

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería en Construcción

Inclusión de la “Metodología Multicriterio” en el campo de la valoración de bienes  
inmuebles

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Álvaro Murillo Navarro

Cartago, Febrero 2010.

# **Inclusión de la “Metodología Multicriterio” en el Campo de la Valoración de Bienes Inmuebles**



# Abstract

The subject is the valuation of the land, by using the Multicriterio Method, which are a series of mathematics and statistics procedures that reduces the expert subjectivity and help him to have a bigger view for obtain the right price for the ground. The main objective is research what this is and how can be used by the Diquís Hydroelectric Project (PHED), also establish by examples an easy and practical guide for develop the Multicriterio Method.

The bibliographical research and the interviews with ICE and others companies' experts can define the start and elaborate a process to put in practice the new way of valuation.

Two real examples of proprieties are used for applicants the Multicriterio Method. As conclusions based on the Results and Theoretic Resume this methodology is perfectly adapted to national reality and the purposes of the PHED, which is trying to find the better way of buy all the proprieties affected, also all this process are flexible and no requires a high development software.

Keywords: Multicriterio, Valoración, peritajes y avalúo.

# Resumen

El tema a tratar consiste en la valoración de terrenos mediante el uso de los "Métodos Multicriterio"; estos abarcan una serie de procedimientos matemáticos y estadísticos que reducen la subjetividad del perito y ayudan a lograr un panorama más amplio para obtener el justiprecio del inmueble. Su objetivo principal es investigar en qué consiste esta metodología y cómo puede adaptarse a los intereses del Proyecto Hidroeléctrico El Diquís (PHED). Además, establecer, por medio de ejemplos reales, una guía práctica y ágil para desarrollar los diversos procesos que componen la Metodología Multicriterio.

Por medio de la investigación bibliográfica, así como la entrevista a peritos expertos en el tema (funcionarios del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)) y de otras instituciones, se puede definir un punto de partida y elaborar un procedimiento adecuado para poner en práctica esta nueva forma de valoración.

Como análisis y prueba se utilizan dos casos reales de propiedades afectadas por el PHED; en los que se aplican varios tipos de Análisis Multicriterio para dar como resultado final el valor del terreno.

Con base en el análisis de resultados y marco teórico, estas metodologías se adaptan perfectamente a la realidad nacional y a los propósitos del PHED. Este último procura una forma objetiva de valorar las propiedades del embalse y obras anexas, con el fin de eliminar la subjetividad del perito, además de la flexibilidad para utilizar estos métodos que no requieren un programa computacional avanzado para su desarrollo.

Palabras claves: Multicriterio, valoración, peritajes, avalúo.

# **Inclusión de la “Metodología Multicriterio” en el Campo de la Valoración de Bienes Inmuebles**

ÁLVARO MURILLO NAVARRO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2009

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

<b>Prefacio .....</b>	<b>1</b>
<b>Resumen ejecutivo .....</b>	<b>2</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>6</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>15</b>
<b>Resultados y Análisis .....</b>	<b>17</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>38</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>39</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>40</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>41</b>

# Prefacio

Con la construcción del Proyecto Hidroeléctrico el Diquís (PHED), el país cuenta con el proyecto constructivo más grande de Centroamérica en el ámbito de la energía hidroeléctrica. Este logro ha originado que se innove cada una de las partes que componen la construcción de una represa, tanto desde el punto de vista ingenieril como administrativo y logístico. Por ello, uno de los primeros pasos para el correcto desempeño del proyecto es la adquisición de todas las propiedades afectadas por el embalse y la represa, así como la casa de máquinas, túneles principales y las que se utilizan para obras anexas (campamentos, depósitos de materiales, etc.).

