoría, en varias decenas de años después.

Conforme a lo anterior, se hace necesario estimar la vulnerabilidad del acuífero en el área de influencia del Proyecto, para esto se consideró la metodología GOD, desarrollada por Foster en 1987 (citada por Díaz y Yori, 2008), que requiere como datos de entrada sólo tres (3) variables, que son:

- Groundwater (G). Se refiere a la condición de confinamiento del acuífero.
- Overall (O). Este parámetro incluye una caracterización global de la zona que subyace el acuífero, en cuanto a la naturaleza litológica (arcillosidad), al grado de consolidación y el fracturamiento de la roca.
- Depth (D). Profundidad del nivel freático en acuíferos libres o profundidad del estrato litológico confinante, en acuíferos cautivos.

En el método GOD, se han establecido valores numéricos para cada uno de los parámetros anteriores, de acuerdo con su contribución en la defensa de los acuíferos a la contaminación. Las escalas de valores presentan una graduación entre cero y uno, siendo menor en cuanto más contribuyan las características del parámetro en la atenuación de contaminantes. El grado de

vulnerabilidad se determina multiplicando los valores asignados a cada parámetro, obteniéndose índices totales entre 0 y 1, donde el cero "0", representa un grado de vulnerabilidad despreciable y el "1" la máxima vulnerabilidad a la contaminación. Este modelo también acepta la incorporación de una cuarta variable "Soil (S)", al ser éste modificado por la Pontificia Universidad Católica de Chile (1996), en donde introduce el parámetro S que tiene en cuenta las características texturales de los suelos, definidas con criterio agrológico, tal como se muestra en la Figura 3.

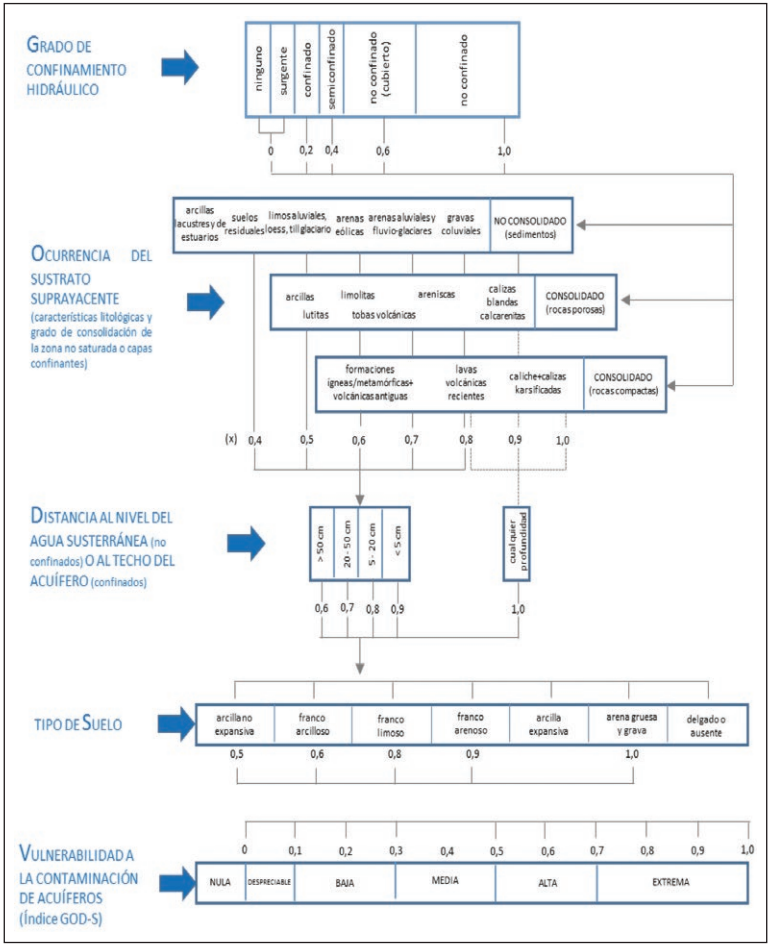

Figura 3. Diagrama para cualificar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, a través del método GODS
Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile (1996)

Determinación del mapa de sensibilidad de las unidades ecológicas

Para estimar el grado de sensibilidad de las diferentes unidades ecológicas o ecosistemas evaluados, se realizó un análisis integral que pondera el valor relativo de una serie de atributos ecosistémicos y comunitarios (Tabla 4), con base en el conocimiento y la experticia de los expertos involucrados.

