



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TRABAJO DE DIPLOMA
En opción al título de Ingeniero Hidráulico

**USOS DEL SUELO Y SU INFLUENCIA SOBRE
LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA SAN JUAN.**

Autora: Celia Rosa Grau Cádiz

**Tutores: Dra.C. Mayelin González Trujillo
Dr.C. Rogelio García Tejera**

**Santiago de Cuba
2020**

Pensamiento

PENSAMIENTO

La ciencia puede divertirnos y
fascinarnos pero es la
ingeniería la que cambia el
mundo.

Issac Asimov

Dedicatoria

DEDICATORIA

A mis padres, por haberme dado la vida, por ser mis guías y mis ejemplos a seguir; por estar a mi lado en todo momento, por ser mis paños de lágrimas, por ser mis confidentes, por ayudarme a superar todos los obstáculos y por compartir conmigo esta gran experiencia de ser su hija.

A mis abuelos, por estar ahí para mí en todo momento y enseñarme a ser una mejor persona cada día.

A mi hermano, (que a pesar de fajarnos todo el tiempo es la luz de mi vida) por permitirme ser su guía y su ejemplo a seguir.

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecerle a Dios por permitirme cumplir uno de mis mayores retos.

A mi papá Rubiel Grau, por enseñarme a no rendirme nunca, por ayudarme a ser una mejor persona y por estar a mi lado en todo momento.

A mi mamá Rubiseida Cádiz, por estar para mí a pesar de mis malacrianzas y de nuestras diferencias, por enseñarme a valorarme como persona, por su cariño su paciencia.

A Yayi y Héctor, por ser mis segundos padres, por influir en mi crianza, por darme todo su cariño y su apoyo desde que soy una niña.

A mis abuelos Miriam, Lauriano y Frank, por consentirme y ratificarme siempre las buenas costumbres para lograr ser mejor persona cada día.

A toda mi familia, por estar siempre al pendiente mí y por apoyarme en toda circunstancia.

A Adrian Hernández, por ser ante todo más que mi pareja mi amigo, por ser mi confidente durante todos estos años, por ser mi paño de lágrimas y permitirme compartir a su lado tantos momentos inolvidables.

A mi tutora Mayelín, por dedicarme tanto tiempo con gran dedicación, por ser más que una profesora para mí, por guiarme y apoyarme durante estos años de estudiante universitaria.

A todos los profesores del departamento de Ingeniería Hidráulica, en especial a Paula, Alain, Pedro, Fernando Álvarez, Onel, Pavel y Marino, por convertirme en una mejor profesional.

A Rosmeri, por ser una amiga incondicional, por sacarme de quicio muchas veces, por su apoyo en todo momento y por estar ahí sin importar las circunstancias.

A Yasenia, por permitirme ser como una hermana mayor y una gran amiga, y a sus padres por todo el cariño que me han brindado.

A Yaneiky, Leidys, Gretel y Eliannis, por ser mis mejores amigas a pesar de la distancia.

A mi hermano de la universidad Góngora, por servirme de ejemplo y de guía.

A todos mis compañeros de aula, en especial a mis amigos Lachi, David, Yaima, Danay, Mirliobis, Luis, José Luis, Carlitos, Reinier, Wilson, Titi y demás.

A mis amistades que ya se graduaron pero que siempre formarán parte de mi vida Yuri, Yoan, Leo, Edier, Alejandro, Yisel, Dianerys, Darlena y Adachely.

A Marilín, por abrirme las puertas de su casa y acogerme como su familia, por ser como una madre, por guiarme, cuidarme y apoyarme en todo momento.

A las carpenteras Oibis, Susel y Leidys por convertirse en una familia para mí, al igual que Yamilsi.

A (las Marías) Orquídea, Leyanet, Anabel y Chiqui, por convivir día a día junto a mí.

A todas las amistades que la universidad me ha dado la oportunidad de conocer, en especial a Rafa, Elisita, Nayibis y María.

A todas aquellas personas que de alguna manera forman parte de mi vida.

A todos, muchas gracias.

Resumen

RESUMEN

La presente investigación se realiza en la cuenca hidrográfica San Juan, ubicada en la provincia de Santiago de Cuba; la misma tiene como objetivo valorar la influencia del uso del suelo en la calidad de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica San Juan. Se utilizan como métodos de investigación inducción- deducción, análisis-síntesis y elementos de la metodología expuesta por Jorge Mario Vera Rodríguez y Adriana Paola Albarracín Calderón. Se obtuvieron como resultados una propuesta metodológica adaptada de la metodología antes mencionada para determinar la vulnerabilidad existente en la cuenca, el mapa de vulnerabilidad por subcuencas y la influencia negativa del uso del suelo sobre los recursos hídricos, en específico el acuífero San Juan, siendo las subcuencas de mayor vulnerabilidad las que abarcan más del 90% del área del acuífero.

Abstract

Abstract

The present investigation is carried out in the San Juan hydrographic basin, located in the province of Santiago de Cuba; it aims to assess the influence of land use on the quality of water resources in the San Juan watershed. Research methods, induction, analysis, synthesis and elements of the methodology exposed by Jorge Mario Vera Rodríguez and Adriana Paola Albarracín Calderón. As a result, a methodological proposal adapted from the aforementioned methodology was obtained to determine the existing vulnerability in the basin, the map of defects by sub-basins and the negative influence of land use on water resources, specifically the San Juan aquifer, the most vulnerable sub-basins which cover more than 90% of the aquifer area.

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. ASPECTOS TEÓRICOS-CONCEPTUALES DEL USO DEL SUELO	5
1.1 Definición, clasificación e importancia de una cuenca hidrográfica.....	5
1.2 Problemas ambientales en la cuencas hidrográficas	8
1.3 Influencia del Cambio Climático en las cuencas hidrográficas.....	9
1.4 El suelo y sus usos en la cuenca hidrográfica.....	9
1.5 Relación entre el uso del suelo y la calidad de los recursos hídricos.....	10
1.6 Uso de suelo	10
1.6.1 Cambio de uso de suelo.....	11
1.7 Metodologías de trabajo en los estudios de vulnerabilidad de los recursos hídricos.....	12
CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	14
2.1 Metodología de trabajo.....	14
2.2 Caracterización de la zona de estudio	17
2.2.1 Ubicación de la cuenca hidrográfica San Juan	17
2.3 Características físicas de la cuenca hidrográfica San Juan	20
2.3.1 Hipsometría.....	20
2.3.2 Suelos	20
2.3.3 Clima	21
2.3.4 Geología.....	21
2.3.5 Drenaje.....	23
2.3.6 Erosión	24
2.3.7 Pendientes	26
2.3.8 Recursos hídricos.....	26
2.3.8.1 Calidad de las aguas y fuentes contaminantes	27
2.3.9 Uso del suelo	28
2.4 Recursos forestales.....	30
2.5 Fajas hidrorreguladoras	31
2.6 Componente ambiental	32
2.7 Marco jurídico aplicable al manejo de cuencas hidrográficas	34

CAPÍTULO 3. USO DEL SUELO Y SU INFLUENCIA EN LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	36
3.1 Determinación de la vulnerabilidad por exposición de población	36
3.2 Determinación de la vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción	37
3.3 Determinación de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental	38
3.4 Determinación de la vulnerabilidad en cada subcuenca	40
3.5 Influencia del uso del suelo en los recursos hídricos	41
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Partes de la cuenca hidrográfica.....	6
Figura 2. Cuenca, subcuenca y microcuenca.....	7
Figura 3. Cuencas hidrográficas de interés nacional.....	7
Figura 4. Esquema de la metodología empleada.....	14
Figura 5. Cuenca hidrográfica San Juan.....	18
Figura 6. Subcuencas de la cuenca hidrográfica San Juan.	19
Figura 7. Distribución de la cuenca hidrográfica San Juan por niveles de altitud.....	19
Figura 8. Hipsometría de la cuenca hidrográfica San Juan.....	20
Figura 9. Tipo de suelos existentes en la cuenca hidrográfica San Juan.....	21
Figura 10. Formaciones geológicas en la cuenca hidrográfica San Juan.	23
Figura 11. Drenaje.....	24
Figura 12. Erosión de los suelos.	25
Figura 13. Pendientes.	26
Figura 14. Hidrografía.	27
Figura 15. Uso del suelo	29
Figura 16. Balance del uso arbóreo urbano y rural..	31
Figura 17. Área no construida dentro de la cuenca.....	31
Figura 18. Instalaciones industriales y agropecuarias ubicadas en la cuenca.	32
Figura 19. Comportamiento de la vulnerabilidad por exposición de población.....	37
Figura 20. Comportamiento de la vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción.....	38
Figura 21. Comportamiento de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental según los conflictos de uso del suelo.	39
Figura 22. Comportamiento de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental según el nivel de deforestación..	40
Figura 23. Comportamiento de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental según la pérdida de suelo.....	40
Figura 24. Comportamiento de la vulnerabilidad total de cada subcuenca..	41

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Funciones para la estimación de las variables y sus componentes	15
Tabla 2. Componentes, variables y criterios de evaluación para determinación.....	15
Tabla 3. Tipo de suelos existentes en la cuenca hidrográfica San Juan.	20
Tabla 4. Formaciones geológicas en la cuenca hidrográfica San Juan.....	22
Tabla 5. Erosión de los suelos.	25
Tabla 6. Balance del uso del suelo en la cuenca San Juan.	29
Tabla 7. Balance forestal.....	30
Tabla 8. Comportamiento de las fajas hidrorreguladoras en la cuenca.....	32
Tabla 9. Balance por sub-cuencas y uso productivo.	32
Tabla 10. Aspectos e impactos ambientales asociados a la actividad productiva.....	33
Tabla 11. Marco regulatorio aplicable	34
Tabla 12. Ponderación de la vulnerabilidad por exposición de población	36
Tabla 13. Ponderación de la vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción.....	37
Tabla 14. Ponderación de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental.	39
Tabla 15. Ponderación de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental..	39
Tabla 16. Ponderación de la vulnerabilidad total de cada subcuenca.....	41

Introducción

INTRODUCCIÓN

El uso del suelo ocurre cuando éste se manipula físicamente (Richters, 1995), aunque también puede definirse como el proceso de producción de bienes materiales para la alimentación, instrumentos de trabajo y todos aquellos objetos que permitan asegurar al ser humano su supervivencia (INEGI, 1989).

Cambio de uso del suelo son los cambios constantes que sufre la superficie terrestre, debido principalmente, a la apertura de nuevas tierras agrícolas, desmontes, asentamientos humanos e industriales, construcción de aeropuertos y carreteras (Soria *et al.*, 1998).

Los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura de suelo y la deforestación son importantes y necesarios, porque proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Van Lynden y Oldeman, 1997).

Existen diversos métodos para la detección de cambios, siendo los más utilizados: comparación por clasificación y cambios detectados mediante álgebra de imágenes (diferencia de bandas o cociente) (Green *et al.*, 1994; Mas, 1999; Tole, 2002).

Una de las formas de evaluar la dinámica de uso del suelo es la fointerpretación de imágenes aéreas y el análisis de imágenes de satélite, con los cuales se estima el crecimiento o la disminución de la superficie cultivada (Herrera, 1983). Los cambios de uso del suelo pueden evaluarse a través de la comparación histórica, detectada por el uso de fotografías aéreas de diferentes años (FAO, 1984; Ortiz-Solorio *et al.*, 1994), las cuales se interpretan y se vacía la información en mapas cartográficas que pueden manipularse utilizando sistemas de información geográfica (SIG), como el ARC/INFO o IDRISI, MAPINFO, entre otros.

Por otra parte, en el contexto de la planificación y ordenamiento territorial, una de las tareas más significativas y determinantes consiste en la elección (decisión) del uso del suelo entre varias opciones posibles (Miranda *et al.*, 2016), haciendo su análisis territorial en la cuenca hidrográfica.

La cuenca hidrográfica es una unidad morfológica integral, así como de planificación territorial en la gestión de los recursos hídricos. El sistema integra diversos

componentes: físicos, biológicos y antropogénicos, elementos que determinan un mosaico de distintas clases de uso/cobertura de suelo, tales como bosques, pastizales, humedales, zonas agrícolas y áreas urbanas (Peña *et al.*, 2011).

A nivel de cuenca hidrográfica, el uso del suelo representa uno de los parámetros de mayor importancia, la vegetación es un vivo ejemplo del mismo, ya que esta cumple con un gran número de funciones que ayudan a mantener la estabilidad y el correcto funcionamiento del intercambio de materia y energía cuenca arriba-cuenca abajo (Cuevas *et al.*, 2010).

La pérdida y degradación de la vegetación natural, así como la velocidad a la que están ocurriendo dichos cambios, desencadenan procesos negativos a distintas escalas espaciales y temporales muchas veces difíciles de revertir. Esto compromete los servicios ecosistémicos en las cuencas, como la estabilización del suelo, la regulación del volumen y periodicidad de los caudales y la purificación e infiltración del agua, por mencionar algunos (Cuevas *et al.*, 2010).

De acuerdo con Cárdenas *et al.* (2009), las condiciones climáticas, una geografía de altas pendientes y los procesos productivos en la región aumentan la vulnerabilidad y ponen en riesgo el potencial hidrológico y la calidad del suelo.

Durante las últimas décadas, el uso indiscriminado del suelo y la falta de organización del ordenamiento territorial llevaron a producir cambios sobre la cobertura del suelo alterando la conformación normal del paisaje, pasando de vastas extensiones boscosas hacia zonas donde predomina la actividad agropecuaria extensiva, o se generan grandes avances urbanísticos.

Uno de los usos del suelo que favorecen los recursos hídricos, corresponde a los bosques, los cuales funcionan como reservorios naturales que regulan el ciclo hidrológico al aportar agua a los cursos permanentes y semipermanentes en los períodos donde las precipitaciones son nulas o bajas.

Según Richard, 2016, la deforestación, el monocultivo, los reiterados incendios y el avance de la urbanización traen aparejados un cambio en la dinámica de la escorrentía afectando a toda la red hídrica e influyendo así sobre toda el área de influencia. Es así como las tierras sujetas a manejos inadecuados en el uso del suelo, sumado al desconocimiento y la toma de decisiones equivocadas, somete al

suelo a procesos severos de erosión trayendo como consecuencia la degradación de las tierras productivas, pérdida de la capacidad productiva de los suelos, pérdida a corto plazo de la disponibilidad de agua en el suelo e inundaciones en zonas más bajas, producto del aumento en el escurrimiento superficial.

En Cuba, en especial en Santiago de Cuba, lugar donde se ubica la cuenca hidrográfica San Juan. La misma no escapa a la acción inadecuada del uso del suelo, que causa daños irreversibles en sus recursos hídricos, alterando el comportamiento normal de la hidrología del lugar.

Uno de los problemas ambientales más incidente en esta cuenca, está referido al uso del suelo, donde se evidencia un incremento del asentamiento poblacional y de las actividades productivas de todo tipo (industrias, servicios sociales, agropecuarios y otros), muy marcado en los últimos años. Así la urbanización ha avanzado a costa de reducir la superficie boscosa, el área de recarga del acuífero y su calidad, ya que este acuífero es sus inicios contaba con una excelente calidad en sus aguas, pero en esta agua se ha ido contaminando y desde los años 90 del siglo pasado necesita recibir un tratamiento de desinfección.

