

QIVI: complemento para QGIS que calcula el Índice de Valor de Importancia en estudios ecológicos de análisis estructural de vegetación

Autores:

Karen Andrea Huertas Vargas

Yilsey Teresa Benavides Miranda

Trabajo de grado en modalidad de monografía presentado como requisito parcial para optar por el título de especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Salomón Einstein Ramírez Fernández

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá D.C., Colombia

Mayo 2018

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. PROBLEMA	7
3. JUSTIFICACIÓN	10
4. ALCANCE	12
4.1. Alcance técnico	12
5. OBJETIVOS	13
5.1. Objetivo General	13
5.2. Objetivos específicos	13
6. ESTADO DEL ARTE	14
6.1. Antecedentes	14
6.2. Marco teórico	16
7. METODOLOGIA	19
8. RESULTADOS	21
8.1. Fase de análisis	21
8.1.1. Requerimientos funcionales en diagrama de casos de uso	21
8.1.2. Requerimientos no funcionales en diagrama de casos de uso	22
8.2. Fase de diseño arquitectónico	23
8.2.1. Diagrama de clases	23
8.2.2. Diagrama de secuencias	24
8.2.3. Diagrama de componentes	25
8.2.4. Diagrama de despliegue	25
8.3. Implementación	26

8.4. Funcionalidad	28
8.5. Usabilidad	31
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
10. REFERENCIAS	35

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Metodología de desarrollo SCRUM.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2. Diagrama de Casos de Uso.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Diagrama de Clases.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4. Diagrama de Secuencias.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5. Diagrama de Componentes.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 6. Diagrama de Despliegue.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7. Interfaz gráfica de usuario QIVI.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 8. Entorno de trabajo QIVI.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 9. Tabla de atributos capa de entrada con los atributos mínimos.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10. Tabla temporal QIVI.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 11. Selección de individuos de la especie con mayor IVI.....</i>	<i>30</i>

1. INTRODUCCIÓN

La biodiversidad se resume en la riqueza biológica que caracteriza un área geográfica, en donde el comportamiento de la vegetación es un indicador fundamental sobre la tendencia estructural de un ecosistema (Krebs, 1989). La mejor forma de evaluar el comportamiento de especies se realiza mediante el análisis de la estructura horizontal con el Índice de Valor de Importancia (IVI). Pese a los avances tecnológicos IVI no ha sido implementado bajo una herramienta de análisis espacial y geográfico de manera automática que permita la toma de decisiones de manera eficiente.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la automatización de procesos de cálculo para el análisis estructural de especies vegetales resulta eficaz en términos de ahorro de tiempo y costos, además en la ejecución de tareas que implican salidas estadísticas de manera unificada logrando una mayor certeza de la información y resultados evitando algunos de los posibles errores de usuario involucrados en el proceso.

En el presente documento se plantea un complemento de Quantum GIS desarrollado por medio de la metodología SCRUM, organizada en tres fases con etapas que componen el ciclo iterativo teniendo en cuenta tareas de diseño, arquitectura, construcción, ejecución e implementación de la herramienta.

Actualmente se encuentran teorías y metodologías estadísticas que permiten diferentes tipos de análisis así como herramientas computacionales en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y motores de bases de datos para la optimización de cálculos estadísticos en temas ecológicos sin embargo el índice no se toma como significativo su representación espacial.

Con el desarrollo de la herramienta, a continuación, se presenta el diseño e implementación de un complemento de QGIS que permite la automatización del Índice de Valor de Importancia (IVI) a través de una interfaz gráfica intuitiva que permite la interpretación y análisis de datos de vegetación de manera eficiente y accesible para diferentes tipos de usuarios.

2. PROBLEMA

La estructura de un bosque está definida por el comportamiento de la distribución espacial de árboles individuales en una superficie determinada; el análisis de dicha estructura ha permitido el desarrollo de numerosos estudios que contemplan inventarios forestales a nivel de censo y muestreo permitiendo la toma de decisiones en términos de planificación, manejo y seguimiento. El comportamiento estructural, se analiza mediante cálculos de índices que muestran la ocurrencia de las especies en un área y su importancia ecológica dentro de un ecosistema. Así, el índice ecológico más apropiado es el Índice de Valor de Importancia (IVI) que corresponde a la suma de la abundancia, frecuencia y dominancia relativa de las especies que componen un bosque.

A pesar de que se habla de estructura espacial, no hay una herramienta que permita la visualización inmediata donde se señale el conjunto de individuos que corresponden a las especies más dominantes, más frecuentes y más abundantes imposibilitando la observación de un patrón de distribución y generalmente solo se presentan reportes estadísticos dentro de tablas e histogramas.

Lo anterior, se debe a que no todos los muestreos o censos presentan la georreferenciación de los individuos principalmente por la falta de navegadores GPS submétricos. Aun así, los censos urbanos son la excepción; ya que la normativa y entidades competentes exigen la ubicación geográfica y se requiere de mayor análisis para la planificación urbana sobre el manejo del arbolado y más cuando debe existir compatibilidad con infraestructura y población.

Por otro lado, el (IVI) requiere de una serie de cálculos estadísticos en donde la base de datos usualmente es procesada con el uso de una hoja de cálculo y tablas dinámicas en donde inicialmente se determina la cantidad de individuos por especie y posteriormente se calculan para cada una de ellas los factores que componen el índice obteniendo al final un valor porcentual que indica de mayor a menor la importancia ecológica de las especies. Se considera que este tipo de método implica tiempo innecesario y si se desarrolla inadecuadamente puede presentar errores que toman tiempo en detectar.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, las empresas, Corporaciones Autónomas Regionales, entidades e instituciones de investigación que desarrollan inventarios forestales y que también los requieren se ven afectadas por tiempos innecesarios adicionales a la toma de datos en campo que es la fase de mayor desgaste; así como también si se maneja un gran volumen de datos o personal que no tenga el dominio apropiado se verían involucrados posibles errores que incurren en costos adicionales.

En ese orden de ideas, se plantea generar una herramienta que permita la automatización del proceso de cálculo mediante la carga de la base de datos en donde es necesario que contenga la representación geográfica de los individuos arbóreos inventariados con el respectivo soporte dentro de la tabla de atributos; allí deben estar incluidas las variables de identificación taxonómica de las especies y las variables dendrométricas tomadas en campo.

Se desea que la herramienta siga la serie de pasos que permiten calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI) y adicionalmente arroje una salida con la representación espacial y un reporte de resultados estadísticos que permita concluir acerca de las especies y definir en

términos de recursos, la potencialidad para conservación, para la generación de ingresos y/o bienestar protegiendo la integralidad ecosistémica o compatibilidad con el entorno urbano.