Los criterios utilizados para la selección y cuantificación de dichos atributos son descritos en la Tabla 5, considerando cuatro categorías de sensibilidad con un rango de valores donde el mínimo es 0 y el máximo es 3. La sumatoria de los resultados obtenidos, en función de los criterios definidos, permite ponderar un valor numérico único para cada unidad ecológica, que representa la sumatoria de los valores parciales asignados; la máxima expresión esperada para esta sumatoria sería 27 y correspondería a un ecosistema donde la totalidad de sus atributos le confieren la más alta sensibilidad; de esta manera, se pueden definir tres categorías ajustadas a los siguientes rangos: baja (< 8); media (9-16) y alta (>17).

Determinación del mapa de sensibilidad de los cuerpos de agua

Considerando que esta es una restricción establecida en la normativa ambiental vigente, para estimar ¿Cuáles zonas dentro del área de influencia físico-natural del Proyecto?, se consideró la disposición impuesta por la Ley de Aguas (2007), en el parágrafo 2, de su Artículo Nº 54, que dicta:

1. "Las zonas protectoras de cuerpos de agua tendrán como objetivo fundamental proteger áreas sensibles de las ¿Cuáles depende la permanencia y calidad del recurso y la flora y la fauna silvestre asociada?."

Se declaran como zonas protectoras de cuerpos de agua, con arreglo a esta Ley: …

2. "La superficie definida por una franja de trescientos metros a ambas márgenes de ríos, medida a partir del borde del área ocupada

por las crecidas correspondientes a un período de retorno de dos coma treinta y tres (2,33) años…"

Fase de obtención de pesos para cada Factor y Análisis Multicriterio

Para la obtención de este insumo requerido por la metodología utilizada para el Análisis de Sensibilidad Ambiental enmarcado en el peso de cada factor, se usó la técnica de comparación por pares desarrollada por Saaty (2000) en el contexto de un proceso de toma de decisión conocido como proceso de análisis jerárquico. La comparación se refiere a la importancia relativa que guardan entre sí los diversos criterios o factores considerados.

Tabla 4. Criterios y atributos utilizados para estimar las sensibilidades potenciales de las diferentes unidades ecológicas evaluadas en el área de influencia físico-natural del Proyecto

Ámbito nacional
Unicidad.- Considera la distribución geográfica y cobertura de una determinada unidad en el ámbito nacional, tomando en cuenta los mapas de vegetación más recientes. **Valores extremos: 0=** Muy amplia y cosmopolita; **3=** Restringida.
Grado* de *amenaza.- Fundamentada en las amenazas actuales y potenciales dentro de ámbito geográfico que abarca cada unidad (e. g., desarrollo turístico y urbanístico, ampliación de fronteras agrícolas, deforestaciones extensivas) y tomando en cuenta su disposición espacial (e. g., longitudinal, insular, continua). **Valores extremos: 0=** Disposición muy amplia y continua en áreas con ninguna presión de desarrollo; **3=** Insular o longitudinal en áreas con desarrollo intensivo.
Valor biológico-patrimonial.- Referido a la proporción de especies representativas de la flora o fauna autóctonas de Venezuela, en contraste con la presencia de especies exóticas cultivadas o domesticadas. **Valores extremos: 0=** Ausencia de especies autóctonas; **3=** Dominancia de especies autóctonas.

Continuación. Tabla 4. Criterios y atributos utilizados para estimar las sensibilidades potenciales de las diferentes unidades ecológicas evaluadas en el área de influencia físico-natural del Proyecto

Ámbito local
Disposición espacial.- Basada en la configuración y diseño espacial que muestra una unidad dentro del área de estudio y sus posibles implicaciones sobre aspectos como: aislamiento ecológico, efecto de borde, presencia de especies invasoras y potenciales de extinción local. **Valores extremos: 0=** Muy amplia y continua; **3=** Insular o en bandas estrechas. **Nivel de intervención.-** Fundamentada en una estimación del potencial de afectación de la condición prístina de una determinada unidad, tomando en cuenta su estado actual de conservación. **Valores extremos: 0=** Con un potencial mínimo de afectación de su condición prístina, ya que presenta un nivel de intervención muy alto; **3=** Con un elevado potencial de afectación, debido a que evidencia condición prístina plena. **Potencial de fragilidad y resiliencia.-** Estima la fragilidad y capacidad relativa de resiliencia de una unidad, en función de factores como: altas pendientes, presencia de suelos inestables, predominio de especies umbrófilas de crecimiento lento o sensibles a cambios microambientales, existencia de altos potenciales de colonización de especies invasoras. **Valores extremos: 0=** Muy baja fragilidad y alta resiliencia; **3=** Alta fragilidad y baja resiliencia. **Diversificación.-** Referida al grado de diversificación que muestran la flora y la fauna silvestre de una unidad, tomando en cuenta la información disponible sobre la composición taxonómica de sus comunidades animales y vegetales en el ámbito geográfico donde se inserta el área de estudio. **Valores extremos: 0=** Con un grado mínimo de diversificación; **3=** Altamente diversificada. **Presencia de especies peculiares.-** Basada en una estimación de la cantidad relativa de especies ecológicamente relevantes o que pudieran estar amenazadas (incluye aquellas señaladas en los listados rojos o cuya biología depende de la presencia de estratos vegetales altamente sensibles a los procesos de intervención en una determinada unidad). **Valores extremos: 0=** Ausentes o casi ausentes; **3=** Muy alta. **Nivel de protección.-** Considera la existencia *in situ* de de medidas proteccionistas que pudieran disminuir el grado de amenaza o el potencial de afectación de una unidad (e. g., zona protectora, parque municipal, zona de resguardo, etc.). **Valores extremos: 0=** Altamente protegida; **3=** Sin ninguna protección.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Estimación de sensibilidades potenciales para cada una de las unidades ecológicas evaluadas en el área de influencia físico-natural del Proyecto. BOR= Bosques ribereños, SPR= Sabanas/pastizales arbolados y SPA= Sabanas abiertas. Los valores asignados en función de cada criterio varían en un rango del 1 al 3, siendo el valor máximo= 3