Estos problemas afectan significativamente a la ciudad de Santiago de Cuba, ya que en esta cuenca hidrográfica existe el único reservorio de agua potable subterránea de la ciudad, situado muy cercano a la misma, el cual abastece a una población aproximada a los 60 000 habitantes, a través del denominado Acueducto No. 2.

En el estudio bibliográfico se ha podido evidenciar que esta cuenca hidrográfica se caracteriza por un diverso uso del suelo, el cual está distribuido en forma desigual e inadecuadamente a lo largo de sus tres zonas (alta, media y baja). De aquí la necesidad de realizar una valoración de la influencia del uso del suelo en los recursos hídricos de la cuenca, debido a que un adecuado manejo del uso de suelo, representa una vía idónea para recuperar la calidad de sus recursos hídricos, necesarios para todas las actividades sociales que se realizan en la misma.

Problema de Investigación:

El uso inadecuado del suelo en la cuenca hidrográfica San Juan, puede estar influyendo en la calidad de los recursos hídricos en la misma.

Objeto de Investigación:

Efectos del uso del suelo en la calidad de los recursos hídricos

Campo de Acción:

Influencia del uso del suelo sobre la calidad de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica San Juan.

Objetivo General:

Valorar la influencia del uso del suelo en la calidad de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica San Juan.

Objetivos Específicos:

1. Sistematizar toda la información teórico-conceptual sobre la temática abordada.
2. Caracterizar los principales usos del suelo en la cuenca hidrográfica San Juan.
3. Determinar la influencia del uso del suelo sobre la calidad de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica San Juan.

Hipótesis:

La valoración de la influencia del uso del suelo sobre la calidad de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica San Juan, permitirá la toma de decisión adecuada para mitigar sus efectos negativos sobre los mismos.

La investigación se estructura en, Resumen, Introducción, III Capítulos, Conclusiones y Recomendaciones. En el Capítulo I, se realiza una revisión bibliográfica y se definen los principales conceptos de medio ambiente, cambio climático, recursos hídricos, vulnerabilidad, uso del suelo; además de la forma en que se atiende el uso del suelo en Cuba y en la cuenca hidrográfica San Juan y ejemplo de metodologías realizadas que guardan relación con el tema en estudio. En el Capítulo II, se realiza una caracterización de la zona de estudio de la cuenca hidrográfica San Juan; se plantea la metodología a emplear para elaboración de la investigación. En el capítulo III se procede a la determinación de las variables a estudiar y posteriormente se determina la vulnerabilidad existente en las cinco subcuencas para así definir la influencia existente sobre los recursos hídricos.

Capítulo I

CAPÍTULO I. ASPECTOS TEÓRICOS-CONCEPTUALES DEL USO DEL SUELO

En el capítulo se analiza los aspectos fundamentales del marco teórico- conceptual, se hace una revisión bibliográfica referente a las cuestiones del objeto de estudio, se describen las referencias y antecedentes del tema en cuestión. Se plantean las definiciones de cuenca hidrográfica dadas por diferentes autores. Además de los problemas ambientales que afectan a las cuencas hidrográficas, así como la influencia del cambio climático en ellas y la relación existente entre el suelo y sus usos en una cuenca hidrográfica.

1.1 Definición, clasificación e importancia de una cuenca hidrográfica

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en 1996, define por cuenca hidrográfica al espacio de terreno limitado por el relieve; es decir, por las partes más altas de las montañas, laderas y colinas. La característica principal es el sistema de drenaje superficial que se desarrolla dentro de la cuenca, debido a que sus aguas escurren a un punto en común, que fluye a un río principal y se integra al mar, lago u otro río más grande (*Ver figura 1*).

La cuenca hidrográfica desde el punto de vista geomorfológico, es un conjunto de geoformas construidas por el desgaste constante de las corrientes superficiales o la red de drenaje, también llamada red hidrográfica la cual consta de un canal principal y corrientes tributarias más reducidas que la proveen de agua. Desde el punto de vista de su funcionamiento hidrológico Villegas *et al.*, (2007) establecen el concepto general de cuenca, como el área de drenaje natural dividida por una línea imaginaria que establece la dirección del flujo del agua proveniente de la precipitación.

Por su funcionalidad hidrológica a la cuenca hidrográfica se la concibe como una unidad de planificación Villegas *et al.*, (2007) señalan que en las cuencas hidrográficas, tienen lugar todos los procesos naturales, por lo que constituye la unidad natural y lógica para el desarrollo agrícola, ambiental y socioeconómico. También complementa de acuerdo a lo anterior plantear que la cuenca es la unidad natural que permite a los planificadores observar todas las consecuencias del escurrimiento en un área determinada y elaborar los planes necesarios para su control.

La cuenca hidrográfica como parte del paisaje, es la unidad geomorfológica que integra todos los factores físicos, biológicos y antropogénicos, los conjuga y los manifiesta de forma directa en su comportamiento hidrológico; de esta manera es posible estudiar el comportamiento de algunos componentes del ciclo hidrológico a corto, mediano y largo plazo, y establecer tendencias que permitan la planificación del uso del suelo, vegetación y agua (Gaspari *et al.*, 2011).

Según Gaspari *et al.*, 2011, plantea que la cuenca es un espacio donde se combinan: el manejo forestal, el uso de suelo, la biodiversidad, las actividades económicas y el hábitat, con actuaciones humanas con efectos positivos y negativos, que deben ser armonizadas para preservar el recurso hídrico y la racionalidad de las intervenciones que se producen dentro de sus límites (superficial y subterránea), unidad territorial por excelencia donde se planifica el desarrollo económico-sostenible.

La subdivisión de la cuenca hidrográfica en sub-cuencas permite identificar problemas y soluciones en unidades más pequeñas que facilitan la organización y prioridades a acometer, y se reconoce en tres unidades (Alta, Media y Baja) (Ver figuras 1 y 2), dentro del universo de superficie lo cual se plantea a continuación:

- ❖ Cuenca alta: Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.
- ❖ Cuenca media: Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- ❖ Cuenca baja o zonas transicionales: Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

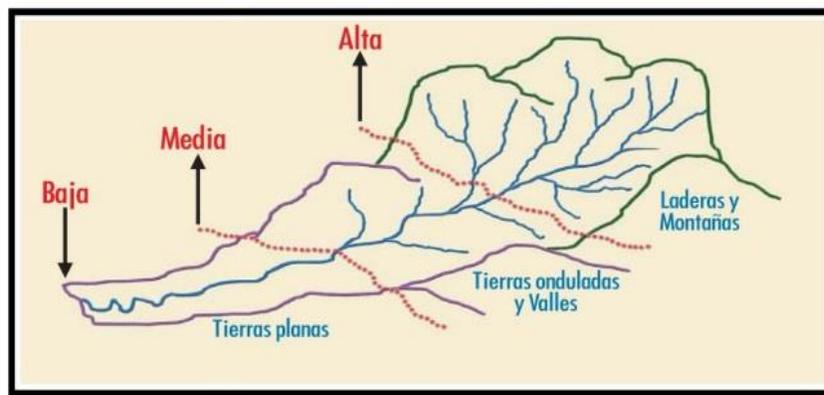


Figura 1. Partes de la cuenca hidrográfica. Fuente: Balci, (1989).

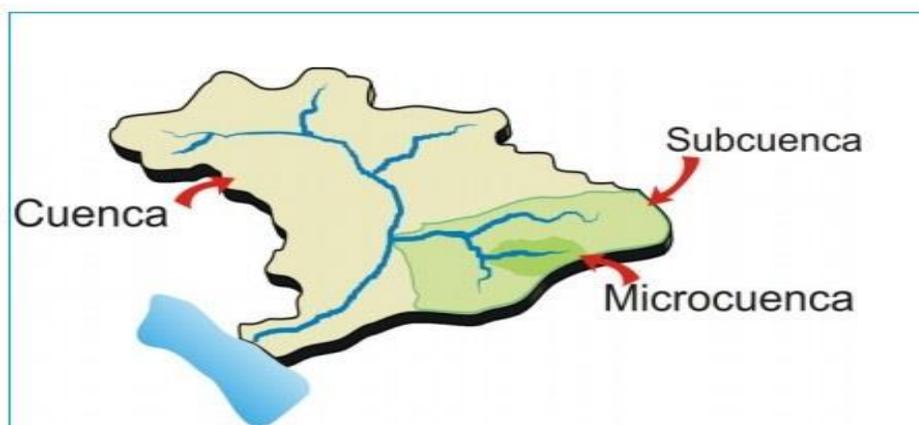


Figura 2. Cuenca, subcuenca y microcuenca. Fuente: Adaptado por Casa verde, (2011).

En Cuba existen 11 cuencas de interés nacional (Ver figura 3), las que abarcan territorios de 11 provincias. Se seleccionan además 51 cuencas de interés provincial.



Figura 3. Cuencas hidrográficas de interés nacional. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

Las cuencas hidrográficas son importantes ya que cumplen diferentes funciones, tales como:

- ❖ **Función hidrológica:** Captación de agua de diferentes fuentes (ríos, arroyos, entre otras) almacenamiento de agua descarga de la misma en diferentes tiempos a través de escurrimiento.
- ❖ **Función ecológica:** Provee diversidad de zonas en la cuenca que permiten que el agua intercambie elementos con el suelo y además es el hábitat para diversidad de flora y fauna.
- ❖ **Función ambiental:** Constituye sumideros de CO₂, alberga bancos de

germoplasma (especies no genéticamente modificadas), regula la carga hídrica y los ciclos bio-geoquímicos, así como conserva la biodiversidad.

- ❖ **Función socioeconómica:** Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población, genera un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

1.2 Problemas ambientales en la cuencas hidrográficas

La degradación de una cuenca hidrográfica según Cure, 2012, es la pérdida de valor en el tiempo, incluyendo el potencial productivo de tierras y aguas, acompañadas de cambios pronunciados en el comportamiento hidrológico de un sistema fluvial, que se traduce en una peor calidad, cantidad y regulación en el tiempo, del caudal hídrico.

Esta degradación procede de los efectos recíprocos, de las características fisiográficas, el clima y el uso inadecuado de las tierras; lo cual ocasiona a su vez, una degradación ecológica acelerada, menores oportunidades económicas y mayores problemas sociales. (Cure, 2012)

Las cuencas hidrográficas se han visto afectadas por un gran número de factores que han causado graves problemas de deterioro ecológico. La expansión agrícola, un inadecuado ordenamiento territorial, la degradación de los bosques, la erosión del suelo, la pérdida de la diversidad biológica, los daños a los hábitats de la fauna y la flora silvestres, han generado repercusiones y una fuerte degradación de las cuencas. (FAO, 1992)

Entre los principales problemas que presentan las cuencas hidrográficas están:

- ❖ **Socioeconómicos:** Se presenta pobreza rural en las tierras altas de las cuencas, lo que motiva la emigración a centros urbanos superpoblados y/o la destrucción de los recursos naturales de la cuenca. Existe además un alto porcentaje de deforestación, lo que incrementa los riesgos de inundaciones y sequías; asimismo, el uso inapropiado, sobrepastoreo, entre otras, genera una degradación acelerada de las tierras y otros recursos de la cuenca.
- ❖ **Técnicos e institucionales:** Las actividades de desarrollo mal planificadas y ejecutadas (caminos, viviendas, minería, recreación, entre otras) dañan los cursos de agua y contaminan el ambiente natural.

- ❖ Naturales: Desastres naturales como deslizamientos de tierras, incendios, erosión del suelo, entre otras, perjudican las condiciones de la cuenca.

1.3 Influencia del Cambio Climático en las cuencas hidrográficas

Los impactos del Cambio Climático en las cuencas hidrográficas en especial sobre los recursos hídricos, no solo dependen de las aportaciones que ceda el ciclo hidrológico, condicionadas por el uso y cubierta del suelo, la temperatura y la estructura temporal de la precipitación, sino que es el sistema de recursos hidráulicos disponible y la forma de manejarlo, un factor determinante de la suficiencia o escasez de agua frente a las necesidades humanas globales. (Iglesias *et al*, 2005)

El Cambio Climático tiene, en consecuencia, una influencia directa y de suma importancia sobre los recursos hídricos. Los impactos sobre estos recursos se manifiestan no solo en la variación de la cantidad sino también en la alteración de la calidad y en su distribución temporal.

La variación de los recursos hídricos a consecuencia del cambio climático está condicionada por la influencia de otros sectores también afectados por el cambio climático. A su vez los cambios que se producen en los recursos hídricos afectan a muchos otros sectores de una forma importante, siendo clara y notable en los ecosistemas acuáticos y continentales, en la biodiversidad animal y vegetal, en los sectores agrícola, forestal, energético y turístico, en la salud humana y en los riesgos naturales de origen climático. (Iglesias *et al*, 2005)

1.4 El suelo y sus usos en la cuenca hidrográfica

Las aportaciones hídricas, entendidas como el volumen total de agua contabilizable anualmente en un punto de una cuenca hidrográfica en régimen natural, están inicialmente condicionadas, por la precipitación, la temperatura, el uso y cubierta del suelo y las características del suelo y subsuelo.

Los recursos hídricos, propiamente dichos, entendidos como los volúmenes de agua capaces de dejar satisfechas las necesidades hídricas en cantidad y calidad, en tiempo y en espacio están a su vez condicionados por la explotación, la estructura temporal de la demanda, el sistema de recursos hidráulicos (superficial y subterráneo) disponible y las reglas operativas definidas para el sistema o reglas de

gestión del sistema.

1.5 Relación entre el uso del suelo y la calidad de los recursos hídricos

La vulnerabilidad de un territorio a las variaciones en los recursos hídricos está estrechamente relacionada con los usos que tienen lugar sobre el mismo. Un mismo espacio geográfico es más vulnerable cuanto mayor son sus necesidades de agua y mayores son las garantías que precisa. Evidentemente, a igualdad de volumen de demanda de agua será mucho más vulnerable un territorio si ese volumen se destina al abastecimiento urbano que si es para el regadío, ya que en este último caso las garantías de suministro son menos exigentes.

Con carácter general los territorios con mayor estrés hídrico deberían ser considerados los más vulnerables a posibles variaciones en los recursos hídricos. Existen muchos indicadores de estrés hídrico, la mayoría de ellos relacionan demandas de agua y los recursos hídricos renovables.

Watler (2008) establece que la carga contaminante presente en el ambiente es el resultado de la actividad humana, que causa peligro de contaminación. Foster et al. (2002) afirma que, la planificación del territorio depende de mapas de vulnerabilidad a la contaminación de aguas superficiales, ya que, constituyen la herramienta básica para reducir riesgos y permite identificar áreas vulnerables para prohibir actividades potencialmente peligrosas.

1.6 Uso de suelo

Según Miliarium en 2004, cuando se utiliza el término "uso de suelo" se hace referencia a la actuación humana dentro de la naturaleza, entendiéndose a estos como asentamientos humanos, zonas agrícolas, áreas de protección, entre otras. El uso que se determina para el suelo causa cambios en los paisajes, los ecosistemas y el medio ambiente, existen usos de suelo como los sectores urbanos que se vuelven consumidores de la cobertura vegetal y a expensas de zonas productivas.