3. JUSTIFICACIÓN

El avance científico ha permitido cuantificar la información florística mediante inventarios forestales que proporcionan parámetros estructurales y distribución de individuos vegetales en cualquier entorno por medio de visualización geográfica y espacial definiendo patrones de comportamiento de las especies.

Generar esta herramienta permite al usuario la automatización de procesos de cálculo para el análisis estructural de especies vegetales con información de inventarios forestales, esto no solo resulta eficaz en términos de ahorrar tiempo y costo, sino que al ejecutar tareas que implican salidas estadísticas de manera unificada se logrará una mayor certeza de la información y resultados evitando algunos de los posibles errores de usuario involucrados en el proceso.

El procesamiento de inventarios forestales se desarrolla bajo fichas estandarizadas y hojas de cálculo que solo llegan a personal especializado en el tema por lo que se permite una serie de errores no verificados por otros, con lo cual en la herramienta se podrá analizar de manera más eficiente la información resultante y obtener una mayor certeza en los resultados al ser calculados automáticamente y en un menor tiempo reduciendo los procesos de cálculos de los mismos especialistas.

Teniendo en cuenta la automatización del proceso y el manejo de datos de manera práctica y profesional, se evalúan también los beneficios en cuanto al costo que generan este tipo de procesamiento y verificación de información, donde se reducirá la parte técnica y se obtendrá una optimización en los tiempos de análisis de la información por personal específico del proyecto.

La herramienta propuesta, se presenta al usuario de forma intuitiva donde este no requiere tener un amplio conocimiento del tema permitiéndole llevar a cabo el procesamiento con una guía sencilla de los datos de requerimientos de inventario y una información base geográfica del proyecto, resultando en una visualización detallada que le permita comprender mejor los parámetros que componen el índice de valor de importancia (IVI) que requieren un análisis de rigor en términos ecológicos y la presentación de un reporte estadístico buscando agilizar la toma de decisiones mediante una descripción de interpretación sencilla conforme a los resultados.

Esta automatización influye significativamente cuando se presentan proyectos en los que posterior a la recolección de datos la información puede presentar incoherencia y se debe recurrir a nuevos muestreos, en ese orden de ideas, agilizaría los procesos de detección de algún tipo de imprecisión o alteración en el mismo proyecto.

La implementación de la herramienta además de las funcionalidades ya presentadas se despliega como extensión de trabajo para ser empleada en un software de Sistemas de Información Geográfica de escritorio, focalizando su uso en software con licenciamiento libre, con el objetivo de llegar a cualquier tipo de usuario y centrarse en la premisa de que algunos proyectos de esta área son desarrollados por partes académicas o laborales independientes donde la financiación es reducida y las licencias de algunas herramientas son de valores elevados, por lo que esta será una gran ventaja considerando que el desarrollo de la herramienta incorpora un procesamiento de la información eficaz, preciso, ágil y profesional.

4. ALCANCE

El complemento QIVI se desarrolla para ejecutar el cálculo del Índice de Valor de Importancia (I.V.I) de manera simple e intuitiva para el usuario. El cálculo requiere de archivos Shapefile (.shp) previamente cargados por el usuario en el espacio de trabajo del software QGIS, en donde se permita interpretar espacialmente el índice anteriormente expuesto. Tiene en cuenta la distribución espacial de puntos que serán árboles o individuos vegetativos georreferenciados, la especie y las características dendrométricas y dasométricas obtenidas en un levantamiento en campo.

4.1. Alcance técnico

Está definido de acuerdo a la funcionalidad que suministra el complemento QIVI, de esta manera, está en la capacidad de conectarse con los datos administrados por el usuario y a partir de los mismos obtener los atributos necesarios y requeridos para el cálculo de estadísticas que comprende el Índice de Valor de Importancia (IVI). Se obtiene como resultado la selección de los individuos de la especie con mayor IVI y una tabla de almacenamiento temporal con el reporte de cálculo.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Diseñar, desarrollar e implementar una herramienta de extensión en un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de escritorio que automatice el cálculo del Índice de Valor de Importancia (IVI) considerando la carga de datos que contenga información asociada a inventarios forestales.

5.2. Objetivos específicos

- Definir los requerimientos funcionales y no funcionales de la herramienta partiendo de las necesidades definidas por el usuario.
- Establecer la arquitectura de diseño para construir el procesamiento y geoprocésamiento de cálculo del Índice de Valor de Importancia (IVI) en la herramienta.
- Implementar la herramienta en un programa de Sistemas de Información Geográfica de libre licenciamiento, evaluando la funcionalidad y usabilidad de la herramienta.

6. ESTADO DEL ARTE

6.1. Antecedentes

Para el año 1951 se desarrolló el Índice de Valor de Importancia (IVI) por Curtis & McIntosh para estudios de ecología vegetal. Diferentes proyectos forestales y ambientales han implementado metodologías de análisis relacionadas con el manejo forestal, las evaluaciones de impacto ambiental y los estudios de conservación.

Para el registro de inventarios forestales se tienen en cuenta variables de interés básicas que permiten su caracterización e impacto, adicionalmente estos inventarios buscan hacerle seguimiento a los ecosistemas en cuanto a su composición, estructura, y degradación con el fin de dar soporte para la toma de decisiones del sector involucrado y para las políticas ambientales que busquen mitigar daños y un desarrollo sostenible para los mismos, ya que en la actualidad ha generado la necesidad creciente de entender los ecosistemas, el inventario y los procesos ecológicos de forma integrada, para así orientar y apoyar efectivamente los procesos de conservación y producción.

Algunos cálculos de índices ecológicos se han realizado con software como BIO-DAP este fue desarrollado por Gordon y Douglas en 1988, el cual permite calcular índices de diversidad por medio de tablas y funciones programadas en tabulación como Brillouinm, Simpson, Berger-Parker y series estadísticas, sin embargo, emplea una interfaz ambigua y solo soportado por archivos de datos alfanuméricos para Windows.

El empleo de software estadísticos son los más usuales por los profesionales de estas áreas, uno de estos es XLSTAT-Ecology el cual está diseñado para soportar bases de datos

alfanuméricas de las cuales se calculan automáticamente índices ecológicos, este software maneja un análisis estadístico óptimo con la generación de reportes específicos.

Otro software desarrollado para el cálculo de índices ecológicos es Biotas el cual está diseñado particularmente por profesionales en Ecología y Biología el cual tiene como funciones principales los cálculos estadísticos, simulaciones de datos, uso del hábitat, correlaciones y representación geográfica de la información capturada, sin embargo, el acceso a este solo se puede realizar con pago de licenciamiento.