Unidad	Unicidad	Grado de amenaza nacional	Valor biológico-patrimonial	Disposición *in situ*	Nivel de intervención	Fragilidad/ resiliencia	Diversificación	Especies peculiares	Protección *in situ*	Valor
BOR	Predominio en áreas piemontanas y planicies llaneras del norte de Venezuela, con una cobertura baja y discontinua (S= 2)	Patrón de distribución insular y en bandas sometidas a efectos de borde; baja cobertura por unidad y en áreas con altas presiones de desarrollo agropecuario (S=3)	Integrados por algunas especies autóctonas y con valor ecológico y patrimonial (S=2)	Cobertura relativamente baja, con un patrón en bandas muy estrechas altamente fragmentadas por deforestaciones (S= 3)	Medio-alto (S= 2)	Suelos inestables; regeneración media; presencia de especies invasoras altamente competitivas; comunidades medianamente complejas en términos gremiales y presencia de sólo algunas especies dependientes de la estabilidad del sotobosque y la continuidad del dosel, en virtud del grado de intervención (S= 2)	Media, debido al nivel alto de perturbación (S= 2)	Muy pocos taxa amenazados, así como animales arborícolas o dependientes de la continuidad del dosel; predominio de especies faunísticas omnívoras, insectívoras o frugívoros asociadas con estadios serales primarios y los estratos inferiores de la vegetación; abundancia de plantas heliófilas y especies animales adaptadas a microclimas típicos de bosques secundarios. (S=2)	Escasa (S= 2)	**20**

Tabla 5. (Continuación). Estimación de sensibilidades potenciales para cada una de las unidades ecológicas evaluadas en el área de influencia físico-natural del Proyecto. BOR= Bosques ribereños, SPR= Sabanas/pastizales arbolados y SPA= Sabanas abiertas. Los valores asignados en función de cada criterio varían en un rango del 1 al 3, siendo el valor máximo= 3

Unidad	Unicidad	Grado de amenaza nacional	Valor biológico-patrimonial	Disposición *in situ*	Nivel de intervención	Fragilidad/ resiliencia	Diversificación	Especies peculiares	Protección *in situ*	Valor
SPR	Todo el país, con una cobertura amplia y continua (S= 1)	Áreas extensas, con una proporción importante de su cobertura en asociación con zonas en desarrollo (S= 1)	Integrados en su mayoría por especies resistentes a condiciones extremas o exóticas de bajo valor biológico-patrimonial (S=1)	Cobertura media, con un patrón en bandas periféricas, ubicadas entre los bosques ribereños y las sabanas abiertas (S= 2)	Alto (S= 1)	Regeneración rápida, comunidades simplificadas en términos gremiales, presencia de especies con alta capacidad de colonización y dependientes de estratos inferiores (S= 1)	Baja (S= 1)	Pocos *taxa* amenazados y algunos dependientes de la presencia del estrato herbáceo y cultivos (S= 1)	Moderada (zonas protectoras por decreto) (S= 2)	**11**
SPA	Tierras medias y bajas en todo el país, con una cobertura amplia y continua (S= 1)	Áreas extensas, con una proporción importante de su cobertura en asociación con zonas en desarrollo (S= 1)	Integrados en su mayoría por especies exóticas de bajo valor biológico-patrimonial (S=1)	Cobertura media y con un patrón insular (S= 2)	Alto (S= 1)	Regeneración rápida, comunidades simplificadas en términos gremiales, presencia de especies con alta capacidad de colonización y dependientes de estratos inferiores (S= 1)	Baja (S= 1)	Pocos *taxa* amenazados y algunos dependientes de la presencia del estrato herbáceo (S= 1)	Moderada (zonas protectoras por decreto) (S= 2)	**11**