El uso de suelo es una forma de clasificación de diferentes ocupaciones dependiendo del comportamiento del mismo, desde el punto de vista del aporte hídrico, ya que el tipo de ocupación del mismo afecta la interacción del agua con el suelo y la vegetación, y las implicaciones de la demanda de estos.

Su análisis permite entender las causas y consecuencias de las tendencias de los procesos de degradación, desertificación, disminución de la biodiversidad y, en general, pérdida del capital natural y cultural (Figueroa et al., 2011).

Al estudiar el uso de suelo se puede determinar diferentes enfoques, tales como:

- ❖ Funcional: por la función que desarrolla el suelo en la actividad que se desarrolla en él (Forestales, agrícolas, urbanismos, espacios protegidos, entre otras).
- ❖ Formal: Siendo la ocupación del suelo lo que se identifica en el momento de analizar el uso, este tipo de análisis se da a partir de características visuales como color, forma, entre otras (Monocultivos, usos estables, entre otras).
- ❖ Multidimensional: Una mezcla de los anteriores.

El cambio del mismo, consiste en la transición de una categoría por otra, como es el caso la deforestación, la expansión agrícola o el cambio en la extensión urbana, y está en función: de la presión (población de usuarios de los recursos), oportunidades (precios de mercado, costos de producción, costos de transporte y tecnología), políticas (subsidios, impuestos, derecho de propiedad, infraestructura), vulnerabilidad (exposición a las perturbaciones externas, sensibilidad y capacidad de resistencia), y la organización social (acceso a los recursos, distribución del ingreso, características de los hogares, y las interacciones urbano-rurales); estas funciones tienen una fuerte interacción que causan el cambio de uso del suelo (Chávez, 2012)

1.6.1 Cambio de uso de suelo

El cambio de uso de suelo es la variación existente en un territorio determinado del uso desarrollado en el mismo; en función del tiempo, existen varios usos de suelo en un mismo sector de estudio y análisis.

La importancia del cambio de uso de suelo afecta a diferentes factores que llegan a tener implicaciones a nivel global, generando altos índices de deforestación y degradación.

Al ser el suelo el lugar de donde el hombre obtiene la mayor parte de los alimentos, y una infinidad de materias primas, es de vital importancia el estudio de su variación,

es decir del cambio que sufre su uso, ya que un mal manejo de los recursos y de la explotación del mismo conlleva a uno de los mayores problemas que presentan los suelos, su degradación, erosión y por ende, la baja o nula productividad.

Los impactos ecológicos generados por el cambio en el uso de suelo se asocian a la presión social presente por el crecimiento poblacional, también la constante deforestación y destrucción de la biodiversidad provoca y afecta al clima global, al ser las zonas de bosques fuentes de captura de carbono, siendo mucho más evidente el cambio que sufre el territorio.

Debido a las actividades realizadas por el hombre y a la presión que éstas ejercen al medio ambiente y por ende al uso de suelo, se ha provocado un cambio inminente en los últimos años, motivo por el cual este tema se ha vuelto de gran interés en diferentes disciplinas ambientales, siendo el cambio del uso del suelo uno de los factores primordiales, ya que altera los ciclos biogeoquímicos como el agua o carbono, pérdida de la biodiversidad, materializando de esta forma nuestra relación con el medio ambiente.

1.7 Metodologías de trabajo en los estudios de vulnerabilidad de los recursos hídricos

El análisis conjunto de factores que determinan la ocurrencia de movimiento en masa, se ha facilitado con la introducción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramienta ideal para el análisis de parámetros con un alto grado de variabilidad espacial. Existen estudios que han abordado la zonificación de la amenaza hidrometeorológica utilizando las bondades que ofrecen los SIG y los sensores remotos. (Gaspari *et al.*, 2011)

Gaspari *et al.*, 2011 plantean una metodología para zonificar la vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante el uso de SIG. La metodología para la determinación y zonificación de la vulnerabilidad ambiental se estableció a partir de la generación y procesamiento geoespacial de factores condicionantes y activadores. Estos factores condicionantes están predeterminados en la cuenca, como ser la posición y pendiente del terreno, la textura del suelo, la cobertura vegetal y uso del suelo y la densidad de drenaje. En este estudio, el factor activador denominado erosividad de la precipitación, es una variable que actúa

durante los eventos pluviales, su magnitud se determina a través de la intensidad, duración y frecuencia de la tormenta.

Vera *et al*, 2016, presentan una propuesta metodológica que permite la articulación de la gestión integral del riesgo de desastre asociado a eventos de inundación, torrenciales y de remoción en masa, en los procesos de ordenación de cuencas hidrográficas. Para ello efectúan un ejercicio de aplicación para el caso de una microcuenca, proceso que, a manera de ejemplo, muestra la forma de operativizar la metodología propuesta.

El sistema de indicadores propuesto se basa en el modelo conceptual planteado, el cual identifica la exposición, fragilidad y capacidad de adaptación y respuesta como factores de vulnerabilidad, los cuales a su vez presentan una serie de componentes. Dado que la vulnerabilidad es función de la exposición, la fragilidad y la capacidad de adaptación y respuesta, se propone estimar la vulnerabilidad global en función de estos tres factores. En este trabajo los autores optaron por una relación aritmética simple, la cual fue escogida por su simplicidad y la capacidad de esquematizar el proceso en general y los criterios de aplicación.

Dentro de estos elementos, en el caso de la presente investigación se puede seleccionar dentro de esta metodología como determinar las variables que inciden y la forma de cómo determinar la vulnerabilidad ambiental en recursos naturales, en este caso específicamente en los recursos hídricos, considerando como variables: vulnerabilidad por exposición de los sistemas de producción, vulnerabilidad por población y la vulnerabilidad por fragilidad ambiental.

Capítulo II

CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

En el capítulo se aborda la metodología de trabajo a emplear, mediante la exposición todos los aspectos referidos a la zona de estudio, tales como, su caracterización, ubicación de la cuenca hidrográfica, las variables con las cuales se realizará los cálculos pertinentes y los criterios de definición para determinar el tipo de vulnerabilidad existente en cada área de la cuenca.

2.1 Metodología de trabajo

Teniendo en cuenta que es necesario realizar un estudio donde se señalen las diferentes etapas por las que transita esta investigación, en la figura 4 se muestra el esquema de la metodología de trabajo donde se expone el procedimiento científico-técnico que da respuesta a las tareas y objetivos planteados para la determinación de la vulnerabilidad en los recursos naturales hídricos en la cuenca.

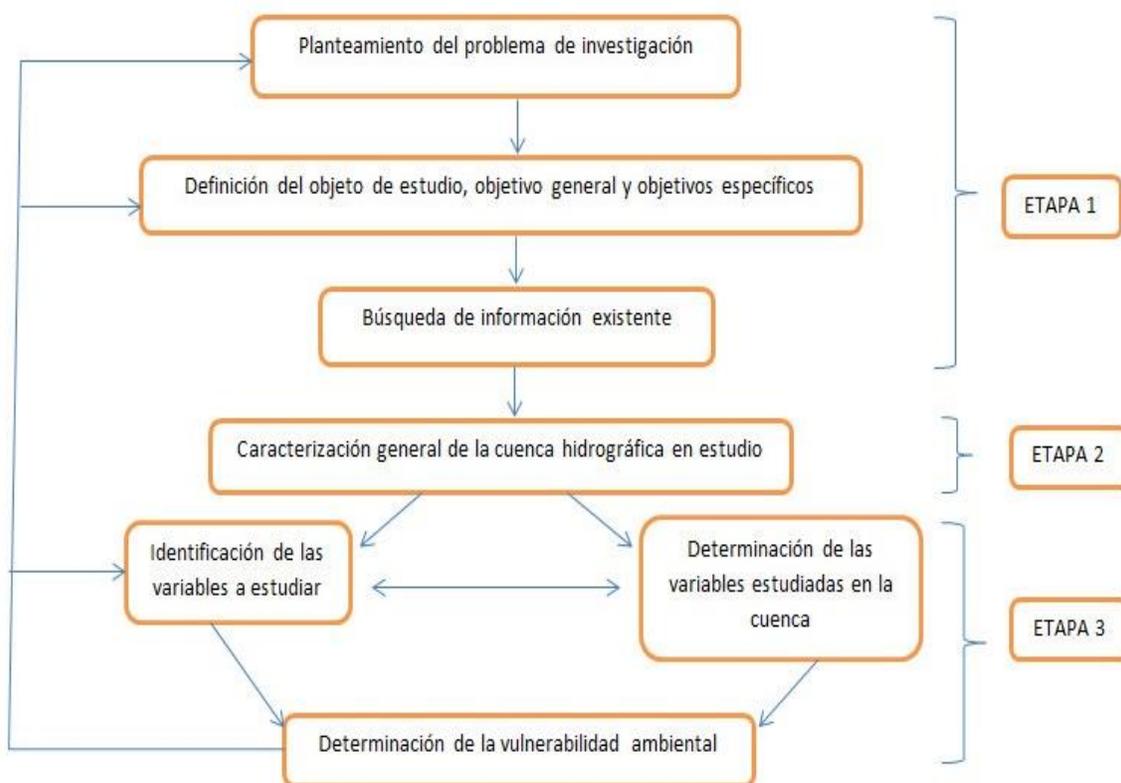


Figura 4. Esquema de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración lo aplicado en la metodología de Vera *et al*, 2016 se ajusta para determinar la vulnerabilidad del acuífero las variables: vulnerabilidad por

exposición de los sistemas de producción, vulnerabilidad por población y la vulnerabilidad por fragilidad ambiental.

- Vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción:

En la implementación de esta variable se trabaja con base en cuatro tipologías de coberturas de la tierra tenidas en cuenta en la metodología de clasificación Corine land cover. Estas son: cultivos permanentes, cultivos anuales o transitorios, pastos limpios que se asocian a la ganadería intensiva y pastos enmalezados o enrastrojados, que de acuerdo con la comunidad, en la microcuenca se asocian con la ganadería extensiva.

- Vulnerabilidad por exposición de población:

En el manejo de esta variable, se tomó como base la localización de las viviendas en el área de estudio. Al aplicar los criterios propuestos en la Tabla 2. En este caso, debido al tamaño del área de terreno que ocupan.

- Vulnerabilidad por fragilidad ambiental:

La vulnerabilidad por fragilidad ambiental está dada por el promedio aritmético del puntaje de conflictos por uso del suelo, los niveles de deforestación y los impactos estimados del cambio climático.

Tabla 1. Funciones para la estimación de las variables y sus componentes. Fuente: Vera *et al.*, 2016, adaptado por Grau, 2020.

Tipo de vulnerabilidad	Función
Vulnerabilidad global (V)	$V = (VE + VF)/2$
Vulnerabilidad por exposición (VE)	$VE = \frac{VESP + VEP}{2}$ Vulnerabilidad por exposición de los sistemas de producción (VESP) Vulnerabilidad por exposición de la población (VEP)
Vulnerabilidad por fragilidad (VF)	$VF = VFA = (CPUS + NDEF + IECC)/3$ Conflictos por uso del suelo (CPUS) Nivel o grado de deforestación (NDEF) Impacto estimado del cambio climático (IECC)

Tabla 2. Componentes, variables y criterios de evaluación para determinación. Fuente: Vera *et al.*, 2016, adaptado por Grau, 2020.

Componentes	Variables de medición	Criterios
-------------	-----------------------	-----------

<p>Vulnerabilidad por exposición de población (VEP)</p>	<p>Localización</p>	<p>Viviendas</p>	<p>Más del 20 % del total de los elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza alta, vulnerabilidad alta (3 puntos) Menos del 20 % del total de los elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza alta y más del 30 % en amenaza media, vulnerabilidad media (2 puntos) Menos del 20% de elementos en amenaza alta y más del 60 % del total de los elementos expuestos se encuentran en zonas de nivel de amenaza baja, vulnerabilidad baja (1 punto)</p>
<p>Vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción (VESP)</p>	<p>Aportación de residuales</p>	<p>Puntos de vertimiento de asentamiento y hospitales, convenios porcinos, fábricas e industrias, talleres e industrias de transporte.</p>	<p>Combinación de vertimiento de residuales de industrias, talleres, hospitales, asentamiento, porcino con más de 3 unidades, vulnerabilidad alta (3 puntos) Combinación de vertimiento de residuales de industrias, talleres, hospitales, asentamiento, porcino entre 1 o 3 unidades, vulnerabilidad media (2 puntos) Combinación de algunas variables que no presenten gran impacto, vulnerabilidad baja (1 puntos)</p>

Vulnerabilidad por fragilidad ambiental (VFA)	Equilibrio en la relación sociedad-naturaleza (degradación de base ecosistémica y prácticas productivas inadecuadas, efectos estimados del cambio climático)	Conflictos por uso del suelo	Área en conflicto > 40 %, vulnerabilidad alta (3 puntos) Área en conflicto 20,1 a 40 %, vulnerabilidad media (2 puntos) Área en conflicto < 20 %, vulnerabilidad baja (1 punto)
		Nivel de deforestación	Coberturas boscosas <20 %, vulnerabilidad alta (3 puntos) Coberturas boscosas entre 20,1 a 50 %, vulnerabilidad media (2 puntos) Coberturas boscosas >50 %, vulnerabilidad baja (1 punto)
		Variaciones de temperatura, precipitación, pérdida de suelo, etc.	Impacto estimado alto, vulnerabilidad alta (3 puntos) Impacto estimado medio, vulnerabilidad media (2 puntos) Impacto estimado bajo, vulnerabilidad baja (1 punto)

2.2 Caracterización de la zona de estudio

Se realiza la caracterización de la cuenca San Juan teniendo en cuenta diversos aspectos que permitan lograr una mejor clasificación de las variables para determinar la vulnerabilidad existente en la cuenca, especificando su influencia sobre los recursos hídricos fundamentalmente en el lecho del acuífero.

2.2.1 Ubicación de la cuenca hidrográfica San Juan

La cuenca hidrográfica San Juan (Ver figura 5), se ubica en el municipio Santiago de Cuba en su sector este con una superficie de 138.3 Km², la que se identifica como un ecosistema bajo protección de interés provincial con un caudal medio anual de 1.17 m³/seg, un volumen total de 37.2 hm³. Su relieve es heterogéneo donde en parte existe un sector edificado de la ciudad Santiago de Cuba y el resto es rural.

El acuífero de agua potable (subterránea) se estima en 12 hm³ y son resultantes de la infiltración de aguas que provienen de una altitud de 480 metros sobre el nivel del

mar (msnm) en el lugar conocido como La Purísima, en las estribaciones de la Sierra de Boniato y Dos Bocas al Norte de la ciudad de Santiago de Cuba (Ver figura 6 y 7).

En la cuenca inciden parte de cuatro distritos político- administrativos mixtos (urbanos y rurales), en función de los intereses del desarrollo socio- político y económico del territorio, garantizando además, un equilibrio poblacional en su estructura. Limita al norte con las alturas de Boniato y el Bonete, al Sur con las mesetas litorales y el Mar Caribe, al Este con las alturas de Ochoa y las Guásimas, al Oeste con las alturas de Puerto Pelado y la Ciudad de Santiago de Cuba desembocando en la zona conocida como Aguadores.