Dada la cantidad de terreno (6000 ha, aproximadamente) y el tamaño de la zona de afectación (incluye tres cantones: Pérez Zeledón, Buenos Aires y Osa) el proceso de adquisición de derechos y propiedades debe ser lo más ágil y eficiente posible. Una de las consignas del ICE es evitar la expropiación vía judicial, debido a los tiempos de respuesta del Poder Judicial para resolver los casos, los cuales atrasarían la construcción del proyecto.

El proceso de avalúos actualmente incorpora una metodología innovadora en el ámbito de valoración de bienes llamada Análisis Multicriterio; esta viene a revolucionar el campo de valoración, es más ágil y rápida, y minimiza el grado de subjetividad del perito lo que proporciona una mayor imparcialidad para calcular el valor del bien, justificándolo desde el punto de vista matemático y estadístico.

El PHED cuenta con, unas 3000 propiedades por adquirir en los próximos 4 años; el hecho de cambiar la metodología tradicional y agregar una nueva opción a la valoración hace del PHED un proyecto sin precedentes en el país.

El objetivo general es conocer cómo trabaja esta Metodología y su aplicación para el bien del PHED y del país.

Expreso mi profunda gratitud a todo el personal de PHED, en especial al Proceso de Avalúos y su coordinador técnico, Ing. Juan Daniel Anchía R., por su colaboración y ayuda a la realización de este trabajo. Asimismo a mi profesor, Ing. Milton Sandoval, por su apoyo incondicional.

# Resumen ejecutivo

La valoración de bienes inmuebles ha sido siempre un tema controversial en el país. La subjetividad del perito, la inexperiencia, la mala praxis de algunos profesionales o el desinterés de la comunidad en general ha ocasionado desconfianza en cuanto a los resultados de esta actividad de la ingeniería. Sin embargo, el ICE, creó, hace más de 30 años, un departamento que se encarga de valorar terrenos y otros bienes con un monto justo tanto para el propietario como para la institución, por medio de profesionales enterados de las últimas tendencias en la tasación de bienes.

Este fue uno de los primeros pasos en la formación de profesionales con criterio valuator. En la actualidad existe el Instituto Costarricense de la Valoración (ICOVAL), miembro de la Unión Panamericana de Asociaciones de Valuación (UPAV), órgano encargado de velar por el correcto desempeño de los peritos valuadores del país.

En la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica no se cuenta con un curso completo dedicado a este tema. Por el motivo señalado, este trabajo está dedicado a abrir una brecha, sentar un precedente, y así ocupar un lugar primordial dentro de la educación de los futuros profesionales.

El Proyecto Hidroeléctrico El Diquís es la mayor obra de ingeniería en el país y Centroamérica; cuenta con un embalse de, aproximadamente, 6000 ha y un túnel de desvío de casi 11 km de longitud. La cantidad de propiedades que el ICE debe adquirir ronda las 3000, lo cual convierte al proyecto en un reto trascendental para la institución, por lo cual, como pioneros en la valoración, se introduce los Métodos Multicriterio.

Estos procesos consisten en ponderar las variables que identifican al bien y lo comparan con inmuebles con características similares.

Los objetivos de este trabajo fueron:

General:

- Investigar en qué se basa esta metodología y cómo puede adaptarse a los intereses del Proyecto Hidroeléctrico El Diquís.

Específicos:

- Aplicar la metodología Multicriterio en casos reales en el Proyecto Hidroeléctrico El Diquís.
- Desarrollar una técnica ágil para aplicar el Análisis Multicriterio.
- Eliminar la subjetividad del perito para valorar bienes inmuebles.

La metodología para la elaboración de este trabajo fue la investigación bibliográfica y de campo por medio de entrevistas a peritos expertos en el tema.

La legislación costarricense no especifica la forma en que se debe valorar, solo se pueden encontrar ciertas guías, reglamentos o manuales elaborados por el propio ICE, el Ministerio de Hacienda o alguna otra institución estatal que dejan muchos vacíos en la decisión de la valoración. Dichos manuales, publicados en el diario *La Gaceta* son de carácter obligatorio para el ICE y las instituciones que los publican pero no para el resto de los profesionales del país, por lo cual existe tanta diversidad de criterios en la tasación.