Fuente: Elaboración propia

Para establecer la importancia relativa o peso de cada factor, se desarrolló un proceso metodológico que contempla la realización de una serie limitada de encuestas, mediante la cual se solicita a diferentes expertos (especialista o decisor) que, en cada uno de los factores considerados, se le asigne un peso relativo a la comparación entre dos alternativas, tal y como lo requiere el método Saaty utilizado. Para los propósitos de este análisis se asume que:

i. Un factor no puede tener la misma importancia que otro.
ii. El grado de importancia de un factor con respecto a otro, sólo tiene las dos opciones de: 1) mayor importancia, o 2) menor importancia.

El número de factores usados en la comparación por pares fue de cuatro (4), los cuales se plasmaron en una matriz cuadrada de 7 x 7 (Tabla 6), que posteriormente se suministró a dieciséis (16) especialistas para su análisis y asignación definitiva de los pesos requeridos por el método.

Una vez recopilada la matriz de comparación por pares, elaborada por cada uno de los especialistas, se procede a calcular el peso correspondiente a cada factor con la ayuda de la herramienta Excel Microsoft Office.

El valor de ponderación de cada factor (*e*) para un especialista o decisor (V*ei*) viene dada por:

$$V_{ei} = \frac{F_{ei}}{P_{es}} \qquad (1)$$

Donde:

- ✓ *Fei* es la frecuencia con la que el factor (*e)* ha sido elegido por el especialista o decisor (*i)*
- ✓ *P*es el número de decisiones de referencia, es decir, el número de juicios emitidos por cada especialista o decisor, el cual viene dado por *n(n-1)/2*, siendo (*n)* el número de factores.

El peso o importancia relativa final de cada elemento se determina entonces mediante la ecuación:

$$V_e = \frac{\sum_{i=1}^{m} V_{ei}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{e=1}^{n} V_{ei}} \qquad (2)$$

Donde:

m = es el número total de jueces o especialistas
n = es el número total de Factores

Tabla 6. Matriz de comparación por pares suministrada a los expertos

Alternativas	Número	Sensibilidad de unidades de tierra por clasificación de uso	Vulnerabilidad del suelo por riesgos de erosión hídrica	Vulnerabilidad de acuíferos	Sensibilidad de las unidades ecológicas
		1	2	3	4
Sensibilidad de unidades de tierra por clasificación de uso	1				
Vulnerabilidad del suelo por riesgos de erosión hídrica	2				
Vulnerabilidad de acuíferos	3				
Sensibilidad de las unidades ecológicas	4				

Fuente: Elaboración propia

Fase de ejecución del Mapa Síntesis de Sensibilidad Ambiental

Una vez obtenidos todos los insumos (mapas de sensibilidad y pesos de los factores), se procede a la aplicación del Análisis Multicriterio, para ello se multiplica cada mapa-factor por su peso y luego se suman, en el módulo MCE (*Multi-CriteriaEvaluation*) de IDRISI 3.2; obteniéndose así un Mapa de Sensibilidad Ambiental para el área de influencia del Proyecto, cuyos valores se encuentran

en el mismo rango que los Mapas de Sensibilidad que se representan como factores. Una vez determinada la sensibilidad para cada uno de los factores considerados, se procedió a la ponderación y superposición de cada una de las capas, a fin de obtener un Mapa de Sensibilidad Ambiental integrada dentro del área de influencia físico-natural del Proyecto. En la Figura 4 se aprecia gráficamente el proceso.