Dentro de algunas aplicaciones relevantes para el análisis de estudios y proyectos que involucran levantamientos en campo se destaca en el año 2014 como apoyo de CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), una Web Mapping se permite la consulta de información descriptiva y características ecológicas de determinado proyecto, el cual incorpora actividades de registro de datos a partir de un formulario, almacenamiento y reporte con información referente a biodiversidad.

Adicionalmente el desarrollo de estas aplicaciones web, móvil y complementos han permitido al profesional en ciencias forestales y afines en desarrollo de proyectos de sostenibilidad, ambiente y paisajismo identificar eficientemente análisis de la distribución de especies y aunque se presentan diferentes propuestas de análisis de datos no se ha podido consolidar una herramienta de libre licenciamiento que permita la operación automatizada del cálculo del Índice de Valor de Importancia (IVI) con una representación geográfica de los datos recolectados por medio de inventarios de manera inmediata.

6.2. Marco teórico

Para el año 1951 se desarrolló el Índice de Valor de Importancia (IVI) por Curtis & McIntosh para estudios de ecología vegetal. Diferentes proyectos forestales y ambientales han implementado metodologías de análisis relacionadas con el manejo forestal, las evaluaciones de impacto ambiental y los estudios de conservación.

El Índice de Valor de Importancia (IVI) es un índice ecológico que permite evaluar las características particulares de los bosques o masa forestal que se compone de un gran número de especies representadas por pocos individuos. Además, con patrones complejos de tipo espacial entre el suelo y el dosel (Bourgeron, 1983). Este índice permite definir el comportamiento de la estructura horizontal de árboles individuales y de las especies en la superficie de un bosque. Esta estructura puede evaluarse a través de índices que expresan la ocurrencia de las especies, lo mismo que su importancia ecológica dentro del ecosistema, como es el caso de las abundancias, frecuencias y dominancias, cuya suma relativa genera el Índice de Valor de Importancia (IVI) (De las Salas & Melo, 2000).

El cálculo se desarrolla para cada especie a partir de la suma de la abundancia relativa, la frecuencia relativa y la dominancia relativa. Permite comparar el peso ecológico de cada especie dentro del bosque. El valor del (IVI) similar para diferentes especies registradas en el inventario sugiere una igualdad o semejanza del bosque en su composición, estructura, calidad de sitio y dinámica (Braun, 1974).

La abundancia hace referencia al número de individuos por hectárea y por especie en relación con el número total de individuos. Se distingue la abundancia absoluta (número de

individuos por especie) y la abundancia relativa (proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema) (Lamprecht, 1990).

La frecuencia permite determinar el número de parcelas en que aparece una determinada especie, en relación al total de parcelas inventariadas, o existencia o ausencia de una determinada especie en una parcela. La abundancia absoluta se expresa como un porcentaje (100% = existencia de la especie en todas las parcelas), la frecuencia relativa de una especie se determina como su porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies (Melo, 2000).

La dominancia se relaciona con el grado de cobertura de las especies como manifestación del espacio ocupado por ellas y se determina como la suma de las proyecciones horizontales de las copas de los árboles en el suelo. Debido a que la estructura vertical de los bosques naturales tropicales es bastante compleja, la determinación de las proyecciones de las copas de los árboles resulta difícil y a veces imposible de realizar; por esta razón se utiliza las áreas basales, debido a que existe una correlación lineal alta entre el diámetro de la copa y el fuste (Lamprecht 1990).

En la actualidad ha surgido una necesidad creciente de entender los ecosistemas y los procesos ecológicos de forma integrada, para poder así orientar y apoyar efectivamente los procesos de conservación y producción.

Ante la creciente intervención y transformación de los ecosistemas silvestres por parte del hombre, la cual ha llegado a afectar significativamente los procesos ecológicos locales y regionales, e inclusive los planetarios globales, se hace urgente la planificación de las actividades humanas y el monitoreo de sus efectos, en sus contexto espacial y temporal. La

Ecología del Paisaje (EP) busca aportar para este fin, un marco de integración a través de la aplicación de conceptos unificadores e interdisciplinarios, y de la incorporación de los avances tecnológicos disponibles para el estudio de los ecosistemas, como los Sensores Remotos y los Sistemas de Información Geográficos. La EP se ha venido consolidando durante los últimos 40 años en un marco científico interdisciplinario, que busca abordar la compleja relación de las sociedades humanas y sus espacios de vida, de manera que permita estudiar y entender los ecosistemas naturales y sus diversos grados de transformación antropogénica, cada día más extendidos.

Tal como lo plantea Zonneveld (1986, 1987), la Ecología del Paisaje implica a la vez que un enfoque científico, también una actitud y un estado mental holístico hacia el conocimiento del Paisaje y los fenómenos eco sistémico. Este hecho determina que siendo la Ecología del Paisaje en su esencia de carácter trans-disciplinario, lo fundamental se centra en la necesidad que los profesionales de las diferentes disciplinas conciban el paisaje como una entidad compleja pero coherente en su "totalidad", que no es cognoscible en función de los componentes aislados de su contexto global. En este sentido debe entenderse que uno de los objetivos centrales de este enfoque es que, partiendo de una formación disciplinar rigurosa, se pretende acceder a una visión de conjunto que permita contextualizar lo disciplinar, y al mismo tiempo servir como canal de comunicación para la construcción de una interdisciplinaridad real en la práctica.

7. METODOLOGIA

De acuerdo a la herramienta propuesta, se definió el desarrollo del proyecto por medio de la metodología SCRUM, caracterizada por ser de proceso ágil, de desarrollo incremental en el cual se presentan ciclos de iteración cortos y se adapta a los cambios que puedan presentarse en los requerimientos.

La metodología se adoptó con el fin de automatizar el cálculo del Índice de Valor de Importancia (IVI) teniendo en cuenta variables tiempo, organización y objetivos definidos. En la Figura 1 se presenta el diagrama metodológico en donde se definen tres fases principales y el detalle de las etapas que componen el ciclo iterativo.



Figura 1. Metodología de desarrollo SCRUM

Fuente: Elaboración propia adaptado de Sommerville (2011).

Como se presenta en la Figura 1 se desarrolla cada ciclo de acuerdo con los avances que se presentó el proyecto de manera que se pueda mantuvo un trabajo continuo. Dentro de estas

etapas se tuvieron en cuenta tareas de diseño, arquitectura, construcción, ejecución e implementación de la herramienta.

Con la ejecución continua de los procesos se logró un control y aprobación de los alcances obtenidos en cada etapa, evaluados dentro de los tiempos establecidos cada 2 semanas, de manera que se obtenía una aprobación incremental en los avances del producto.

En la etapa 1 se asignaron los procesos o tareas a desarrollar comprendidas dentro del proyecto en el área de diseño y arquitectura.