Figura 5. Cuenca hidrográfica San Juan. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

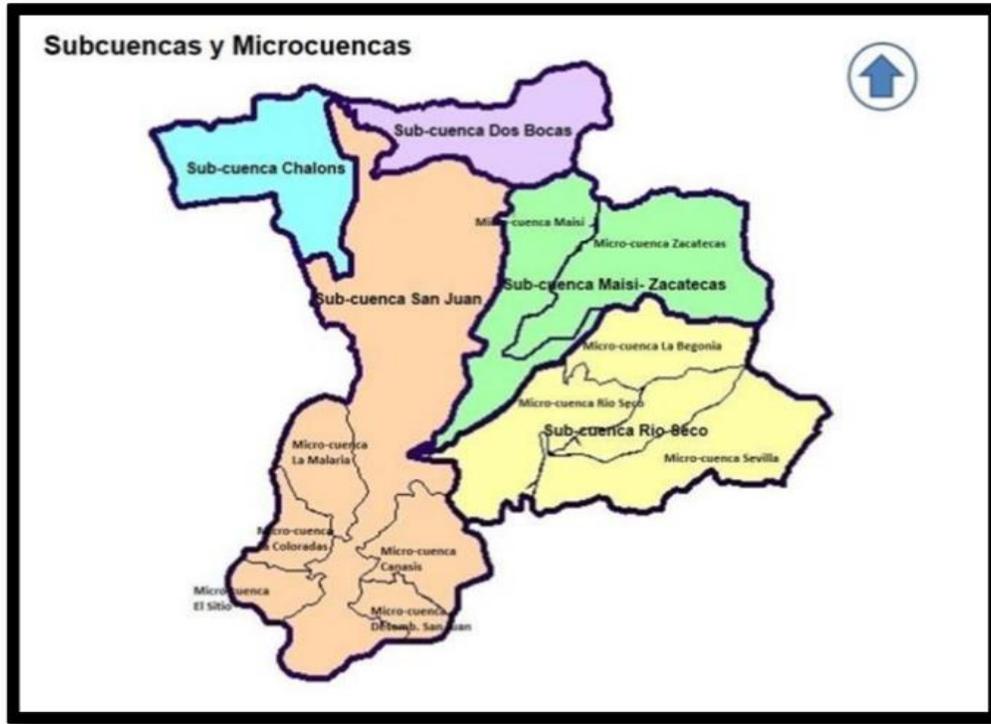


Figura 6. Subcuencas de la cuenca hidrográfica San Juan. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

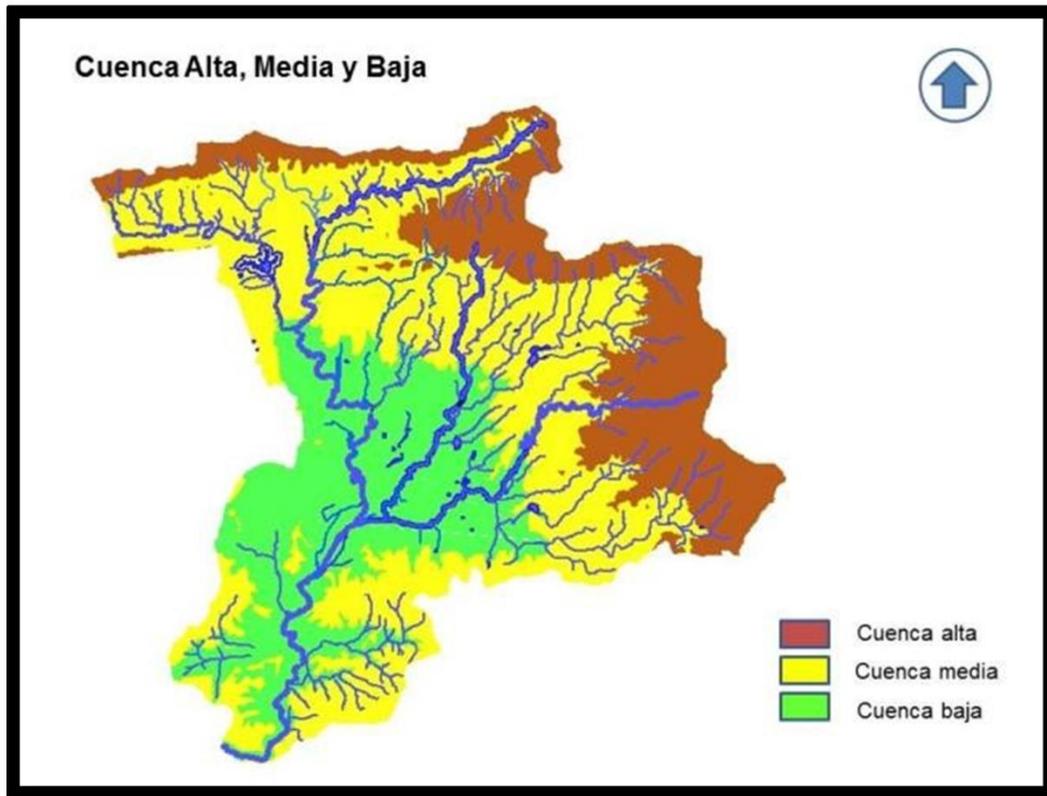


Figura 7. Distribución de la cuenca hidrográfica San Juan por niveles de altitud. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.3 Características físicas de la cuenca hidrográfica San Juan

2.3.1 Hipsometría

Presenta un relieve heterogéneo debido a las diferentes superficies por las que atraviesa. El 73,5 % de la misma presenta valores de hipsometría inferior a 200 msnm, hacia su parte media e inferior. La parte norte tiene alturas entre 201 y 400 msnm dado fundamentalmente hacia la Sierra de Boniato y los sistemas de alturas de la Gran Piedra por el Este. Sobre esta última también existen valores superiores a 401 msnm ocupando una pequeña porción del área (Calderín *et al.*, 2019) (Ver figura 8).

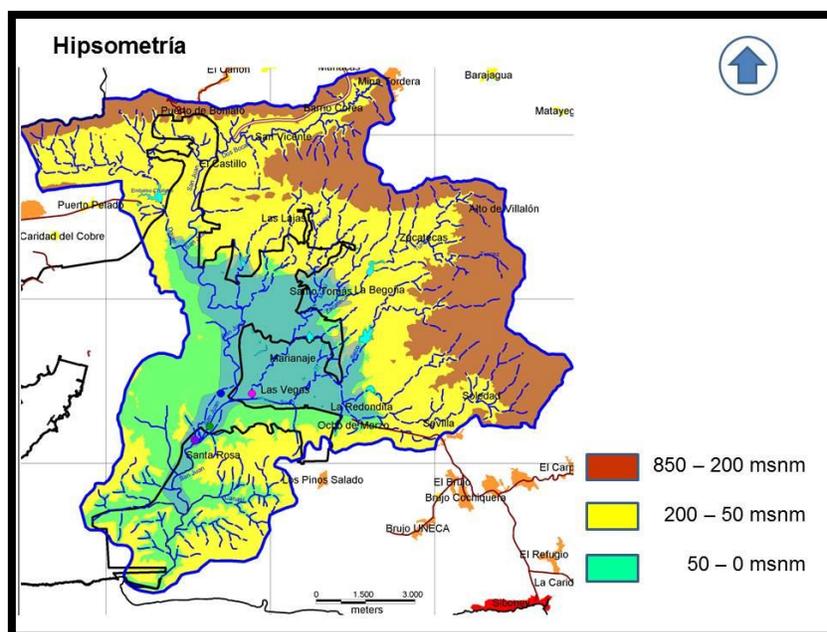


Figura 8. Hipsometría de la cuenca hidrográfica San Juan. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.3.2 Suelos

Existen seis tipos de suelos, (Ver tabla 3), con predominio de los pardos sin carbonatos (38,1 km²) y los esqueléticos, ambos distribuidos sobre la superficie de la cuenca media y alta (Ver figura 9).

Tabla 3. Tipo de suelos existentes en la cuenca hidrográfica San Juan.

No	Tipos de suelos	área	Drenaje	Erosión
1	Fercialítico Pardo Rojizo	0,05	Bueno	Mediana
2	Rendsinas Rojas	3,72	Bueno	Fuerte
3	Aluvial	9,66	Bueno	Poca
4	Pardo sin Carbonatos	38,1	Bueno	Fuerte
5	Esquelético	32,11	Moderado	Fuerte
6	Pardo con Carbonatos	12,37	Moderado	Mediana

7	Ausencia de información	42,29	Ausencia de información
Total		138,3	

En la parte baja de la cuenca, se localizan los suelos aluviales y pardos con carbonatos los cuales coincide con la ubicación del acuífero.

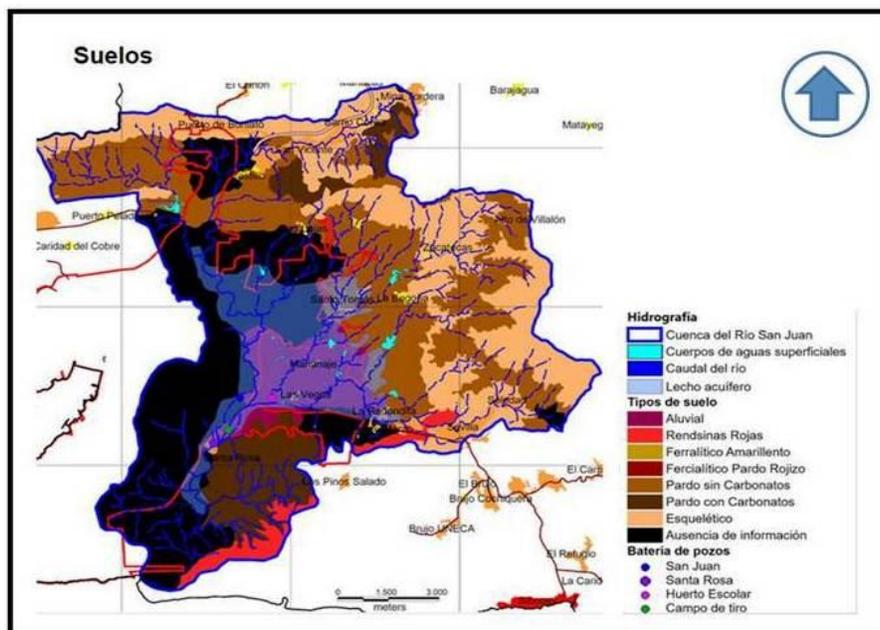


Figura 9. Tipo de suelos existentes en la cuenca hidrográfica San Juan. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.3.3 Clima

Calderín *et al.*, 2019 lo caracteriza por presentar un clima tropical marítimo generalmente caluroso con dos períodos bien definidos: lluvia y seca. La temperatura media oscila entre 20,7 y 30,7°C con un promedio anual de 25,9°C. Las precipitaciones son poco uniformes con variaciones dentro de la cuenca de un mes a otro con una media anual en los últimos 10 años de 1250 mm. La humedad relativa es baja comparada con la elevada evaporación cuyo promedio es superior a los 2000 mm por lo que el factor climático en la zona no es favorable debido a la escasa precipitación que es superada con los 2000 mm de lámina de evaporación.

2.3.4 Geología

Se encuentra formada por alrededor de 13 formaciones geológicas principales, entre las que predomina las formaciones Cobre, La Cruz, los sedimentos cuaternarios representados por arcillas arenosas, arenas arcillosas y cantos rodados en las

márgenes del río (Ver tabla 4).

Tabla 4. Formaciones geológicas en la cuenca hidrográfica San Juan.

NO	Formaciones geológicas	Sup. (km ²)
1	Puerto Boniato	0,15
2	El Cobre	45,48
3	Asociación gabro-plagiogranítica	13,63
4	Asociación tonalito-granodiorítica	8,19
5	Basaltos	5,49
6	La Liner	0,96
7	Manacal	0,66
8	Depósitos palustres	0,43
9	Depósitos marinos	0,01
10	La Cruz	22,21
11	Jaimanitas	0,05
12	Río Maya	0,49
13	Depósitos aluviales	13,64
14	Sin información	26,91
Superficie total		138,30

Las formaciones gabro y granodiorita se extienden desde la parte centro oriental de la cuenca, coincidiendo con la cuenca media y alta, al igual que las formaciones Cobre y Puerto Boniato, que se ubican hacia las elevaciones al Norte del área de estudio.

El acuífero coincide con formaciones correspondientes a los depósitos aluviales, que se encuentran en la porción baja de la cuenca donde las pendientes poseen valores bajos lo cual permite que se desarrollen los procesos acumulativos y de infiltración de las aguas superficiales (Ver figura 10).

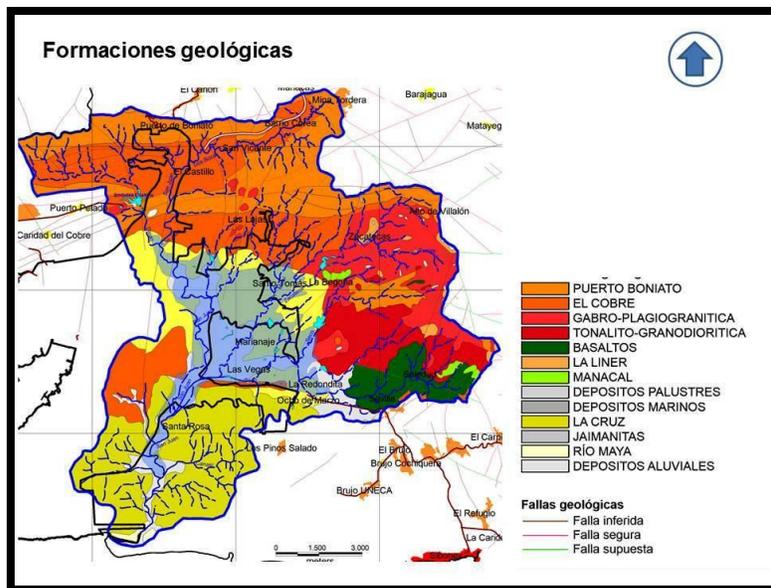


Figura 10. Formaciones geológicas en la cuenca hidrográfica San Juan. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.3.5 Drenaje

Existe un predominio de los suelos que drenan, (los que se distribuyen de forma heterogénea en toda la cuenca), favoreciendo los procesos de infiltración que alimentan al acuífero.

Los suelos con drenaje moderado se encuentran sobre la zona media y alta de la cuenca, existiendo solo problemas para la infiltración del agua pluvial en la zona de expansión urbana, (Ciudad Santiago de Cuba y los asentamientos humanos concentrados existentes).

Los suelos con drenaje bueno se ubican en la parte baja de la cuenca y coinciden con los aluviales y los pardos sin carbonatos. Estos asimilan las aguas provenientes de las escorrentías superficiales que se producen en las épocas de lluvias por las vías de evacuación pluvial urbana, debiendo de ser protegidos de los procesos de urbanización sobre los mismos (Ver figura 11).