En el presente trabajo se tomaron en cuenta cinco de los principales Métodos Multicriterio existentes: valor por variable (Método del Ratio de Valuación), la Entropía, Diakoulaki, Ordenación Simple y Proceso Analítico Jerárquico (AHP), todos basados en un estudio de mercado y en la definición de variables. Estas últimas se clasifican en directas, inversas, cualitativas y cuantitativas, las cuales se normalizan para poder realizar las comparaciones y ponderaciones necesarias, con aplicación de las fórmulas indicadas en el Marco Teórico.

Con dos casos reales de fincas involucradas en el embalse y la Casa de Máquinas, una ubicada en Paso Real de Buenos Aires y otra en Palmar Norte de Osa, se procedió a aplicar varios métodos Multicriterio y se realizaron los análisis correspondientes.

Se comienza explicando los conceptos básicos de valoración, así como los principales procesos usados en el país. Luego se establecen los procedimientos explicativos de los Métodos del Ratio de Valuación, Critic, Entropía y Ordenación Simple; para finalizar con el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Para explicar el AHP, se usa la metodología desarrollada por medio de matrices pareadas, con el uso de la Tabla de Comparación por Pares del Profesor Saaty y ponderando las variables de cada comparable en matrices.

Una vez desarrolladas todas las matrices, se ponderan y se comparan para obtener un vector propio final que, multiplicado por el Ratio Medio y Baricéntrico, proporciona dos posibles valores por ha de la finca. Luego se calcula la Distancia Manhattan de cada Ratio y la distancia menor dictará cual ratio usarse para obtener el valor definitivo para el inmueble.

Con esta información se puede concluir y recomendar lo siguiente:

- Al aplicar los Métodos Multicriterio se elimina en un alto porcentaje la subjetividad del perito; así se logra una mejor valoración.
- Esta Metodología se adapta a la realidad nacional, como se demuestra con casos reales.
- Buscar más información acerca de cómo poder desarrollar estas y otras técnicas en el ámbito nacional, puesto que lo que se presenta en este informe es una pequeña parte de la gran variedad de Metodologías Multicriterio que solo es aplicada por el Instituto Costarricense de Electricidad.
- Comenzar una campaña de cambio hacia el Multicriterio y dejar de lado las metodologías tradicionales que no son tan rigurosas para obtener valores más exactos y menos subjetivos.



# Introducción

En el presente informe se aborda el tema de la valoración de bienes inmuebles. El Instituto Costarricense de Electricidad ha sido siempre una empresa innovadora que asume la delantera en procesos tecnológicos y científicos para beneficio del pueblo costarricense.

En el caso de la valuación, el ICE se ha encargado de renovar y emplear metodologías tradicionales y no tradicionales para sus proyectos; sin embargo la valoración en Costa Rica no ha sido explotada completamente como en países suramericanos y europeos, donde se cuenta con toda una legislación especializada en el tema.

Como un esfuerzo del ICE, en los últimos años esta entidad se ha encargado de implementar e investigar cuáles otros métodos valorativos se puedan aplicar a la realidad nacional; ello se debe principalmente a los casos presentados en los proyectos hidroeléctricos del país, donde, por causas de malas praxis en la valoración, se generan atrasos en la construcción que, al fin de cuentas, se traducen en tiempo y dinero para los costarricenses. En casos como Reventazón y Pirrís, Angostura y Cariblanco, han surgido considerables atrasos para el desarrollo del proyecto, atrasos que podrían evitarse si se adquirieran las propiedades más significativas en forma administrativa y sin mencionar las palabras “expropiación judicial”.

Así nace la necesidad de implementar una técnica objetiva para el perito, ágil y fácil de explicar como el Análisis Multicriterio. En países europeos se utiliza este método en el 90% de las decisiones de las grandes empresas y del Estado para solventar las necesidades de cualquier ámbito, y la valoración no es la excepción.