En la etapa 2 se generó el desarrollo de la etapa anterior, implementando los requerimientos establecidos para la funcionalidad de la herramienta.

En la etapa 3 se revisó detalladamente los avances realizados en la herramienta, progresivamente, durante esta etapa se tienen en cuenta las observaciones hechas por cada participante del proyecto desde su perspectiva y función del trabajo en el desarrollo con el objeto de obtener una herramienta integral.

En la etapa 4 se desarrolló la validación y verificación total del producto por el equipo de trabajo, donde se evaluó el alcance de la herramienta y sus objetivos planteados. Con la presentación de la documentación e información necesaria para el desarrollo del proyecto de manera que se implementaron las posibles mejoras en cada ciclo teniendo como base la herramienta final presentada.

8. RESULTADOS

Los resultados presentados a continuación corresponden al producto final de la metodología SCRUM anteriormente expuesta y conformada por la definición de requerimientos funcionales y no funcionales, el diseño arquitectónico que comprende la arquitectura de software final, la implementación y la revisión del cumplimiento funcional de la herramienta.

8.1. Fase de análisis

8.1.1. Requerimientos funcionales en diagrama de casos de uso

Se establece un solo requerimiento (RF-1. Calcular Índice de Valor de Importancia). En ese sentido, se le permite al usuario calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI) a partir de la carga de datos provenientes de un levantamiento o inventario forestal en donde se incluyan individuos arbóreos georreferenciados con la respectiva tabla de atributos disponiendo las diferentes variables dendrométricas y nomenclatura taxonómica que incluyan mínimo tres atributos o campos (Nombre Científico o Común, Área basal y Parcela).

La funcionalidad se expresa mediante la selección espacial de los individuos de la especie con mayor importancia ecológica o con mayor I.V.I. dentro del área de estudio y como soporte se obtiene la generación de una tabla temporal que contiene los cálculos generados para llegar al índice y de esta forma ser exportada o no a conveniencia del usuario para análisis posteriores dentro y fuera de QGIS.

En el siguiente diagrama se presenta el único caso de uso establecido en el proyecto para el desarrollo de la extensión QIVI planteada en el software de GISQGIS, como calculador

potencial del Índice de Valor de Importancia de manera eficaz e intuitiva para el usuario obteniendo el resultado esperado, por medio de una sencilla interfaz de ingreso de datos con única función de cálculo de IVI.

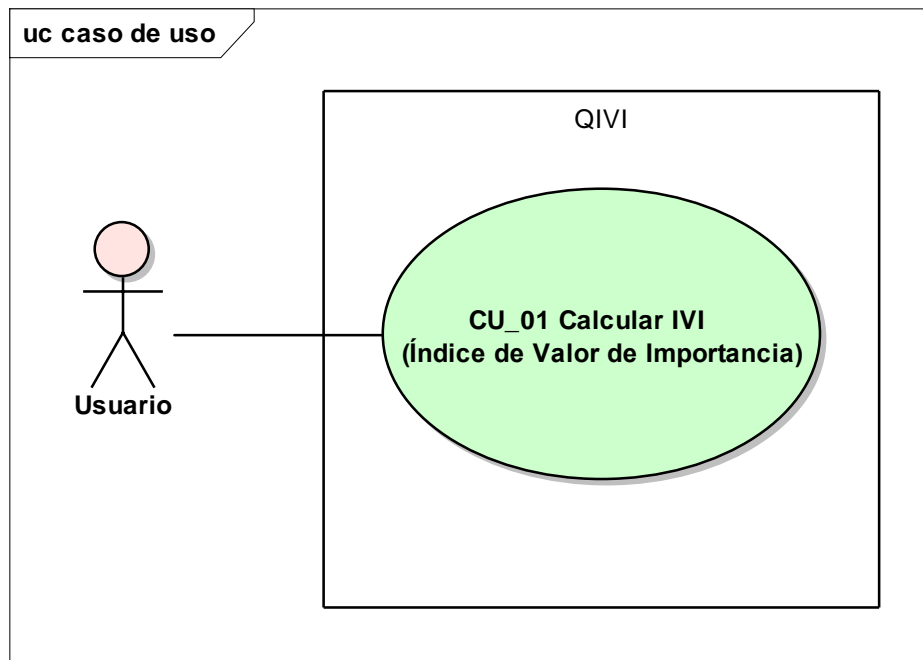


Figura 2. Diagrama de Casos de Uso

Fuente: Elaboración propia

8.1.2. Requerimientos no funcionales en diagrama de casos de uso

Se establecieron requerimientos de producto y externos. Dentro de los requerimientos de producto, la herramienta tiene en cuenta requerimientos de desempeño en donde se permita la fácil instalación y despliegue en el software de Sistemas de Información Geográfica de licenciamiento libre QGIS. También se definen requerimientos de usabilidad en donde el complemento permita mostrar la información de manera ágil y dinámica y también la disposición de alertas informativas para la selección adecuada de los datos y campos. Adicionalmente, disponer de una interpretación previa con información asociada a los

cálculos del índice. Se consideran requerimientos de dependencia que definen que la carga de datos en el espacio de trabajo debe ser de tipo Shapefile con el posicionamiento geográfico de los individuos a procesar.

Los requerimientos no funcionales externos comprenden requerimientos de regulación que establece que el código fuente debe seguir estándares de codificación debidamente documentados siguiendo las reglas de estilo de Python en donde el metadato siga la codificación UTF-8.

8.2. Fase de diseño arquitectónico

El diseño de la arquitectura de software para el complemento QIVI se describe mediante los siguientes diagramas:

8.2.1. Diagrama de clases

En el modelo se presenta las funciones propias de la interfaz y de la función del cálculo en específico de manera que se entienda las dependencias entre las mismas y el objetivo de cada una dentro de la aplicación.

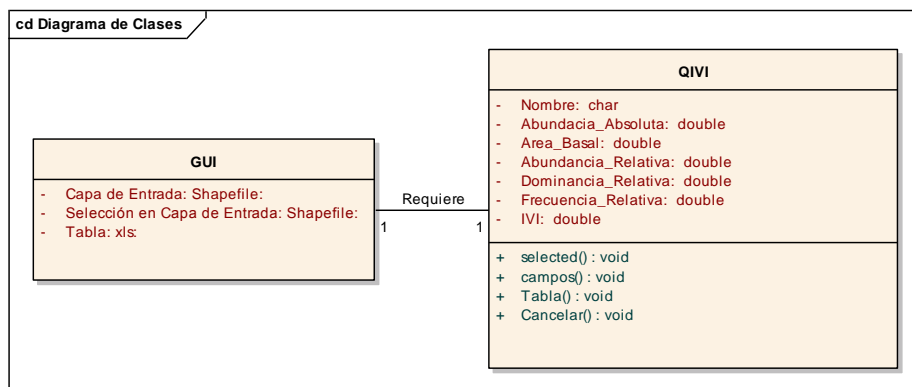


Figura 3. Diagrama de Clases

Fuente: Elaboración propia

8.2.2. Diagrama de secuencias

En el modelo se presenta las funciones que tienen los dos actores principales del sistema que correspondería al usuario y al complemento QIVI, definiendo claramente la función que ejecuta cada uno respecto al proceso de manera ordenada y cronológica especificando que desencadena cada vez que termina de ejecutarse una acción por parte de los actores.