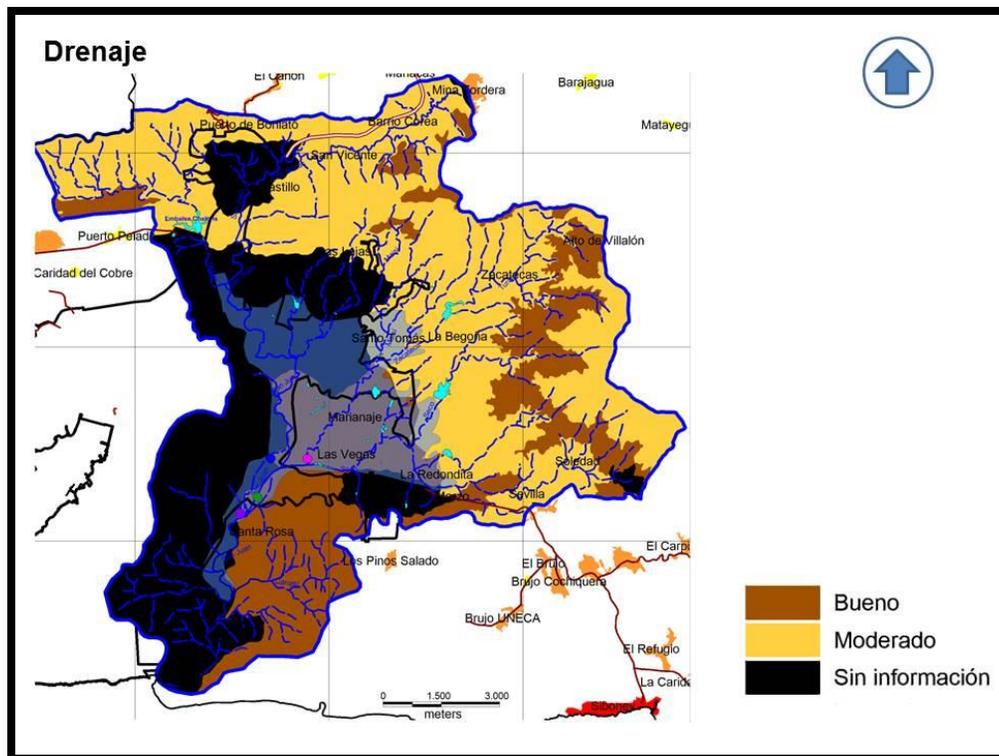


Figura 11. Drenaje. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.3.6 Erosión

Calderín *et al.*, 2019 expresan que más del 50 % de los suelos se encuentran fuerte y medianamente erosionados, (Ver tabla 5), siendo los de mayor problema los pardos sin carbonatos ($23,91 \text{ km}^2$) los que bordean la cuenca acuífera (Ver figura 8), y corresponden con la cuenca media, donde además se encuentran enclavados los poblados de Sevilla, la Begonia, Las Lajas, El Castillito entre otros (Ver figura 12).

Otro de los suelos que presentan problemas de erosión son los esqueléticos, de los cuales $13,95 \text{ km}^2$ tienen fuertes procesos erosivos y $18,15 \text{ km}^2$ moderados, para un total de $32,1 \text{ km}^2$. Se distribuyen sobre la cuenca alta (combinando pendientes que sobrepasan los 50 grados), los suelos esqueléticos, los que favorecen el escurrimiento superficial y evacuación de las aguas pluviales, hacia el lecho acuífero (Ver figura 13).

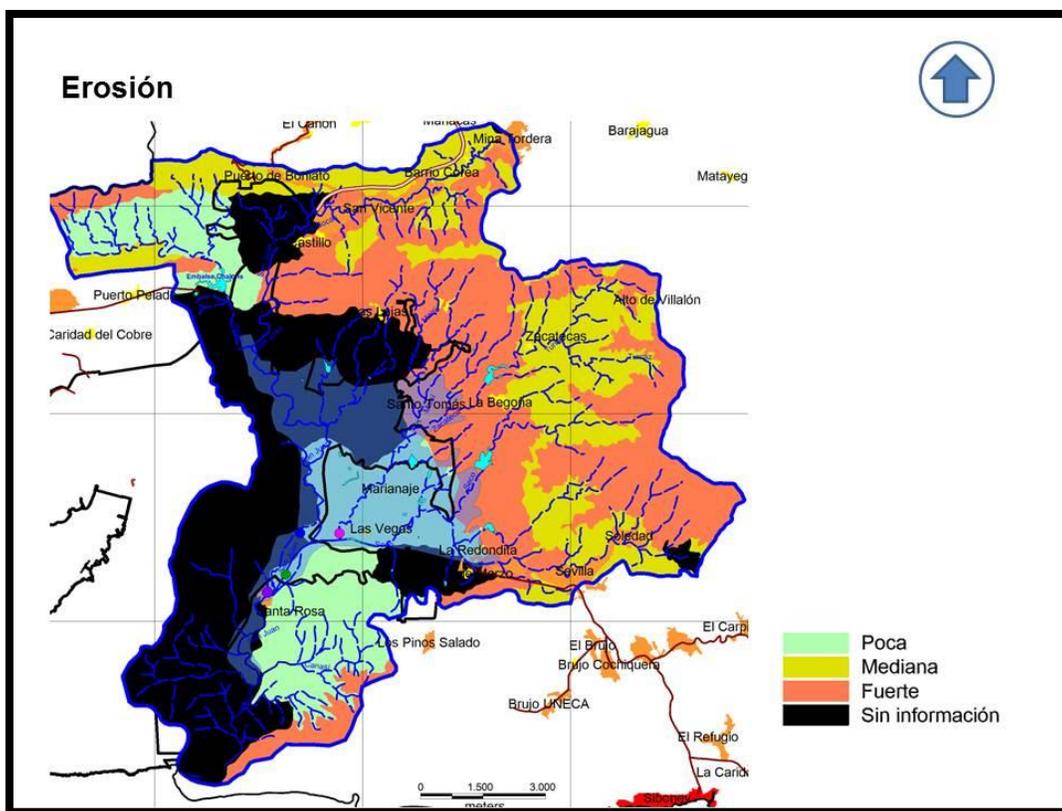


Figura 12. Erosión de los suelos. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

Tabla 5. Erosión de los suelos.

Erosión	Tipo de suelos	Superficie	Porciento
Fuerte	Esquelético	13.95	31.58
	Pardo con Carbonatos	2.1	
	Pardo sin Carbonatos	23.91	
	Rendsinas Rojas	3.72	
	Subtotal	43.68	
Mediana	Esquelético	18.15	19.35
	Fercialítico Pardo Rojizo	0.05	
	Pardo con Carbonatos	1.01	
	Pardo sin Carbonatos	7.55	
	Subtotal	26.76	
Poca	Aluvial	9.69	18.50
	Pardo sin Carbonatos	15.9	
	Subtotal	25.59	
Sin información		42.27	30.56
TOTAL		138.3	100.00

2.3.7 Pendientes

Predominan las pendientes de entre 0 y 15 grados, distribuidas principalmente entre la cuenca media y baja, coincidiendo con la ubicación del acuífero. Los valores entre 15 y 30 grados se extienden por toda la cuenca media, mientras que los mayores se ubican en la cuenca alta (Ver figura 13).

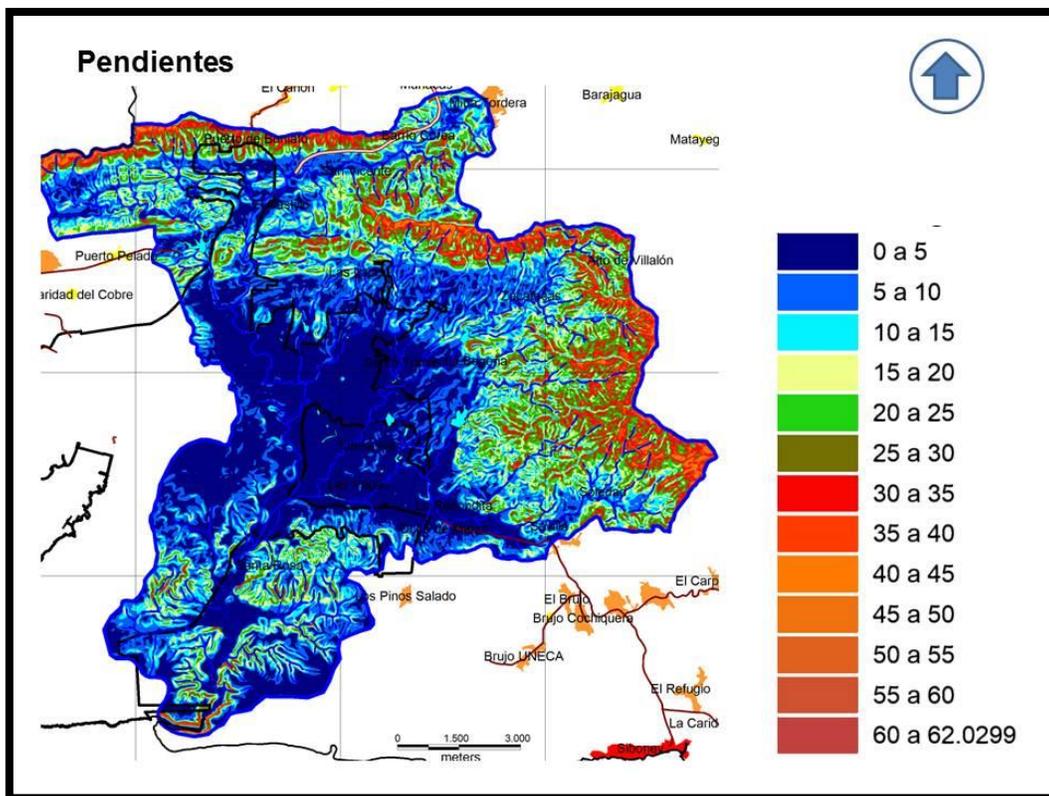


Figura 13. Pendientes. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.3.8 Recursos hídricos

La Cuenca está conformada por una cuenca superficial y una subterránea. El acuífero subterráneo, de 22.3 Km² se clasifica como acuífero libre, no consolidado, conteniendo reservas de agua calculadas en 12 millones de m³ al año, para abastecer a un sistema socio-económico localizado fuera de los límites de la cuenca hidrográfica y compuesto por alrededor de 60 000 habitantes y 185 entidades económicas, socioculturales y recreativas.

El principal tributario, es el río San Juan, posee un caudal de 30,3 hm³ que desemboca en el abra de Aguadores y una densidad de drenaje (Dd) de 1,06 km/km². Sus principales afluentes son los ríos Cocal, Seco, Zacateca, Dos Bocas y Maisí (Ver figura 14).

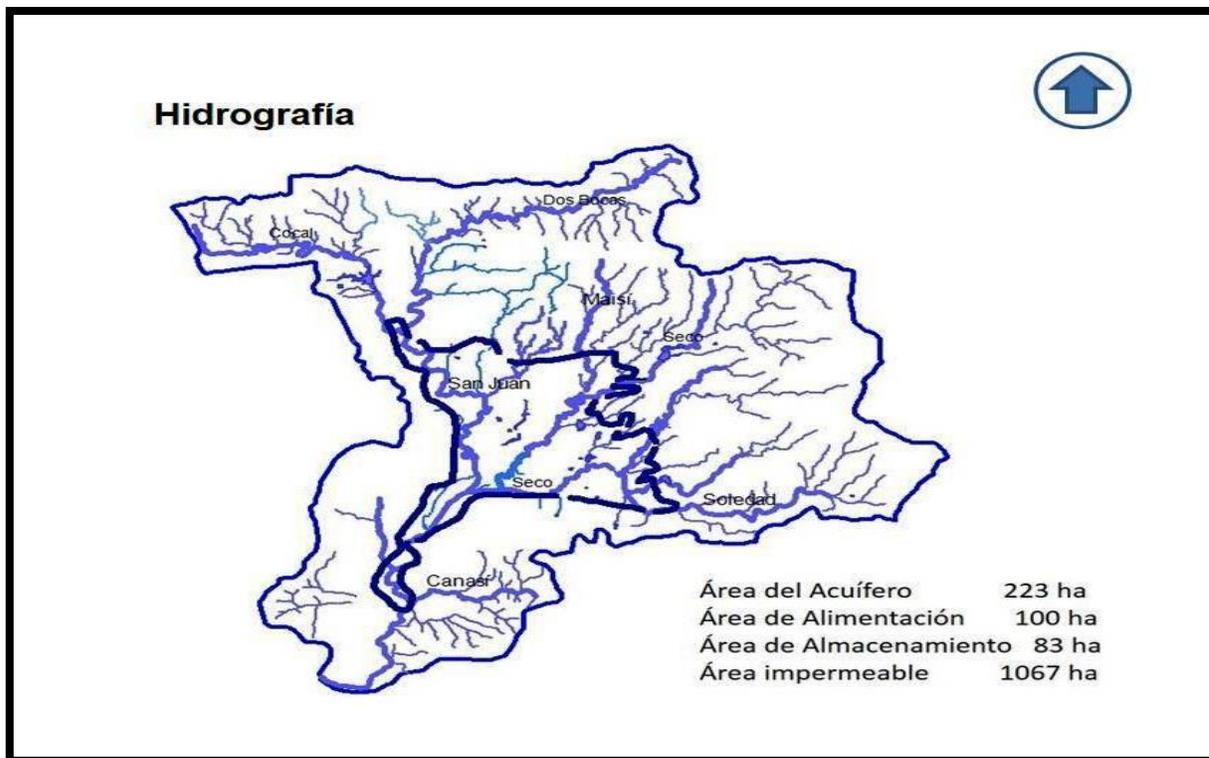


Figura 14. Hidrografía. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

En la cuenca se ubica el embalse Chalons y 5 micropresas (Marianaje, Dorotea, Canasí, La Campana y El Salado).

A raíz de la sequía varios de estos micro embalses estaban subutilizados, comenzándose a darle uso tanto para riego (desarrollo agropecuario), como para abasto a la población, es importante destacar que durante el curso del río, desde el nacimiento, existen comunidades que se abastecen directo de los mismos.

2.3.8.1 Calidad de las aguas y fuentes contaminantes

La calidad de las aguas subterráneas según Calderín *et al.*, 2019 es buena, pero al descender los niveles algunos indicadores alertaron la posible salinización del acuífero donde se suspendió totalmente la entrega durante la sequía, abasteciendo a la población por el sistema Quintero hasta que se recuperó el reservorio subterráneo por las lluvias ocurridas en los finales del 2017 y se normalizó el servicio del agua. Se continúa el control sistemático de la calidad de las aguas subterráneas.

Con respecto a la calidad de las aguas superficiales es importante señalar que existen instalaciones agropecuarias (alto crecimiento de la actividad porcina), industriales, de servicios y asentamientos humanos entre otros que los desechos sólidos y líquidos vierten directamente al río y sus afluentes, mayormente la tendencia, por ausencia de sistema de tratamiento de residuales, es la contaminación de estas aguas por lo que hay que accionar con mayor rigor con las fuentes contaminantes.