En la actualidad, el Proceso de Avalúos de PHED está comenzando a conocer y a aplicar esta metodología, la cual por medio de la matemática y la estadística obtiene matrices de ponderaciones que dan el peso final de la decisión y así se obtiene el monto final del

inmueble, el cual estará dado por la combinación de los pesos de las variables más determinantes del bien en estudio y su relación con el entorno.

De esta forma este informe cuenta con los siguientes objetivos:

## Objetivo general

- Investigar en qué se basa la Metodología Multicriterio y cómo puede adaptarse a la valoración de bienes inmuebles del Proyecto Hidroeléctrico El Diquís.

## Objetivos específicos

- Aplicar la metodología Multicriterio en casos reales en el Proyecto Hidroeléctrico El Diquís.
- Desarrollar una técnica ágil para aplicar el Análisis Multicriterio.
- Eliminar la subjetividad del perito aplicando los Métodos Multicriterio.

En la actualidad no existen en Costa Rica estudios sobre esta metodología; sin embargo como se mencionó anteriormente, en otros países, como Colombia, Venezuela, México y España se cuenta con una legislación total para este tipo de casos de valoración.

Con este informe se pretende abrir una brecha para que otros costarricenses amplíen y profundicen acerca del tema de la valoración específicamente en técnicas no tradicionales.

Sin embargo, las limitaciones estuvieron presentes a lo largo del proceso de investigación y análisis de este informe. Debido a la gran variedad de métodos y procesos es casi imposible ahondar en todos de la misma forma, según las conversaciones con los expertos, los expuestos en este informe son los más representativos.

Otra limitación presente se dio debido a que las entrevistas a los expertos no fueron de forma formal sino más bien en charlas y conversaciones donde por medio de la discusión surgieron las variables a tomar en cuenta para el marco teórico,

por lo tanto no existe un registro estadístico de las mismas.

Por último, la cantidad de casos tomados es debido a que fueron escogidos al azar y por lo tanto no se profundiza en más propiedades pues para el resto de los casos se repite el proceso, variando las características propias del inmueble, adaptándolo a los procedimientos mostrados.

# Marco teórico

## Valoración y valor

La valoración es tan antigua como la historia misma, las principales civilizaciones antiguas han tenido la necesidad de valorar las tierras que poseen con diversos fines sociales, políticos y religiosos. Sin embargo a pesar de que han pasado miles de años en muchos casos aún no se logra establecer con claridad conceptos básicos como valoración, valor, avalúo, entre otras definiciones.

Existen tantos axiomas como estudiosos de la materia, sin embargo según las Normas Internacionales de Valoración 2005 catalogan el concepto de valoración como: *“...proceso de estimación de valor...”* y el significado de valor como: *“...el que representa el precio más probable que compradores y vendedores establecerán para un bien o servicio que está disponible para su compra. El valor establece un precio hipotético o teórico, que será el que con mayor probabilidad establecerán los compradores y vendedores para el bien o servicio. De modo que el valor no es un hecho, sino una estimación del precio más probable que se pagará por un bien o servicio disponible para su compra en un momento determinado...”*

A la vez Aznar y Guijarro proponen la definición de valuación: *“...es la ciencia aplicada que tiene como objetivo la determinación del valor de un bien, a una fecha dada, teniendo en cuenta, las características o variables explicativas que lo caracterizan, el entorno social y económico en que se encuentra, mediante la utilización de un método contrastado de cálculo que permita al tasador profesional la incorporación de los componentes objetivos y subjetivos del valor...”*

Una vez teniendo claro estos conceptos se puede adentrar en la definición de avalúo, el cual según los autores citados anteriormente: *“...es un dictamen técnico en el que se indica el valor de un bien a partir de sus características físicas, su ubicación, su uso y de una investigación y análisis de mercado...”*, *“...es una opinión imparcial del*

*valor de un bien, determinando la medida de su poder en cambio en unidades monetarias y a una fecha determinada...”*

Así mismo existen diferentes tipos de valor entre ellos el valor de mercado, valor neto de reposición (VNR), valor de reposición nuevo (VRN), valor residual entre otros.