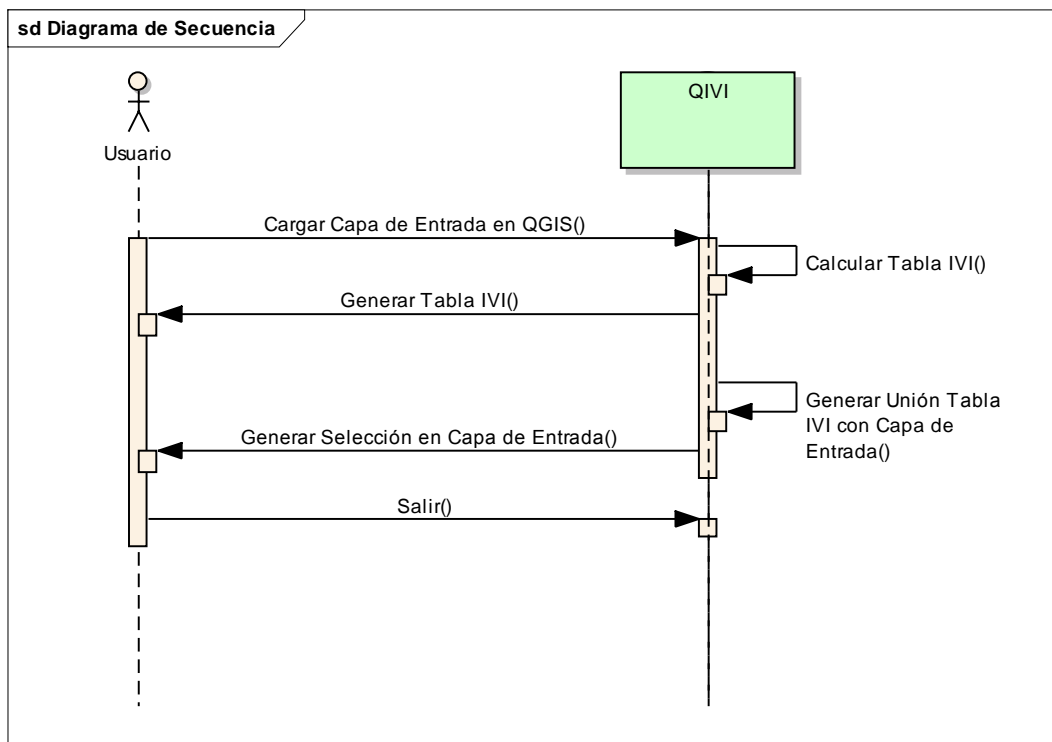


Figura 4. Diagrama de Secuencias

Fuente: Elaboración propia

8.2.3. Diagrama de componentes

El diagrama de componentes se define como la parte modular donde se asocia en contenido de manera que este pueda ser reemplazado o modificado sin alterar los otros componentes del sistema, como en el presente trabajo ya se ha establecido un solo conjunto por su naturalidad debido a que la herramienta en sí sola se desarrolla como componente alternativo externo de un sistema más grande como QGIS. Se definió en un solo componente la función del complemento que es el calcular el Índice de Valor de Importancia.

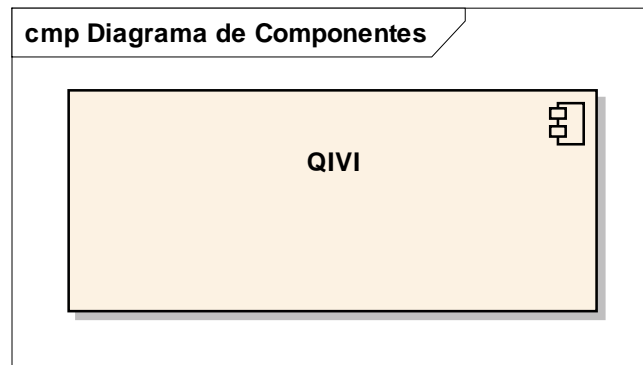


Figura 5. Diagrama de Componentes

Fuente: Elaboración propia

8.2.4. Diagrama de despliegue

En el diagrama de despliegue se presenta la estructura sobre la cual va a funcionar la herramienta o plugin, definiendo los ambientes de trabajo necesarios para la ejecución. El ambiente de ejecución será el Software de Sistemas de Información Geográfica QGIS, y el complemento se desarrolla para el manejo en desktop y finalmente se deberá contar con un equipo físico PC con características básicas de funcionamiento.

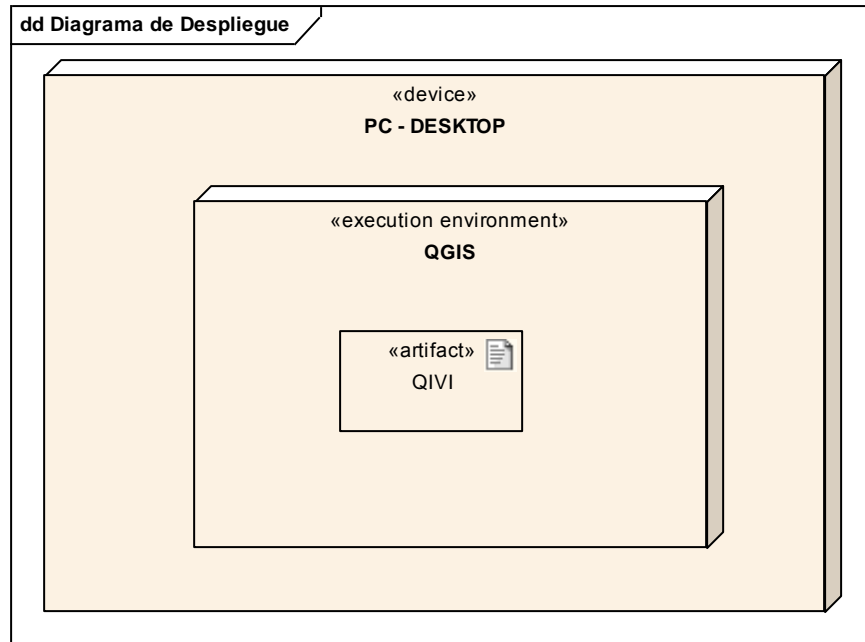


Figura 6. Diagrama de Despliegue

Fuente: Elaboración propia

8.3. Implementación

La implementación consiste en la materialización física del diseño arquitectónico por medio de artefactos como lo son los ficheros de código fuente. Se desarrolla la interfaz gráfica de usuario mediante la API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) con la librería PyQt4. La implementación de la funcionalidad en el software SIG QGIS comprende la lógica de negocio en donde se hizo uso de la librería PyQGIS con el lenguaje de programación anfitrión Python 2.7.