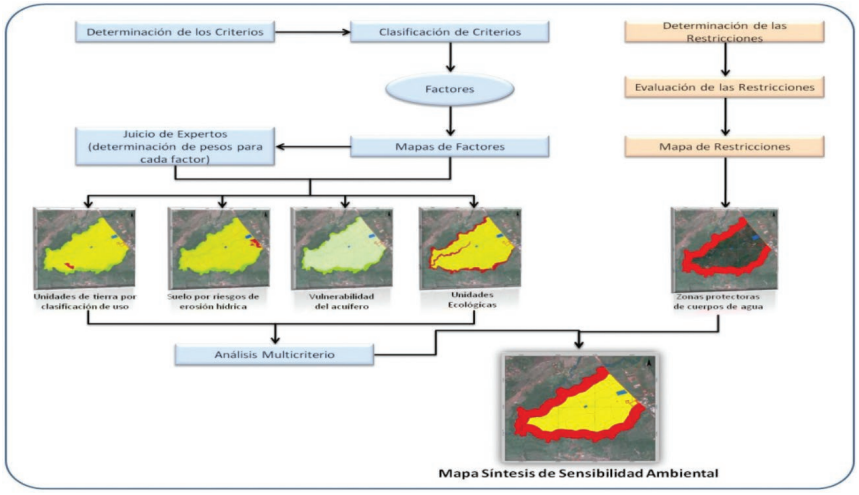

Figura 4. Procedimiento empleado para la determinación del Mapa Síntesis de Sensibilidad Ambiental
Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Como resultado de la implementación de la metodología antes descrita, se obtuvieron tres productos principales: 1) Mapas de Sensibilidad Ambiental, 2) Pesos Relativos para cada uno de los criterios que se representan como factores y 3) un Mapa Síntesis de Sensibilidad Ambiental.

- El criterio de sensibilidad de unidades de tierra por clasificación de uso, evaluado en función a las características que

identifican las clases de tierra (ver Tabla 7), se tiene que la mayor superficie del área a afectar según este criterio se localiza dentro de una baja sensibilidad con 87,44%, seguido de una sensibilidad baja y alta con 11,69% y 0,87% respectivamente tal como se muestra en la Figura 5.

- Con respecto al segundo criterio referido a la vulnerabilidad del suelo por riesgos de erosión hídrica, se tiene que el área en estudio es medianamente sensible a los procesos de erosión hídrica (ver Tabla 8), considerando los procesos de desgaste, transporte y deposición de las partículas, con 86,892% del total de la superficie, las zonas de baja sensibilidad a la erosión hídrica abarca un 1,55% del área de estudio y sólo 1,56% de la superficie corresponde a sensibilidad alta, tal como se muestra en la Figura 6.

Tabla 7. Sensibilidad de las unidades de tierra por clasificación de uso en el área de influencia físico-natural del Proyecto

Unidad de suelo	Clasificación de uso de la tierra	Sensibilidad
Banco (BA)	IV_S	Moderada
Terraza alta (TA)	III_S	Moderada
Bajío (Bj)	VII_D	Baja
Terraza baja (TB)	II_D	Alta
Llanura aluvial (Lla)	III_D	Moderada
Vega de río (Vr)	VI	Baja

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Riesgos de erosión hídrica, de cada unidad de suelo

Unidad de suelo	S * K	Riesgo	Vulnerabilidad
Banco (BA)	1,14	Severo	Alta
Terraza alta (TA)	0,285	Moderado	Media
Bajío (Bj)	0,305	Moderado	Media
Terraza baja (TB)	0,285	Moderado	Media
Llanura aluvial (Lla)	0,305	Moderado	Media
Vega de río (Vr)	0,035	Ligero	Baja

S: Factor Pendiente
K: Factor Erosionabilidad
Fuente: Elaboración propia

- En cuanto al criterio de vulnerabilidad de acuíferos, evaluado a partir de la metodología GODs (que clasifica confinamiento del acuífero, la naturaleza litológica (arcillosidad), al grado de consolidación y el fracturamiento de la roca y la profundidad del nivel freático) se tiene que el área total está clasificada como de baja sensibilidad (ver Tabla 9 y Figura 7).

- En cuanto al criterio de sensibilidad de las unidades ecológicas del área de estudio, se tomó en cuenta el interés biológico de estas unidades, evaluando para ello una serie de atributos ecosistémicos y comunitarios y obteniéndose que el 86,55% del área de influencia es medianamente sensible y el 13,45% del área presenta condiciones de alta sensibilidad. como se puede observar en la Figura 8.

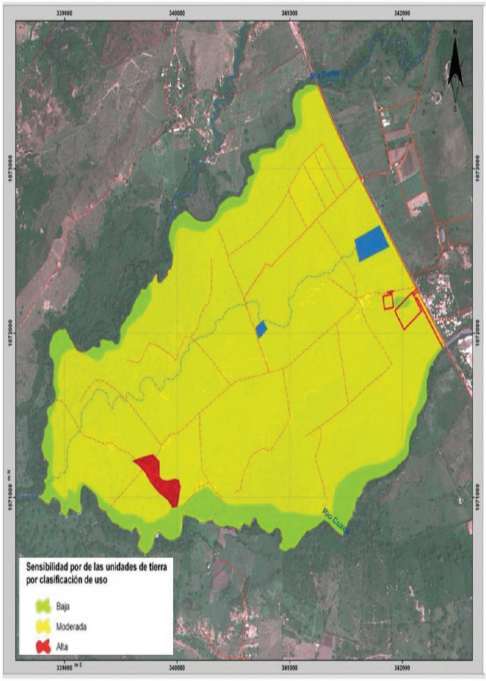

Figura 5. Sensibilidad de unidades de tierra por clasificación de uso
Fuente: Elaboración propia