El valor de mercado es el precio más alto probable calculado en términos de dinero que una propiedad debe tener si está puesta en venta en el mercado abierto por periodo razonable, sabiendo tanto el comprador como el vendedor las condiciones del mercado actuales, no estando ninguno bajo algún estímulo indebido y con el financiamiento típico del mercado para este tipo de propiedad. (González Mora, 1996)

El valor neto de reposición (VNR) es el valor actual de un bien, considerando su depreciación por antigüedad, estado de conservación funcional, calidad y grado de obsolescencia (Manual para hacer avalúos del ICE, La Gaceta, 28 de octubre del 2005).

El valor de reposición nuevo (VRN) es el valor de un bien igual o equivalente al existente, más los costos indirectos en que se incurre (ingeniería, permisos, tasa, seguros, etc.) (Manual para hacer avalúos del ICE, La Gaceta, 28 de octubre del 2005).

Valor residual equivale al restar del valor de un inmueble el costo de las mejoras, el residuo equivale al valor del terreno.

Con todos estos conceptos se puede partir de una idea clara de lo que un perito busca: el valor justo del bien.

# Métodos de Valoración

Existen varios métodos de valoración, algunos son muy convencionales y otros no tanto, que son usados según las necesidades de cada caso. Algunas de las técnicas de valoración son:

- 1) Valuación por comparación de mercado.
  - a) Método por corrección.
  - b) Por corrección múltiple (homologación).
- 2) Actualización de renta.
- 3) Por costos.
- 4) Método de valor residual
- 5) Los métodos Multicriterio.

Los métodos de comparación de mercado son los que determinan el valor de un bien comparándolo con otros bienes similares de los cuales si se conoce su precio por haber sido objeto de una transacción reciente.

Los métodos por corrección se basan en la comparación de un bien con otro similar con características que van aumentando o disminuyendo el valor del bien, según factores de comparación establecidos por la propia experiencia del perito.

El método por corrección múltiple u homologación consiste en la corrección del valor del bien, basado en varios comparables, siendo el valor final la media aritmética de los precios corregidos.

Algunos de los factores usados en ambos procesos son factor de superficie, edad, topografía, ubicación, suelo, usos, etc.; todos establecidos en una escala de 0 a 1 y como se dijo anteriormente establecidos por la experiencia del perito, aunque ya se tienen varias fórmulas matemáticas aceptadas en la mayoría de los casos para su cálculo final, sin embargo predomina la experiencia del perito.

La actualización de rentas es un enfoque comparativo del valor basado en información de los ingresos y gastos del bien objeto de valuación y por el que se estima el valor a través de un proceso de capitalización. Otra definición aceptada es la suma del valor actual de los flujos de caja futuros que el bien pueda generar para su propietario (Aznar y González, 2009).

El método por costo es muy aplicado en la valoración de edificaciones, por medio de este proceso se calcula el valor neto de reposición y el valor de reposición nuevo.

Por último, el método del valor residual utilizado para la valoración de suelo urbano, dado

por su calificación urbanística (mayor y mejor uso) y la edificabilidad. Este método se divide en dos sub procesos: el modelo estático y dinámico.

# Clasificación de los Métodos Multicriterio

A través de los años se han desarrollado tantos métodos de valoración como peritos existen; por esa razón se han perfeccionado varias clasificaciones estandarizadas en Europa y algunos países latinoamericanos para homogeneizar y ubicar dentro de un marco teórico los procesos de valoración.