El desarrollo de la interfaz gráfica se diseñó mediante QtDesigner, generando el archivo (QIVI_dialog_base.ui) en donde se encuentran los elementos gráficos a ser ejecutados desde el archivo (QIVI.py) por medio de la clase QIVIDialog contenida en el archivo (QIVI_dialog.py) en un ambiente de desarrollo integrado (IDE) de Python.

La lógica de negocio para el cálculo del Índice de Valor de Importancia QIVI comprende la clase QIVI en donde se crearon las funciones necesarias que generan conexión con la interfaz gráfica para ejecutar el procesamiento de los datos. La GUI cuenta con elementos *Combo Box* para seleccionar la capa de entrada y los campos requeridos, elementos *Push Button* para generar la selección en la capa de entrada y la tabla temporal con el reporte del cálculo que se ejecutan mediante eventos tipo *clicked*, también, se encuentra un elemento *Tab Widget* de tres pestañas para la descripción de las variables que componen el cálculo del índice y elementos tipo *Label*.

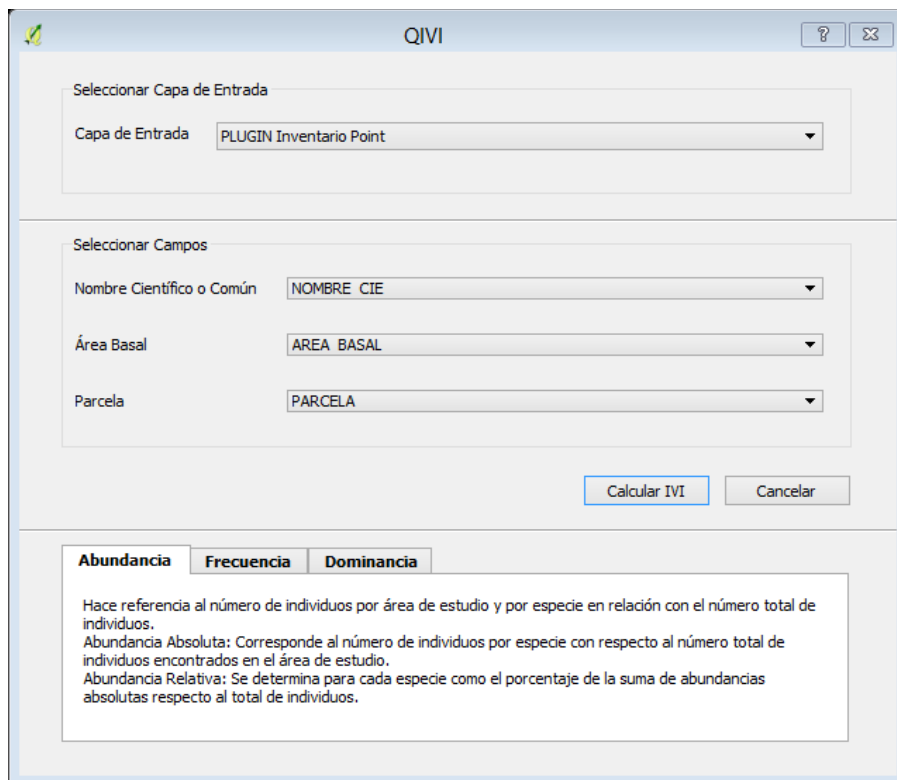


Figura 7. Interfaz gráfica de usuario QIVI.

Fuente: Elaboración propia

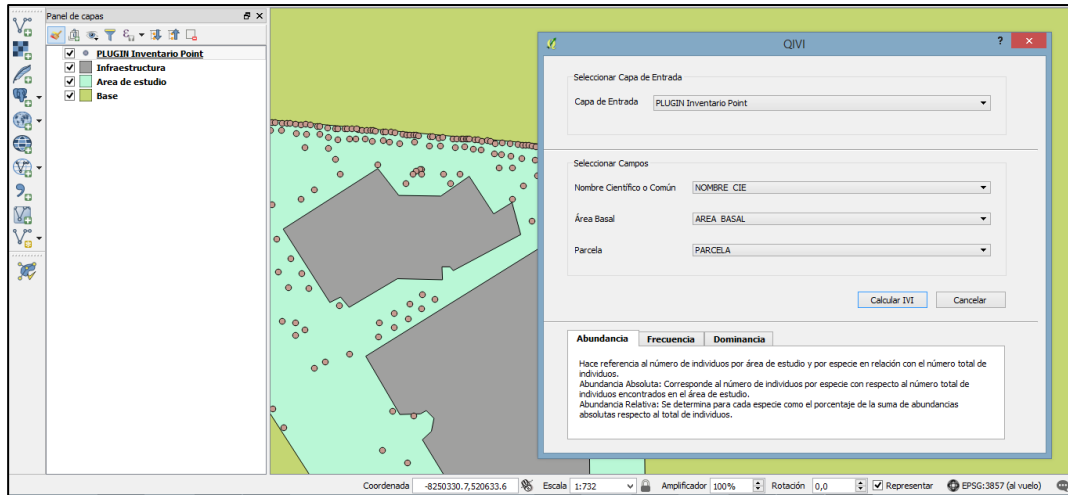


Figura 8. Entorno de trabajo QIVI.

Fuente: Elaboración propia.

8.4. Funcionalidad

La evaluación de la funcionalidad se lleva a cabo con el uso de datos reales y con el cálculo no automatizado que permite verificar si el cálculo del Índice de Valor de Importancia (I.V.I.) el cual es correcto conforme a los requerimientos previamente descritos. Una de las pruebas de funcionalidad se realiza a partir de los datos de un inventario forestal urbano levantado en un predio privado de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN) localizado en la ciudad de Bogotá.

Para dar cumplimiento a los requerimientos se hace una verificación de datos atributivos del Shapefile para dar cumplimiento sobre los atributos mínimos necesarios (Nombre científico o nombre común, área basal y parcela) que permiten a la extensión realizar el cálculo en el software.