La población de la cuenca se beneficia por las redes de alcantarillado en la ciudad Santiago de Cuba, independientemente de lo anteriormente expresado, la disposición final del residual es libre debido al no completamiento del sistema (colectores y plantas de tratamiento), siendo los principales puntos de vertimientos al río San Juan.

- ❖ Santa Rosa.
- ❖ El Sitio.
- ❖ 30 de nov.
- ❖ Parque Zoológico.
- ❖ Hospital Clínico/Quirúrgico.
- ❖ Reparto Abel Santamaría

En el resto del territorio, donde la mayoría de las soluciones son particulares, (lagunas de oxidación, tanques sépticos, fosas mauras, letrinas o libres), se destacan los siguientes puntos de vertimientos:

- ❖ Dos Bocas.
- ❖ San Vicente.
- ❖ Prosperidad.
- ❖ Boniato.
- ❖ Cuabitas.

2.3.9 Uso del suelo

El balance del uso del suelo actual de la Cuenca se comporta de la siguiente forma:

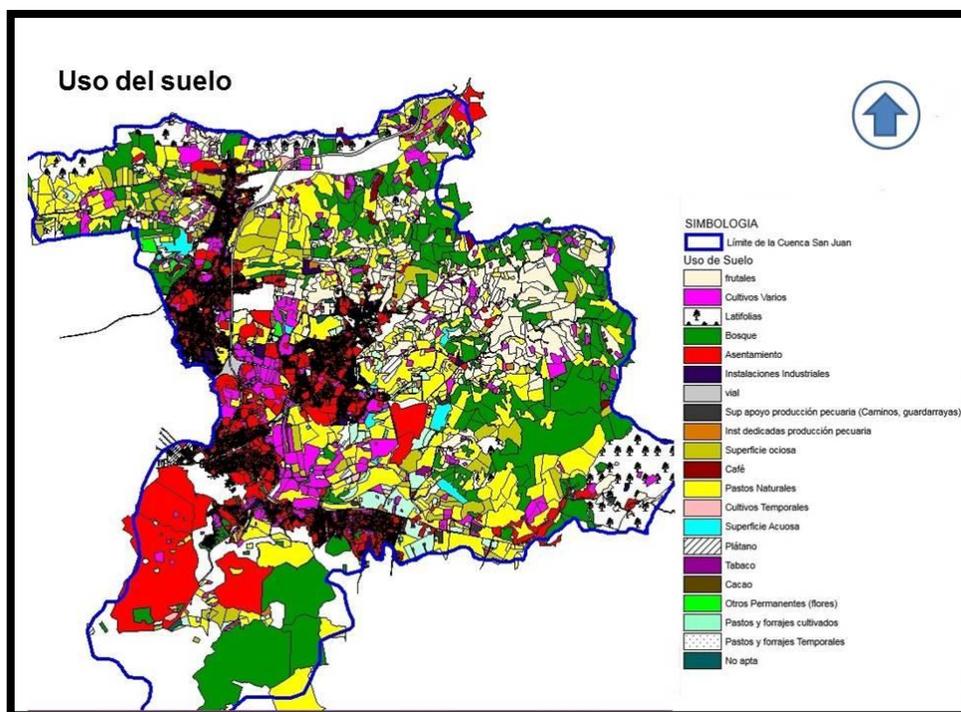


Figura 15. Uso del suelo. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

En la Cuenca San Juan predomina la superficie arbórea con un total de 4764 ha., secundada por el área urbanizada que representa el 30 % de la misma (Ver figura 15), (Ver tabla 6).

Tabla 6. Balance del uso del suelo en la cuenca San Juan.

No.	Concepto	Total (ha)	% cuenca
Urbanización			
1	Área urbanizada.	4 145,35	30
Superficie arbórea			
2	Bosques.	2 740,0	20
3	Latifolias.	773,0	5,6
4	Frutales.	1 251,0	9
	SUBTOTAL	4 764,0	34,6
Pastos			
5	Pastos naturales.	2 626,0	19
6	Pastos y forrajes cultivados.	227,0	1,6
7	Pastos y forrajes temporales.	0,65	0,01
	SUBTOTAL	2853,65	20,6
Cultivos			
8	Cultivos varios.	946,0	6,8

No.	Concepto	Total (ha)	% cuenca
9	Cultivos temporales.	53,0	0,38
10	Plátano.	78,0	0,6
11	Café.	55,0	0,39
12	Otros cultivos permanentes (Flores).	32,0	0,2
	SUBTOTAL	1 164,00	8,4
Instalaciones Agro industriales			
13	Instalaciones industriales.	63,0	0,44
14	Instalaciones dedicadas a producción pecuaria.	45,0	0,3
	SUBTOTAL	108,0	0.74
Superficie acuosa			
15	Superficie acuosa.	141,0	1
Superficie no aptas y ociosas			
16	No aptas (para la agricultura).	12,0	0,08
17	Superficie ociosa.	642,0	4,6
	SUBTOTAL	654,0	4,68
	TOTAL	13 830,0	100,0

2.4 Recursos forestales

El área forestal de la cuenca (bosque) en la actualidad es de 2740,0 ha con el siguiente balance: (Ver tabla 7)

Tabla 7. Balance forestal

Bosques naturales	2 280,0 ha	2740,0
Plantaciones	460,0 ha	
Áreas deforestadas	654,0 ha(*)	
TOTAL	3 394,0 ha	

(*) Se consideran las áreas no aptas y las superficies ociosas

Añadiendo a esta cifra (3 394,0 ha), el área de frutales (1 251,0 ha), se obtiene 4 645,0 ha de superficie arbórea en la cuenca (33,6%), pudiéndose decir que posee una situación favorable, planteándose que este balance puede ser mayor ya que existen algunas áreas de bosques primarios que no son controlados por el patrimonio forestal.

Existen además 773,0 ha de latifolias, que también contribuye a la autorregulación de la cuenca, la que sumada a las 4645,0 ha de bosques y frutales daría como resultado un área total de superficie arbórea de 5418,0 ha para un 39,2 % de área total de la cuenca.

Se aprecia además que es precisamente la cuenca alta y media la mayormente forestada y con gran superficie arbórea, elemento este que funciona muy bien en una cuenca, ya que es en esta zona donde se genera la mayor parte del agua por ser el nacimiento de ríos y arroyos que alimentan el lecho acuífero (Ver Figura 16 y 17).

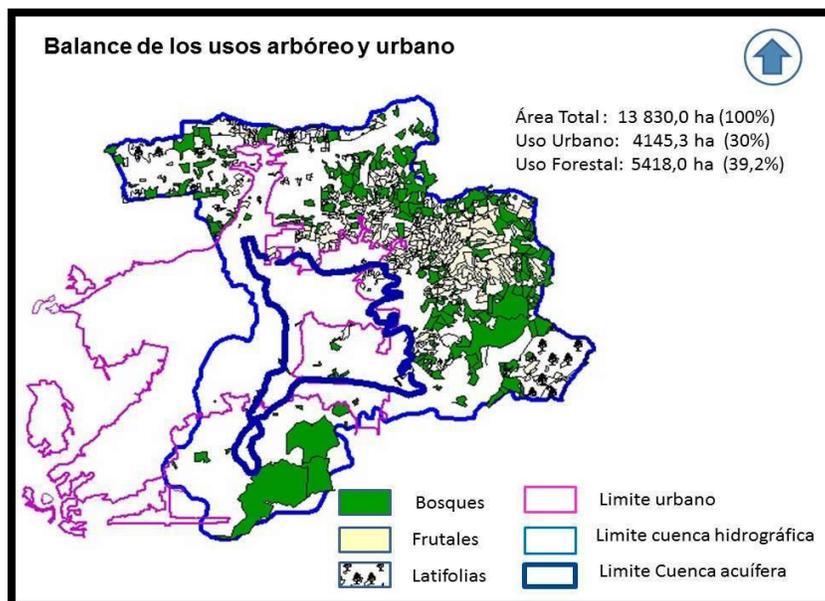


Figura 16. Balance del uso arbóreo urbano y rural. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

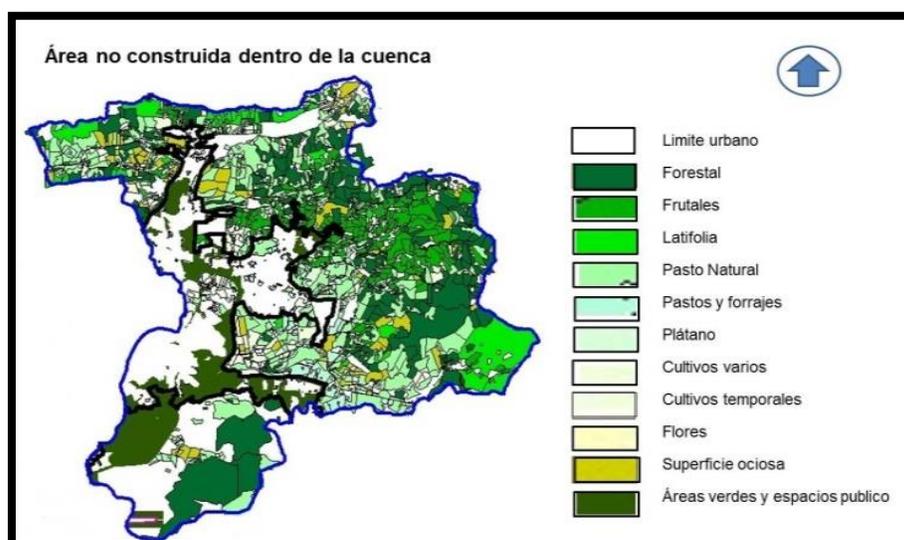


Figura 17. Área no construida dentro de la cuenca. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.5 Fajas hidrorreguladoras

El resumen de las mismas es el siguiente: (Ver tabla 8).

Tabla 8. Comportamiento de las fajas hidrorreguladoras en la cuenca.

Fajas hidro-reguladoras	155,88 ha	Otras Áreas	499,0 ha
Río San Juan	78,14 ha	• Sierra de Boniato	388,0 ha
Embalses:	38,87 ha	• Las Cuabas	20,0 ha
• Chalons	30,22 ha	• Chalons	24,0 ha
• Marianaje	4,16 ha	• Hicacos	25,0 ha
• Canasí	3,49 ha	• Canasí	42,0 ha
• Dorotea	1,00 ha		

El resto del territorio se complementa con las instalaciones agropecuarias e industriales, el que aunque territorialmente no son significativas, si los son por su repercusión tanto económica como medioambiental. (Ver figura 18).

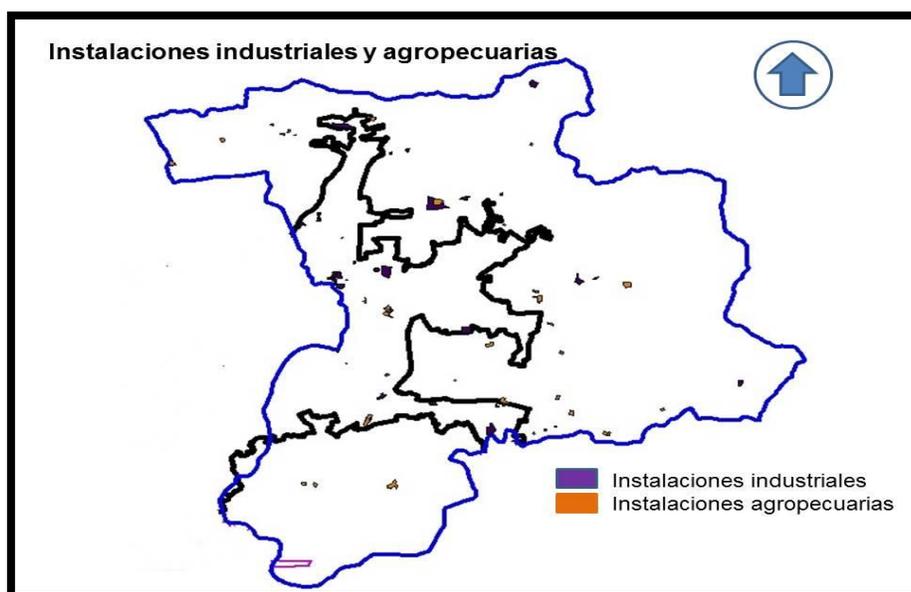


Figura 18. Instalaciones industriales y agropecuarias ubicadas en la cuenca. Fuente: Calderín *et al.*, 2019.

2.6 Componente ambiental

En la tabla 9 se realiza un balance por sub-cuencas de la incidencia de las instalaciones agropecuarias, productivas e industriales y sus implicaciones medioambientales.

Tabla 9. Balance por sub-cuencas y uso productivo.

Uso productivo	Fábricas e	Talleres	y	Almacenes	Empresas	Otras	total
----------------	------------	----------	---	-----------	----------	-------	-------

Sub-cuencas	industrias	otras instalaciones de transporte		agropecuarias	instalaciones y usos (*)	
San Juan	18	31	12	31	13	105
Chalons	2	-	-	4	1	7
Dos Bocas	3	-	1	5	5	14
Maisí Zacatecas	7	2	-	18	8	35
Rio Seco	1	1	1	16	5	24
Total	31	34	14	74	32	185

(*) Además de otros usos contaminantes, incluye el uso urbano y los puntos de vertimiento

Predominan en la Cuenca San Juan las instalaciones agropecuarias y la actividad de talleres y otras instalaciones de transporte siendo la sub-cuenca San Juan la más representativa, siguiéndole en orden la sub-cuenca Maisí- Zacatecas en el primero de los usos mencionados.

A continuación se resume el comportamiento de cada sub-cuenca, así como se destacan las instalaciones más contaminantes desde el punto de vista ambiental. Se enuncian los posibles impactos ambientales (específicamente con relación al suelo y al agua) que se generan en función de cada sector productivo y/o servicios, los cuales todos tienen un carácter negativo (Ver tabla 10).

Tabla 10. Aspectos e impactos ambientales asociados a la actividad productiva

Actividad	Problema	Aspecto asociado(causa)	Impacto ambiental	Valoración del impacto
Fábricas e industrias				
Alimentarias	Manejo de la materia prima y Vertido libre.	Deficiente sistema de disposición final.	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y cursos de agua. Riesgos sanitarios. Riesgos biológicos. Proliferación de vectores. 	Elevado
Carpinterías	Vertidos libres de agua mezclada con pintura, colorante y productos químicos.	Ausencia sistema de disposición final.	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y cursos de agua. 	Bajo
Construcción (Planta asfalto)	Derrame de derivados del petróleo al suelo.	Mal manejo Deficiente sistema de disposición final.	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y cursos de agua. 	Bajo
Talleres y otras instalaciones de transporte				

Actividad	Problema	Aspecto asociado(causa)	Impacto ambiental	Valoración del impacto
Transporte	Derrame de combustible y lubricante al suelo Generación de chatarras. Generación de desechos peligrosos (neumáticos, baterías, aceite usado, etc.)	Mal manejo Deficiente sistema de disposición final.	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y cursos de agua 	Medio
Empresas agropecuarias				
Agrícolas	Afectación a las franjas hidrorreguladoras y potencial a forestar.	Uso de áreas inadecuadas para el cultivo.	<ul style="list-style-type: none"> Degradación del suelo. 	Medio
Pecuarias	Vertimiento libre al suelo de área de limpieza mezclada con productos químicos. Excretas.	Deficiente sistema de disposición final de residuales	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y el agua. Riesgos sanitarios. Proliferación de vectores. 	Medio
Urbanizaciones				
Asentamientos poblacionales	Vertimiento libre sin tratamiento previo.	Deficiente sistema de disposición final de residuales	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y el agua. Riesgos sanitarios. 	Alto
Puntos de vertimiento de alcantarillado/residuales	Vertimiento libre sin tratamiento previo.	No completamiento del sistema de alcantarillado de la ciudad	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y el agua. Riesgos sanitarios. Proliferación de vectores 	Alto

2.7 Marco jurídico aplicable al manejo de cuencas hidrográficas

En Cuba existe un amplio marco jurídico, el cual debe cumplirse a lo largo del archipiélago, sin embargo a continuación se hace referencia a varios decretos, leyes y normas que abordan acciones a cumplir con respecto al tema en estudio, los cuales no se cumplen en la extensión que abarca la cuenca hidrográfica del río San Juan (Ver tabla 11).