Los Métodos Multicriterio se sitúan dentro de los Métodos No Económicos; ya que no dependen de un valor de bien, sino de otras características que identifican al bien mismo; por lo tanto se denominan también Métodos Cualitativos, según Aznar, Guijarro y Moreno (2007).

La Decisión Multicriterio nace a mediados del siglo XX como un instrumento para la toma de decisiones y es analizada por economistas del orbe, por lo que se convierte en una herramienta aplicable a cualquier ámbito.

En palabras de Moreno (1993), "...se entienda por Decisión Multicriterio el conjunto de aproximaciones, métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a mejorar la calidad integral de los procesos de decisión seguidos por los individuos y sistemas, esto es, a mejorar la efectividad, eficacia y eficiencia de los procesos de decisión y a incrementar el conocimiento de los mismos (valor añadido del conocimiento)".

En ese orden comienza una serie de análisis y estudios que llevan a definir lo que es el Análisis Multicriterio, ante lo cual, por medio de ponderaciones y pesos para las variables del inmueble, se obtiene el valor final del bien.

# Clasificación de las variables

Para desarrollar el Análisis Multicriterio es necesario conocer ciertos conceptos útiles para poder comprender algunos aspectos en este informe; por ejemplo: la clasificación de las

variables, la normalización y la distancia Manhattan.

## Variables explicativas

La valoración depende de las características propias de los inmuebles, es decir, el monto final es una combinación dependiente de las variables de cada bien y su relación con el entorno. Las variables explicativas describen ese bien, por ejemplo: una finca con vista al océano obtendrá un monto mayor que una que no tenga belleza escénica; así también la topografía, el área, el acceso a servicios públicos, el frente a vías principales son variables que describen y caracterizan al inmueble en estudio.

Estas variables explicativas se dividen en dos grupos determinantes: **directas e inversas**. Las variables directas son las proporcionales al valor del bien, es decir, a medida que la variable aumenta, así aumenta el valor del inmueble; por ejemplo: la calidad del suelo, el número de habitaciones, la cercanía a los centros de población, etc.

Las variables inversas son aquellas en las que, mientras el peso decrece, el valor aumenta: por ejemplo la posibilidad de inundación o derrumbe, el área, etc.

## Transformación de variables

La transformación consiste en convertir las variables inversas a directas, con el fin de homogeneizar las variables y aplicar los pasos siguientes.

Para este procedimiento se utilizan dos métodos: la transformación por la inversa y la transformación por una constante (en este informe solo utilizaremos la transformación por la inversa, debido a la facilidad de la técnica y porque su resultado es más exacto).

La transformación por la inversa consiste en dividir uno entre el monto de la variable, es decir sustituir la variable por su inversa ( $x_i$  por  $1/x_i$ ). Este procedimiento es muy conveniente pues mantiene la proporcionalidad de la variable; el único inconveniente es que no puede utilizarse cuando el monto de la variable es cero (0).

## Variables cualitativas y cuantitativas

Las variables cualitativas se especifican de forma tal que no puede darse un valor, a menos que el perito defina una escala previa de comparación; por ejemplo: la belleza escénica, el entorno urbanístico, etc. Las variables cuantitativas se expresan en números y cantidades, por ejemplo: el área, el número de habitaciones, la altura, etc.

## Normalización de variables

La normalización consiste en homogeneizar las unidades entre variables, con el fin de convertirlas en adimensionales y poder compararlas unas con otras. Así se mantiene la proporcionalidad para poder asignarles una ponderación que permita discernir cuál es más determinante.

Los valores de las variables, una vez normalizadas, se estipulará en un rango de cero a uno [0,1]; con ello podemos fácilmente comparar las variables sin preocuparnos de las unidades en que se encuentren, sean m, ha, o m<sup>3</sup>. Existen diversas técnicas de normalización; a continuación se indican dos de las más utilizadas:

### Normalización por Suma

Consiste en dividir el valor de la variable entre la sumatoria de los valores de toda las variables.

$$(1) \quad x_{1j} \text{NORMALIZADO} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

Este método conserva la proporcionalidad de las variables y quedan todas dentro del rango [0,1].