PLUGIN Inventario Point :: Objetos totales: 444, filtrados: 444, seleccionados: 0

Id	ID_1	POINT_X	POINT_Y	Latitud	Longitud	ID_12	PARCELA	NOMBRE_CIE	NOMBRE_COM	AREA_BASAL	
1	418	356	996043.2365749...	1008176.253750...	4,670138208613...	-74,1131697350...	356.000000	I	Melaleuca citrina ...	Lava botellas	0.000484
2	178	184	995988.480960...	1008335.450889...	4,671577817453...	-74,1136632499...	184.000000	B	Syzygium panicul...	Eugenia	0.000703
3	173	188	995994.2685920...	1008334.323760...	4,671567627424...	-74,1136111504...	188.000000	B	Schefflera actino...	Cheflera	0.000928
4	399	355	996043.6306950...	1008182.884339...	4,670198169749...	-74,1131661859...	355.000000	I	Melaleuca citrina ...	Lava botellas	0.000928
5	351	345	996030.8958529...	1008163.298700...	4,670021049193...	-74,1132809545...	345.000000	I	Melaleuca citrina ...	Lava botellas	0.000963
6	365	283	996043.5614820...	1008198.157619...	4,670336287426...	-74,1131668167...	283.000000	H	Melaleuca citrina ...	Lava botellas	0.000963
7	113	113	995965.8731429...	1008340.746599...	4,6716256965185...	-74,1138670786...	113.000000	B	Hibiscus rosa-sin...	Cayeno	0.001089
8	371	376	996035.3790060...	1008148.309359...	4,669885501311...	-74,1132405415...	376.000000	J	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.001387
9	89	90	995920.9814199...	1008324.619880...	4,671479840056...	-74,1142716753...	90.000000	A	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.001429
10	372	443	996035.1408799...	1008148.626859...	4,669888372388...	-74,1132426879...	443.000000	J	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.001696
11	23	24	995917.4458739...	1008329.589230...	4,671524776648...	-74,1143035431...	24.000000	A	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.001743
12	420	354	996043.9641810...	1008172.615729...	4,670105309927...	-74,1131631756...	354.000000	I	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.001790
13	177	183	995988.8518990...	1008335.483959...	4,671578116705...	-74,1136599710...	183.000000	B	Syzygium panicul...	Eugenia	0.001887
14	340	279	996043.0323149...	1008214.048530...	4,670479990099...	-74,1131715933...	279.000000	H	Melaleuca citrina ...	Lava botellas	0.002246
15	409	325	996009.7639600...	1008187.620390...	4,670240982705...	-74,113471424805...	325.000000	I	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.002465
16	436	351	996042.0497830...	1008159.611410...	4,669987709860...	-74,1131804238...	351.000000	I	Melaleuca citrina ...	Lava botellas	0.002521
17	369	372	996036.1451970...	1008147.320479...	4,6698765559111...	-74,1132336355...	372.000000	J	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.002578
18	310	392	995982.5626779...	1008228.651330...	4,670612016602...	-74,1137166056...	392.000000	G	Lafoensia acumin...	Guayacán de Ma...	0.002636

Mostrar todos los objetos espaciales

Figura 9. Tabla de atributos capa de entrada con los atributos mínimos.

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza la carga de capas asociadas al área de estudio en el espacio de trabajo de QGIS, posteriormente se selecciona la capa activa que contiene la información descrita en la figura 9 y luego se seleccionan los campos respectivos.

Al generar el cálculo del Índice de Valor de Importancia (I.V.I.) por medio de la extensión propuesta se crea una tabla temporal denominada “IVI” en el panel lateral de capas, en donde se obtienen los campos señalados en la figura 10; simultáneamente se ejecuta la selección de los individuos de la especie con mayor valor calculado en la tabla (IVI) (Figura 11) que para el caso de estudio corresponde a la especie *Lafoensia acuminata* indicando que es la especie con mayor ocurrencia y mayor importancia ecológica dentro del ecosistema urbano.

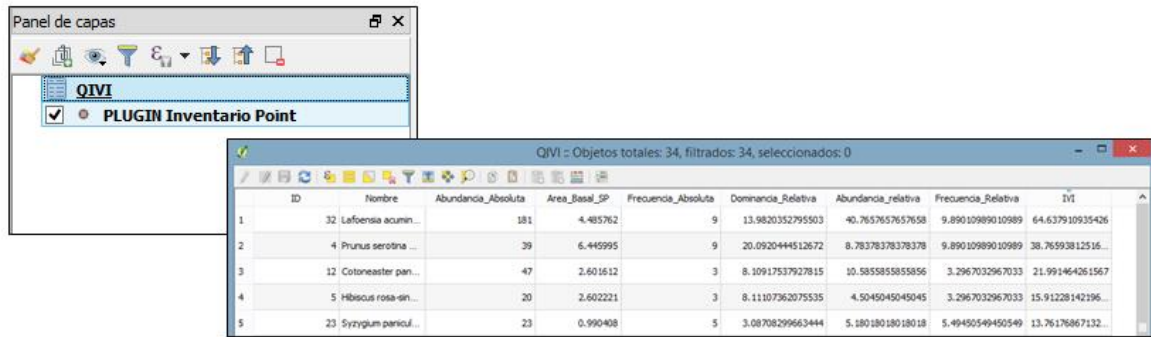


Figura 10. Tabla temporal QIVI

Fuente: Elaboración propia

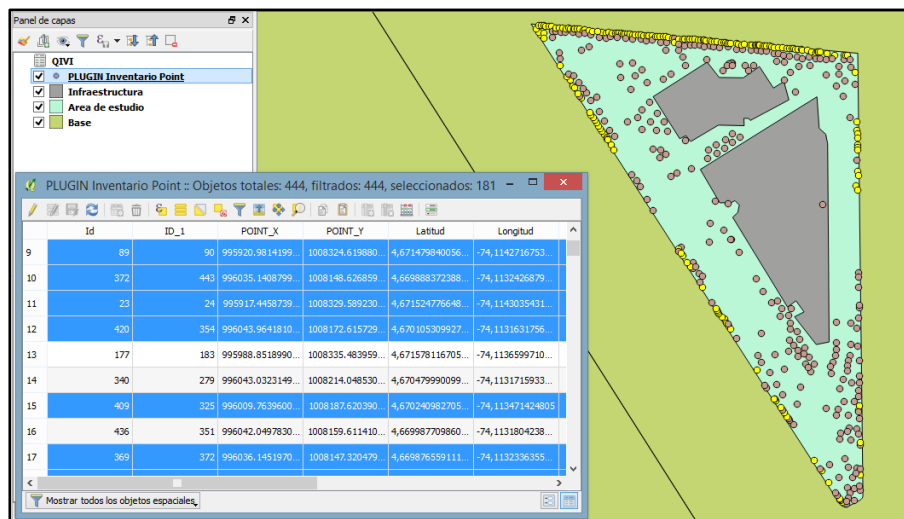


Figura 11. Selección de individuos de la especie con mayor IVI.