Tabla 11. Marco regulatorio aplicable

Marco regulatorio significativo aplicable.	Efectos	Causas del no cumplimiento.
--	---------	-----------------------------

Marco regulatorio significativo aplicable.	Efectos	Causas del no cumplimiento.
Leyes		
Ley 81: 1997 del medioambiente	Contaminación de suelo, agua.	No completamiento de las urbanizaciones. Atrasos acumulados en el proceso inversionista. Deficiente fiscalización y control del territorio.
Ley del agua	Reducción de la disponibilidad del recurso.	Deficiente manejo de este recurso.
Decretos -Leyes		
DL 138: 1993 “De las aguas terrestres”	Vertimiento con efecto nocivo al suelo y a las aguas terrestres.	Deficientes sistemas de disposición final de residuales.
DL.190 de la Seguridad Biológica.	Riesgos biológicos	Vertimiento libre de instalaciones del sistema de salud.
Resoluciones		
Resolución 136 Reglamento para el Manejo integral de desechos peligrosos	Contaminación de suelo, agua.	No todas las empresas e instituciones tienen realizadas las Estrategias para el manejo de desechos peligrosos y la licencia ambiental para el manejo de los mismos.
Normas		
NC 27: 2012. “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.	Vertimiento libre de residuales al suelo. (Altos valores de DBO y DQO)	Carencia del sistema de tratamiento de residuales.
NC 521: 2012 “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones	Vertimiento libre de los residuales al mar.	Carencia del sistema de tratamiento de residuales.
NC 22/1999. Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénico – sanitarios.	Afectación a la salud.	Agua con deficiente calidad
NC 93-02/1985. Higiene comunal. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo.	Afectación a la salud	Presencia de indicadores que no cumplen los requisitos
NC 1021/2014. Higiene Comunal. Fuentes de Abastecimiento de Agua Calidad y Protección Sanitaria.	Altas concentraciones de iones de calcio y magnesio	Vertimiento de desechos sólidos que contengan productos médicos, envases de bebidas, materiales de la construcción, materiales de fotografía, etc.

Capítulo III

CAPÍTULO 3. USO DEL SUELO Y SU INFLUENCIA EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

En el presente capítulo se realiza un estudio de vulnerabilidad ambiental por subcuenca a través del análisis de las variables pertinentes para la determinación de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental, vulnerabilidad por exposición de población y vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción, con la finalidad de determinar la influencia del uso del suelo sobre los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica.

3.1 Determinación de la vulnerabilidad por exposición de población

En la determinación de la vulnerabilidad por exposición de población se tuvo en cuenta el nivel poblacional existente en cada subcuenca, relacionándolo con el porcentaje de área ocupada en cada caso, teniendo en cuenta los criterios expuestos en la metodología (Ver tabla 12).

Se empleó el software MapInfo para extraer los datos necesarios, específicamente el plano en el que se muestran los asentamientos existentes en la cuenca.

Tabla 12. Ponderación de la vulnerabilidad por exposición de población. Fuente: Elaboración propia.

Subcuencas	Área total (ha)	Área de asentamiento		Criterio
		(ha)	%	
Chalón	1269.0	152.99	12.06	1
Dos Bocas	1114.0	177.37	15.92	1
San Juan	5384.42	2572.46	47.76	3
Maisí-Sacatecas	2509.92	264.34	10.53	2
Río seco	3276.7	398.91	12.17	1

Al analizar los resultados expuestos en la tabla 12 se puede observar que las subcuencas de mayor vulnerabilidad respecto a esta variable son San Juan con una vulnerabilidad alta ya que casi el 50% de su área presenta asentamientos y Maisí – Sacatecas con una vulnerabilidad media, ya que, a pesar de no presentar un elevado nivel de asentamiento más del 90% de este se encuentra sobre el acuífero.

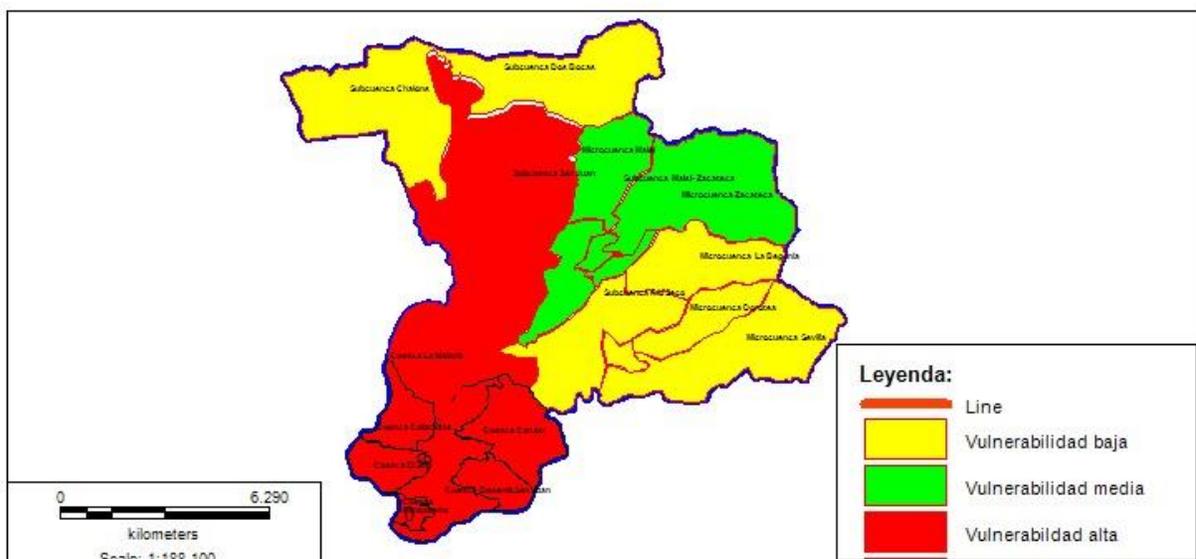


Figura 19. Comportamiento de la vulnerabilidad por exposición de población. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Determinación de la vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción

Referente a la determinación de la vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción es necesario especificar que se tuvo en cuenta los puntos de vertimientos existentes, convenios porcinos, fábricas e industrias y los talleres e industrias de transporte. Para su análisis se realiza un estudio referente a la cantidad existente y el impacto que presenta cada uno en cada subcuenca, para así llegar a un criterio definitivo por subcuenca (Ver tabla 13).

Se empleó el software MapInfo en la selección de los datos para el estudio y determinación de las variables pertinentes para este tipo de vulnerabilidad, empleando los planos que representan la ubicación de los puntos de vertimientos, las fábricas e industrias y los convenios porcinos existentes en cada subcuencas.

Tabla 13. Ponderación de la vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción. Fuente: elaboración propia.

Subcuencas		Chalón	Dos Bocas	San Juan	Maisí-Sacatecas	Río seco
Área total (ha)		1269.0	1114.0	5384.42	2509.92	3276.7
Puntos de vertimiento	#	-	3	6	-	1
Convenios porcinos	#	1	-	2	6	2

Fábricas e industrias	#	2	3	18	7	1
Talleres e indust. de transporte	#	-	-	31	2	1
Criterio		1	2	3	3	2

Evidentemente con los resultados expuestos se demuestra que la subcuenca San Juan presenta un alto grado de vertimientos, lo cual genera una vulnerabilidad alta dentro de la cuenca, al igual que la subcuenca Maisí – Sacatecas, aclarando que ambas subcuencas ocupan más del 90% del área del lecho del acuífero, lo que implica el elevado nivel de riesgo de contaminación al que está expuesto el mismo.

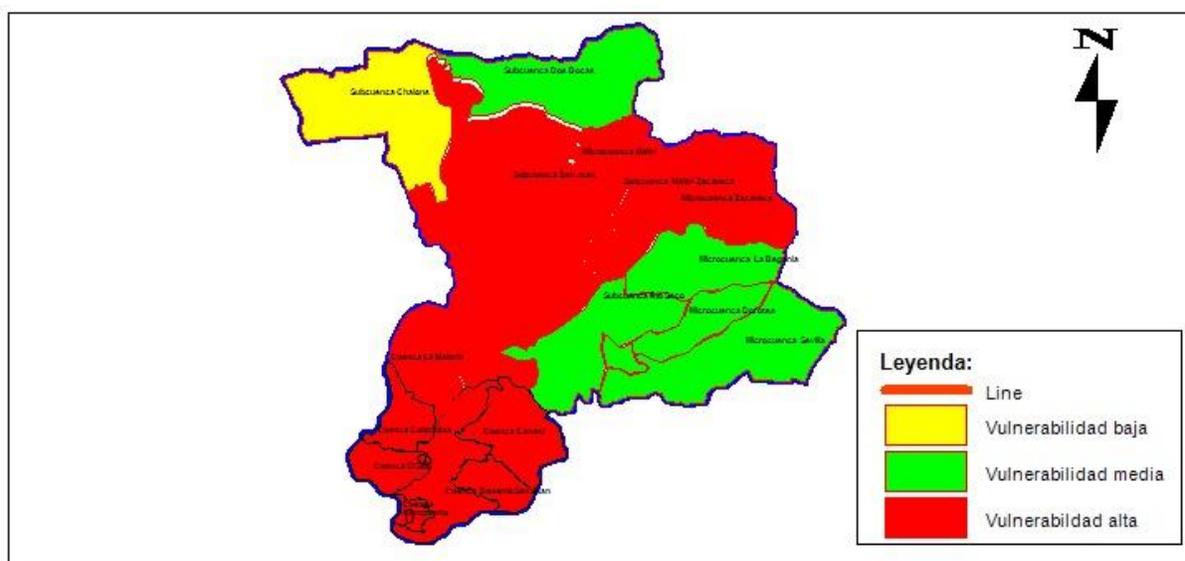


Figura 20. Comportamiento de la vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Determinación de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental

En la vulnerabilidad por fragilidad ambiental, específicamente en su determinación, se analizaron los conflictos por uso del suelo, el nivel de deforestación y la pérdida del suelo, enfatizando cada uno de ellos dentro de cada subcuenca (Ver tablas 14 y 15) (Ver figuras 21, 22 y 23).

Con el apoyo del software MapInfo se pudo completar el análisis para las variables existentes, entre los planos empleados están el de uso de suelo, de áreas boscosas y el de erosión.

Tabla 14. Ponderación de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental. Fuente: Elaboración propia.

Subcuencas	Área total (ha)	Conflictos por uso de suelo		Criterio
		(ha)	%	
Chalón	1269.0	99.57	7.85	1
Dos Bocas	1114.0	-	-	1
San Juan	5384.42	1083.6	20.13	2
Maisí-Sacatecas	2509.92	210.6	8.39	1
Río seco	3276.7	187.7	5.73	1

Tabla 15. Ponderación de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental. Fuente: Elaboración propia.

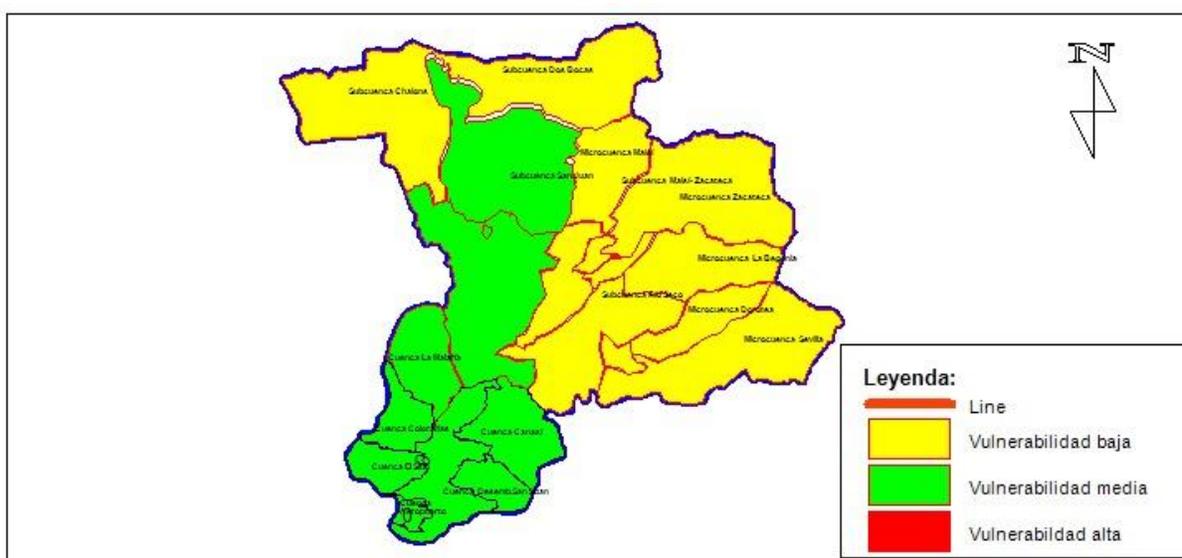


Figura 21. Comportamiento de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental según los conflictos de uso del suelo. Fuente: Elaboración propia.

Subcuencas	Área total (ha)	Nivel de deforestación		Criterio	Pérdida de suelo(*)	Criterio
		A (ha)	%			
Chalón	1269.0	215.85	17.01	3	Baja	1
Dos Bocas	1114.0	496.6	44.58	2	Alta	3
San Juan	5384.42	953.4	17.71	3	Alta	3
Maisí-Sacatecas	2509.92	378.22	15.07	3	Media	2
Río seco	3276.7	939.1	29.09	2	Alta	3

(*) Para seleccionar como predomina la pérdida de suelo se estima un promedio por cada subcuenca y se escoge la que más predomine en cada una de ellas.

Como resultados significativos después de la determinación de estas variables se puede hacer referencia a que la subcuenca de mayor vulnerabilidad en este caso es

San Juan debido a que presenta grandes impactos en las tres variables analizadas.