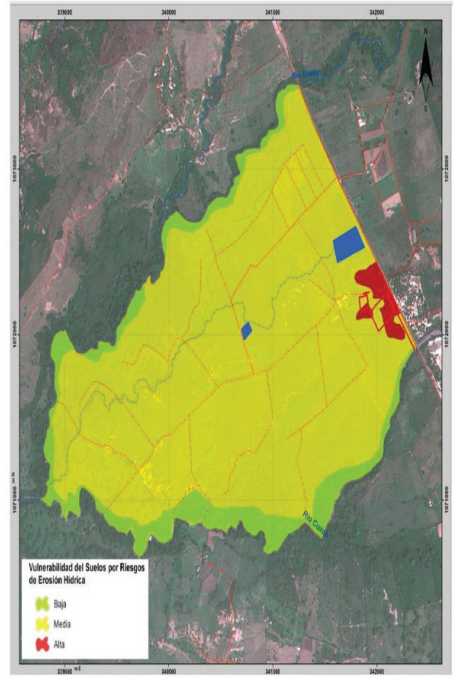

Figura 6. Vulnerabilidad del suelo por riesgos de erosión hídrica
Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Vulnerabilidad del acuífero a contaminación, según la clase textural del suelo

Unidad de suelo, por clase textural	Valoración GODS	Vulnerabilidad
Franco-arenosa (Fa)	0,084	Despreciable
Franco-arcillosa (FA)	0,063	Despreciable
Arenosa (a)	0,105	Baja

Fuente: Elaboración propia

- En este caso las restricciones vienen dadas por las zonas protectoras a los cuerpos de agua establecidas en la Ley de Aguas (2007), definidas por una franja de trescientos metros a ambas márgenes de los ríos, abarcando para el caso del área de influencia físico-natural del Proyecto en evaluación unas 250,65 ha, es decir un 42,61% de la superficie (tal como se puede observar en las Figura 9), correspondiéndose el 57,39 % con la categoría de área no restrictiva.