Fuente: Elaboración propia

El comportamiento espacial de los datos muestra a simple vista que la especie seleccionada en color amarillo es la más abundante en términos de la totalidad de la población y por lo tanto es la especie más importante ecológicamente hablando además de ser una especie nativa con grandes potencialidades ambientales para este caso, no obstante, no es la especie más dominante si se analiza el reporte de cálculo en la tabla IVI, se indica entonces, que la especie más dominante corresponde a *Prunus serotina* ya que sus valores de área

basal representan mayor significancia por ser una especie de mayor desarrollo biológico. Las especies más y menos frecuentes también se pueden apreciar en el reporte de cálculo de la tabla generada. De acuerdo a lo anterior, la observación espacial de estas variables y del índice permite inferir sobre la agregación de las especies y su comportamiento espacial dado por condiciones meteorológicas, interferencia antrópica o comportamientos de competencia ecológica permitiendo así, la toma de decisiones detallada sobre el análisis estructural de la vegetación.

8.5. Usabilidad

La usabilidad de QIVI se evalúa mediante el método evaluación heurística en donde un grupo pequeño de usuarios (principalmente profesionales en ciencias forestales) hacen un examen de la interfaz y dan juicio u opinión sobre el cumplimiento de las capacidades que tiene el complemento de ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo. Se toma como referente de evaluación la norma ISO/EC 25010 que define métricas de calidad asociadas a características de producto como las que se enuncian a continuación:

Tabla 1. Tabla criterios de usabilidad

<i>Métrica de Evaluación</i>		<i>Calificación</i>				
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
		<i>1 = El criterio no se cumple</i> <i>5 = El criterio se cumple completamente</i>				
	<i>Criterio</i>					
<i>Facilidad de aprendizaje</i>	Facilidad para comprender que datos cargar y que campos seleccionar.				X	
	Facilidad para entender los cambios de operaciones al hacer el cálculo del IVI.					X
	Los términos y ayudas de interpretación involucrados en la herramienta hacen más comprensible el cálculo.					X
<i>Operabilidad</i>	El complemento es operable con facilidad					X
	Es fácil recordar como seleccionar una capa activa, seleccionar un campo y calcular el IVI.					X
	Es necesario recurrir a información adicional y ayuda para hacer uso de la herramienta				X	
<i>Accesibilidad</i>	El complemento está diseñado para necesitar instrucciones y secciones de ayuda.			X		
	Hay herramientas de ayuda en una zona visible					X
<i>Estética de la interfaz</i>	La apariencia de la imagen es atractiva y agradable					X
	Los títulos son distintivos e intuitivos					X
	Se aprecian ventanas emergentes que muestran errores y orientación sobre alguna operación			X		
<i>Inteligibilidad</i>	Los tipos y tamaños de letra son legibles y distinguibles					X
	El lenguaje está más cercano al utilizado por el usuario que al informático o técnico					X
<i>Protección contra errores de usuario</i>	Muestra información que previene al usuario de cometer errores					X
<i>Promedio General</i>		4.22				

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de usabilidad considera seis criterios ajustados a las necesidades de usuario involucradas en el uso del complemento en donde se evalúa el cumplimiento de los mismos en una escala de 1 a 5, siendo 5 la calificación que indica que el criterio se cumple completamente y 1 el no cumplimiento del criterio. Finalmente, se hace un promedio de calificaciones por métricas como se muestra a continuación.

Tabla 2. Tabla calificación promedio de usabilidad.

<i>Métricas</i>	<i>Promedio de Evaluación</i>
<i>Facilidad de aprendizaje</i>	4.7
<i>Operabilidad</i>	4.7
<i>Accesibilidad</i>	4.0
<i>Estética de la interfaz</i>	4.3
<i>Inteligibilidad</i>	5
<i>Protección contra errores de usuario</i>	5

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la evaluación determinan que las calificaciones son altas ya que se distribuyen de 4 a 5 representando un cumplimiento favorable en la mayoría de criterios y en resumen es un complemento que muestra mayor inteligibilidad, protección contra errores, facilidad de aprendizaje y operabilidad.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología propuesta dio cumplimiento a los objetivos planteados, así como también el levantamiento adecuado de requerimientos clarificó el diseño arquitectónico dando lugar a la implementación idónea y ágil de la funcionalidad que busca cumplir las necesidades del usuario.

Con los resultados obtenidos en la implementación del complemento, al obtener un reporte de cálculo correcto en comparación con la serie de cálculos no automatizados se brinda la certeza de que la herramienta optimiza significativamente el procesamiento de datos en términos de eficiencia además de eliminar errores de usuario.

La representación espacial mediante la selección brinda una herramienta más de análisis con un enfoque geográfico y espacial que no se ha implementado constantemente a pesar de que a nivel ecológico la estructura horizontal de las especies es un factor clave para analizar el comportamiento y distribución de individuos y en consecuencia tomar decisiones acertadas.

En términos generales el complemento cumple favorablemente con criterios de usabilidad asociados a la comprensión y empleo de la herramienta, a la atractividad de la interfaz de usuario y la capacidad de proteger a los usuarios de cometer errores.

Se recomienda escalar la implementación incluyendo distintos tipos de índices de riqueza y diversidad que brindan un valor agregado en el análisis de los datos.

10. REFERENCIAS

- **Braun Blanquet, J. 1974.** Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. H. Blume Ediciones. Madrid. 820 P.
- **Bourgeron, P. 1983.** Tropical aspects of vegetation. In: Golly. F. B. (Rain Forest Ecosystem, Structure and function. Elsevier, Amsterdam.
- **De Las Salas, G. & Melo, O. 2000.** Estructura, biodiversidad y dinámica sucesional en los ecosistemas húmedos tropicales del pacifico colombiano. En: Seminario Internacional De Ecología. El funcionamiento de los ecosistemas tropicales. Fundación Universitaria Manuela Beltrán. Santa fe de Bogotá.
- **Krebs, J. 1989.** Ecology Methodology. Harper & Row, Publishers, New York.
- **Lamprecht, H. 1990.** Silvicultura en los Trópicos. GTZ. República Federal Alemana.
- **Melo, O. 2000.** Evaluación ecológica y silvicultural de los fragmentos de vegetación secundaria, ubicados en áreas de bosque seco tropical en el norte del departamento del Tolima. Universidad del Tolima. Facultad de Ing. Forestal. Ibagué.
- **Zoonneveld, I. 1986.** Lectures on Land Ecology. Lecture notes N-1. Rural Surveys. ITC. Enschede.

- **Zoonneveld, I. 1987.** The Land unit concept. (Mimeo). ITC, Enschede.