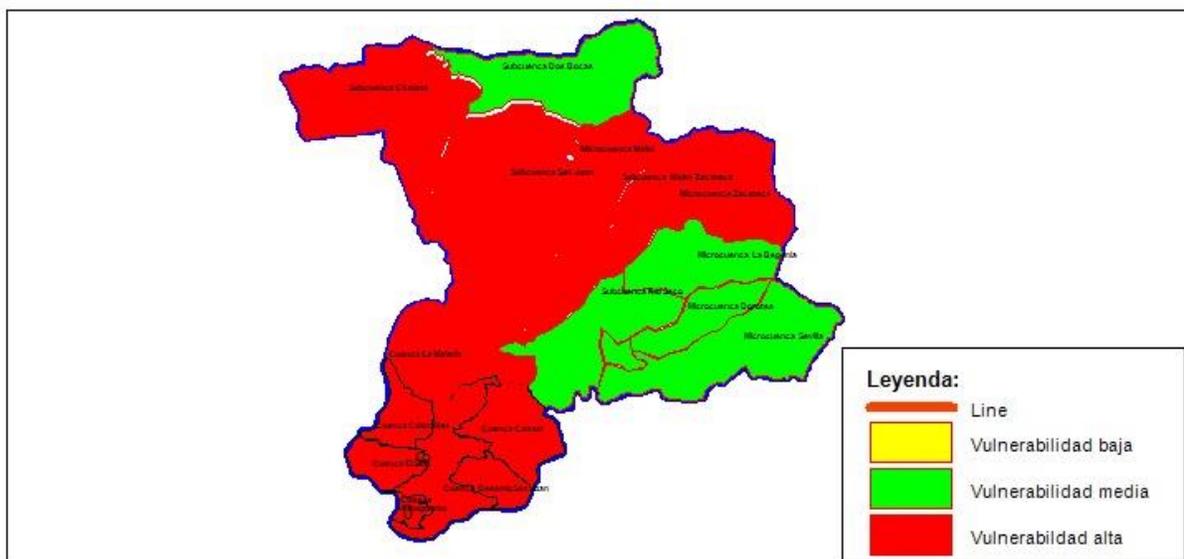


Figura 22. Comportamiento de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental según el nivel de deforestación. Fuente: Elaboración propia.

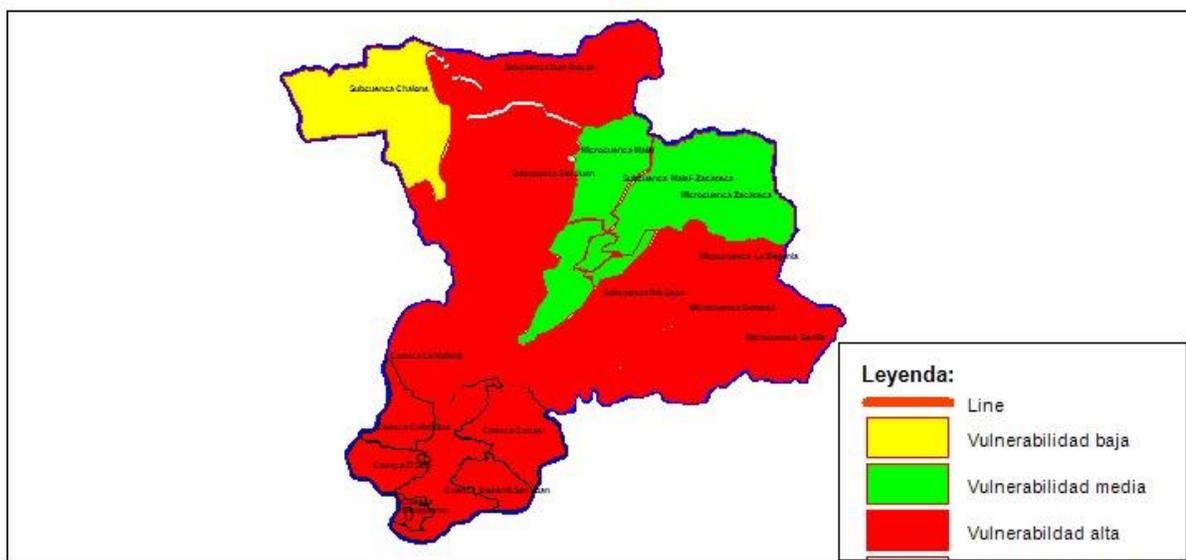


Figura 23. Comportamiento de la vulnerabilidad por fragilidad ambiental según la pérdida de suelo. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Determinación de la vulnerabilidad en cada subcuenca

Al realizar el análisis de cada variable y obtener las vulnerabilidades existentes en cada subcuenca se determinó la vulnerabilidad total por subcuencas y a su vez de la cuenca hidrográfica San Juan. Los resultados se pueden observar en la tabla 16 y la figura 24.

Tabla 16. Ponderación de la vulnerabilidad total de cada subcuenca. Fuente: Elaboración propia.

Subcuencas	VE	VFA	V(calc)	V
Chalón	1	1.7	1.35 (1)	Baja
Dos Bocas	1.5	2	1.75 (2)	Media
San Juan	3	2.7	2.85 (3)	Alta
Maisí- Sacatecas	2.5	2	2.25 (2)	Media
Río seco	1.5	2	1.75 (2)	Media

Como resultado final del estudio de vulnerabilidad, una vez analizado el mapa de vulnerabilidades se denota que la subcuenca más vulnerable es San Juan, lo cual se demuestra a lo largo de la investigación mediante los análisis realizados, resaltando el grado de exposición al que están sometidos los recursos hídricos en la cuenca, fundamentalmente el lecho del acuífero.

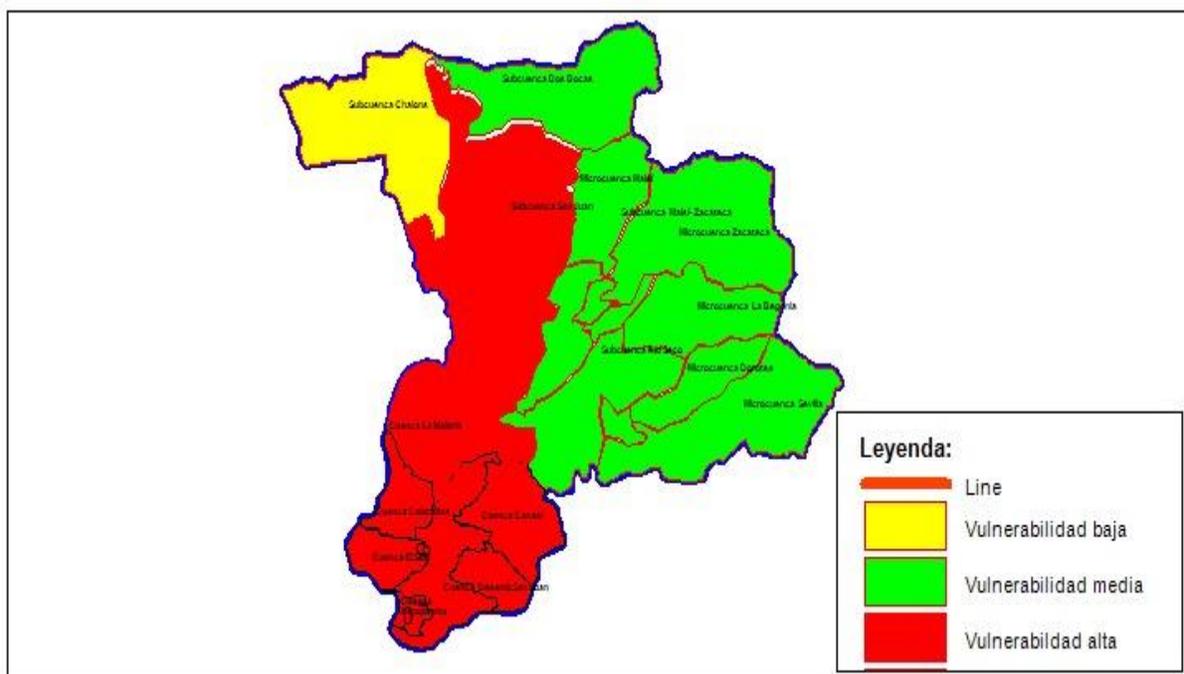


Figura 24. Comportamiento de la vulnerabilidad total de cada subcuenca. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Influencia del uso del suelo en los recursos hídricos

Con la relación al mapa de vulnerabilidad que se determinó por variables, se pudo detectar que existe un gran conflicto entre los distintos usos del suelo en la cuenca, los cuales se resaltan fundamentalmente en el lecho del acuífero en la subcuenca San Juan.

Entre los principales conflictos que se generan del uso del suelo se pueden plantear

el uso del área para asentamiento poblacional, la cual ocupa casi el 50 % del área de dicha subcuenca. Además existen problemas en los sistemas de tratamientos de residuales, de los cuales se ubican en esta área 6 puntos de vertimiento, lo que incrementa la contaminación del acuífero en cuanto a los residuales; hay industrias y fábricas instaladas en el mismo lecho del acuífero junto a la urbanización existente, esto implica que casi toda el área está pavimentada, lo cual reduce la recarga del acuífero. Por lo tanto, el acuífero en esta zona está altamente vulnerable a la contaminación, lo que evidentemente afecta la calidad de sus aguas.

Conclusiones

CONCLUSIONES

1. El análisis de la bibliografía consultada permitió caracterizar la cuenca hidrográfica San Juan y definir la metodología de estudio con la selección de los métodos y las herramientas necesarias para el estudio.
2. Se realizó la caracterización de la cuenca, en función de las variables en estudio y se pudo detectar que el no cumplimiento de las leyes reguladoras aplicables al manejo de cuencas hidrográficas en Cuba, trae consigo innumerables afectaciones a los recursos hídricos y del suelo.
3. Se confeccionó el mapa de vulnerabilidades, el cual arrojó que las subcuencas de mayor preocupación son San Juan y Maisí- Zacatecas, con vulnerabilidades alta y media respectivamente, ya que estas ocupan más del 90% del área del acuífero.
4. Se demostró que el uso del suelo afecta negativamente los recursos hídricos en la cuenca, fundamentalmente al lecho del acuífero, debido a los conflictos generados por el uso del suelo.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Se deben generar estrategias de cómo establecer un adecuado uso del suelo en función de los resultados que se han obtenido en este trabajo, los cuales demuestran la gravedad del problema.
2. Los resultados del mismo deben ser expuestos a los tomadores de decisiones en el manejo de esta cuenca hidrográfica.
3. Se debe realizar un programa de reestructuración del sistema de tratamiento de aguas residuales, fundamentalmente donde se ubican los puntos de vertimientos de los asentamientos y las industrias.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Balci, A. N., & SHENG, T. C. (1989). *Manual de campo para el manejo de cuencas hidrográficas "medidas y prácticas para el tratamiento de pendientes"*. Roma: FAO.
- Batista Silva, J. (2017). *Evaluación de los recursos hídricos en Cuba*. Cuba.
- Calderín, C., Salas, A., Ramírez, G., Durand, T., & Infante, Y. (2019). *Propuesta de un plan de acción preliminar para la preservación del lecho acuífero Cuenca Hidrográfica San Juan*. Santiago de Cuba.
- Cárdenas, M. F. (2013). La gestión de ecosistemas estratégicos proveedores de agua. *Gestión y Ambiente*, 109-122.
- Chávez, T. (2012). *Análisis hidrológico ante impactos del cambio climático y cambios de uso del suelo en la cuenca del río Compasagua, Nicaragua*. Nicaragua.
- Cisneros, J. (2012). *Erosión hídrica, principios y técnicas de manejo*. Río Cuarto.
- Cuevas, M., Garrido, A., Pérez, J., & Lura, D. (2010). Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural. *Las cuencas hidrográficas en México*, 96- 103.
- FAO. (1984). *Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertización*. Roma, Italia.
- Figueroa, L., Ibañez, A., Arteaga, R. A., & Vásquez, M. (2011). Cambio de uso de suelo en la cuenca San Cristóbal de las casas, México. *Agrociencia*, 45, 531-544.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., DElia, M., & Paris, M. (2002). *Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de aguas, autoridades municipales y agencias ambientales*. Washington.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Delgado, M., Senisterra, G., & Denegri, G. (2011). Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas Serranas mediante SIG. *Multequina*, 3- 13.
- Gerrero Chuez, N. (2016). *Evaluación del uso de suelo y su influencia actual en la calidad del agua de la microcuenca "El sapanal" cantón pangua, provincia de Cotopaxi, Ecuador*. México.
- Green, K., Kempka, D., & Lackely, L. (1994). Using remote sensing to detect and monitor land- cover and land- use change. *photogrammetric engineering y Remote sensing*, 331- 337.
- Herrera H., B. (1983). *Elementos de fotogrametría, uso de los materiales aerofotográficos*. Chapino, México.
- INEGI., I. N. (1989). *Uso potencial del suelo*. aguascaliente, México.
- Kok, K., Verburg, P., & Veldkamp, A. (2004). Integrated assessment of the land system: the future of land use. *Land use policy*, nº 24, 517- 520.
- Lam, Q. D., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2011). The impact of agricultural best management practices on water quality in a North German lowland catchment. *Environmental Monitoring and Assessment*. vol. 183, nº 1-4, 351- 379.
- Mas, J. f. (1999). A comparison of change detection techniques. *Remote sensing*, 139- 152.
- Miliarium. (2004). *Suelos*.
- Miranda del Fresno, C., & Linares, S. (2016). *Evaluación de la aptitud del suelo para*

- la expansión urbana mediante la aplicación del WHAT IF.*
- Ortiz Slorio, L., G., M., & J.W. Estrada, B. (1994). *Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de latierra.* México.
- Osorio Múnera, J., Uribe River, N., García Tavera, L., & Bustamante Ochoa, E. (2019). *optimización de uso del suelo acorde con restricciones ambientales y sociales: caso cuenca de Riogrande II.*
- Peña, F., Escalona, M., Pincheira, J., & Rebolledo, G. (2011). *Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004.*
- Richard, F. (2016). *Estimación de los efectos del cambio de uso del suelo sobre el comportamiento hidrológico en la cuenca del arroyo Cabana.*
- Richters J., E. (1995). *Manejo de uso de la tierra en América Central hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra.* Costa Rica.
- Soria, J., Ortiz- Solorio, F., G., I., & Volke, H. (1998). Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales: experiencias en México. *Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo.*
- Tole, L. (2002). An Stimate of forest cover extent and change in Jamaica using Landsat MSS data. *Remote Sensing*, 91- 106.
- Van, G., & LR., O. (1997). *The assessment of the human- induced soil degradation in South and Southeast Asia.* The Netherlands.
- Vera, J., & Albarracín, A. (2016). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y fijos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e ingeniería Neogranadina. Vol 27, nº 2*, 109- 136.
- Villegas, I., Macedo, A., & Carrillo, G. (2007). Avances de un sistema de monitoreo de la erosión hídrica y calidad del agua en cuatro microcuencas forestales del campo Las Cruces. . *Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*, 1- 17.
- Watler, R. (2008). *Análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico en la subcuenca del río Siquirres, Costa Rica.* Costa Rica.
- Yevenes, M., & Mannaerts, C. (2011). Seasonal and land use impacts on the nitrate budget and export of a mesoscale catchment in Southern Portugal. *Agricultural Water Management. vol 102, nº 1*, 54- 65.