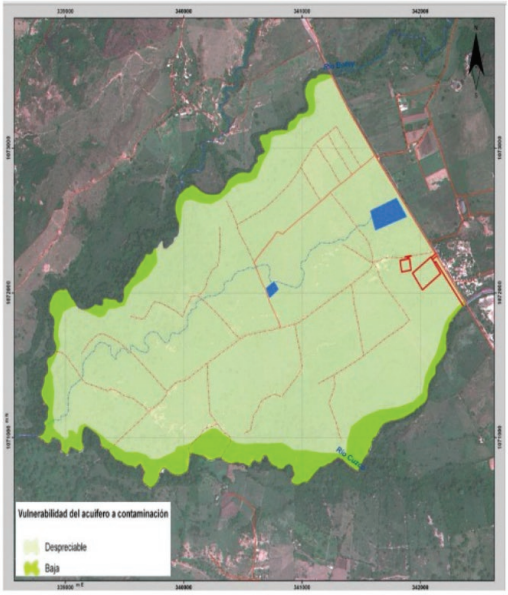

Figura 7. Vulnerabilidad de acuífero
Fuente: Elaboración propia

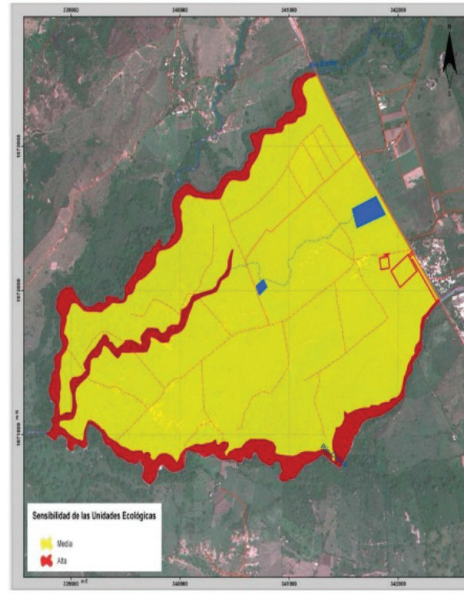

Figura 8. Sensibilidad de las unidades ecológicas
Fuente: Elaboración propia

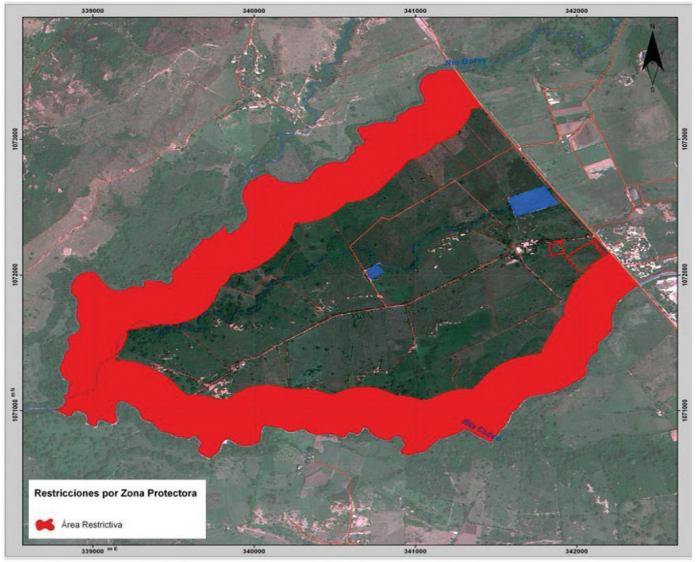

Figura 9. Restricción de zonas protectoras a los cuerpos de agua
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el proceso de *comparación por pares*, desarrollado por los dieciséis (16) especialistas mediante el proceso de consultas, y procesada la información, se obtienen los pesos correspondientes para cada alternativa considerada (Tabla 10). Destacándose, con la mayor importancia, la sensibilidad de la vulnerabilidad del acuífero con 40,1 % seguida por la sensibilidad de las unidades ecológicas en un 32,2 %, y de menor importancia la vulnerabilidad del suelo por riesgos de erosión hídrica y sensibilidad de unidades de tierra por clasificación de uso con 14,3 %, y 13,4 %, respectivamente.

Tabla 10. Pesos obtenidos para los diferentes factores

Alternativas	Número	Sensibilidad de unidades de tierra por clasificación de uso	Vulnerabilidad del suelo por riesgos de erosión hídrica	Vulnera-bilidad de acuíferos	Sensibilidad de las unidades ecológicas	Frecuencia del Juez	Porcentaje de ocurrencia	Resultados
		1	2	3	4			
Sensibilidad de unidades de tierra por clasificación de uso	1					0	0,00	13,4
Vulnerabilidad del suelo por riesgos de erosión hídrica	2					0	0,00	14,3
Vulnerabilidad de acuíferos	3					0	0,00	40,1
Sensibilidad de las unidades ecológicas	4					0	0,00	32,2

Fuente: Elaboración propia

Con los pesos obtenidos para cada factor y los Mapas de Sensibilidad para cada criterio evaluado y considerando la restricción de zonas protectoras a los cuerpos de agua, se procedió a la superposición de cada una de las capas de información, mediante el uso del módulo MCE del Software IDRISI. Esto permitió finalmente sintetizar la Sensibilidad Ambiental del área de influencia físico-natural del Proyecto; obteniéndose que aproximadamente un 57,38 % de esta superficie se clasifica como de media sensibilidad y unos 42,61 % de alta sensibilidad (determinada en su mayoría por restricciones de carácter meramente legal impuestas en la Ley de Aguas, 2007), respectivamente (ver Figuras 10 y 11).

Determinándose que el área donde se emplazará el Proyecto corresponde a una zona medianamente sensible, por lo que se podría determinar preliminarmente, que el emplazamiento de los diferentes componentes del Proyecto podrían afectar moderadamente al ambiente. Este resultado se valida al comparar

la Evaluación de Impacto Ambiental global del Proyecto ejecutada, en la que se obtuvo que la valoración ambiental del Proyecto, fue de -10 indicativo que la clasificación es –B, lo que significa que el mismo se clasifica como de impacto negativo mayor que ligero pero menor que moderado, la metodología de validación es resumida en forma esquemática, en la Figura 12.

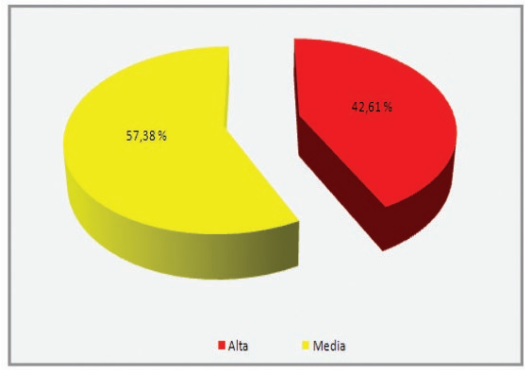

Figura 10. Distribución de la sensibilidad ambiental en el área de influencia físico-natural del Proyecto
Fuente: Elaboración propia

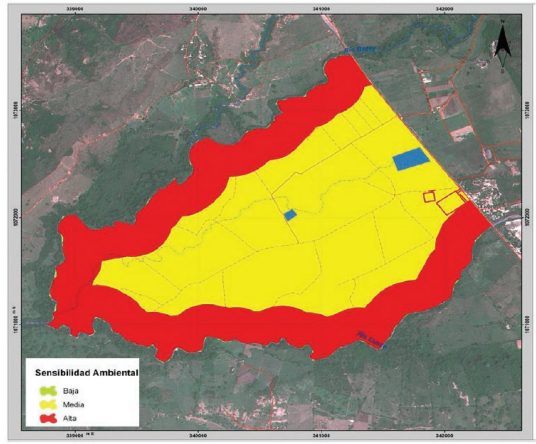

Figura 11. Mapa Síntesis de Sensibilidad Ambiental
Fuente: Elaboración propia

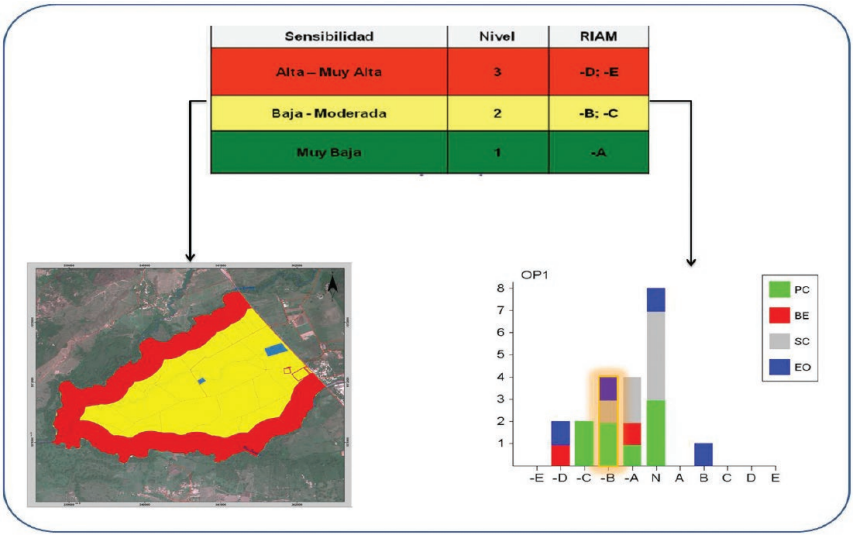

Figura 12. Validación de los resultados de la Sensibilidad Ambiental
Fuente: Elaboración propia

Referencias bibliográficas

CIDIAT. (2013). Estudio de Impacto Ambiental y Socio-Cultural para la "Planta de Alimentos Balanceados San Felipe II– Trujillo". Coordinación de Asistencia Técnica. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.

COMERMA J. Y ARIAS L. (1971). Un sistema para evaluar la capacidad de uso agropecuario de los terrenos de Venezuela. In: Primer seminario sobre clasificaciones interpretativas de suelos con fines agropecuarios. Maracay, Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay. Venezuela.

DÍAZ E. Y F. YORI. (2008). Determinación de la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero al utilizar álgebra de mapas en un sistema de información geográfica. Revista AVANCES Investigación en Ingeniería. Artículo de Investigación Científica y Tecnológica Colombia.

GENERALITAT VALENCIANA. (1998). Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas por actividades urbanísticas en la Comunidad Valenciana, trabajo realizado por EVREN (Evaluación de Recursos Naturales S.A.) en el marco del convenio entre la Universitat Politècnica de València y la Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Valencia. España.

KIRKBY, M. Y MORGAN, R. (1980). Erosión del Suelo. Editorial LIMUSA. Distrito Federal. México.

MARN. (1984). Inventario Nacional de Tierras. Llanos altos occidentales. Programa Inventario Nacional de Tierras (PINT). Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Caracas. Venezuela.

MÁRQUEZ K. (2009). Opciones Técnicas para el Manejo Sostenible de Suelos y Aguas en Cuencas Altas. Trabajo de Grado para optar al Título de Magister Scientiae en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente (con énfasis en Estudio de Impacto Ambiental). CIDIAT – ULA. Mérida. Venezuela.

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. ASAMBLEA NACIONAL. (2007). Ley de Aguas. Gaceta Oficial Nº 38.595 Extraordinario.

REPÚBLICA DE VENEZUELA. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS.

(1976). Hoja Cartográfica N° 6145 III SO [Escala 1:25.000]. Dirección de Cartografía Nacional.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. (1996). Determinación del Riesgo de Contaminación de las Aguas Subterráneas de Santiago, Utilizada para Agua Potable. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, DIDUC, Santiago de Chile.

SAATY, T. (2000). Fundamentals of Decision Making ando Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications. Universidad de Pittsburgh, U. S. A.

USDA (1997). National Engineering Hand book, Irrigation Guide. U.S.A.