### Normalización por el Ideal

Esta técnica consiste en dividir el valor de una variable por el valor más alto de todas, llamado Ideal; también conserva la proporcionalidad de las variables.

$$(2) \quad x_{1j} \text{NORMALIZADO} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}}$$

## Distancia Manhattan

Esta característica es fundamental pues determina cuál rango de ponderaciones es más determinante y, al final, decide el peso a tomar en cuenta en la terminación del valor final.

Es un proceso estadístico que se obtiene por medio del Axioma de Zeleny (1973) y Minkowsky en el siglo XIX, el cual dice que, dadas dos posibles soluciones, la elegida será la que se encuentre más cerca del valor ideal. Esta distancia se denomina distancia Manhattan.

$$(3) \quad L_p = \left[ \sum_{j=1}^n |x_j^1 - x_j^2|^p \right]^{1/p}$$

Para la distancia Manhattan el valor de p es igual a 1. En los casos a desarrollar la distancia Manhattan es la sumatoria de las diferencias en valor absoluto de los valores de los comparables menos los ratios correspondientes.

## Ratio Baricéntrico y Ratio Medio

El ratio Baricéntrico y el ratio Medio son dos promedios utilizados para obtener el monto final del inmueble a utilizar. Ambos son una media que permite obtener una correlación entre los precios y los pesos o ponderaciones de las variables utilizadas en el análisis.

El ratio Baricéntrico se obtiene de dividir la sumatoria de los valores de las parcelas comparables (resultado del Estudio de Mercado) entre la sumatoria de la matriz columna obtenida en el paso anterior. Dicho ratio se multiplica por el peso de la parcela a valorar que se obtiene de la matriz columna del paso anterior y como resultado se alcanza el monto final buscado.

El ratio Medio es el promedio de los resultados derivados de dividir los valores de las parcelas comparables entre cada uno de los valores de la Matriz Columna. El valor final del inmueble a valorar es la multiplicación del ratio medio por el peso del inmueble a valorar de la Matriz Columna.

Una vez obtenidos los dos ratios y los montos finales, se calcula la distancia Manhattan, y el Ratio que obtenga la distancia menor será el valor final buscado.

## Metodologías Multicriterio

Este apartado se adentra a analizar cuatro metodologías para la ponderación de variables y llegar al Proceso Analítico Jerárquico, el más utilizado para la toma de decisiones.

### Método de Ratio por Variable

Una vez definidas las variables y los montos unitarios de los comparables, se procede a normalizarlas y a sacar un Ratio Baricéntrico para cada variable.

**Cuadro 1. Información general.**

	Precio(€/m <sup>2</sup> )	Área(m <sup>2</sup> )	Frente(m)
Lote 1	5000,00	275,00	20,00
Lote 2	7500,00	125,00	10,00
Lote 3	3500,00	300,00	15,00
Lote X		350,00	17,50

Fuente Autor

Basados en el cuadro 1, se requiere saber el valor por metro cuadrado del lote X, la variable "área" está catalogada como inversa basados en el principio de que a menor área mayor en el valor del inmueble y viceversa, lo tanto se debe transformar a directa, utilizando la transformación de variables por la inversa.

**Cuadro 2. Transformación de variables inversas a directas.**

	Precio(€/m <sup>2</sup> )	Área(m <sup>2</sup> )	Frente(m)
Lote 1	5.000,00	0,0036	20,00
Lote 2	7.500,00	0,0080	10,00
Lote 3	3.500,00	0,0033	15,00
Lote X		0,0028	17,50
<b>Sumatoria</b>		<b>0,0177</b>	<b>62,50</b>

Fuente Autor

Una vez transformadas las variables se procede a normalizarlas por la suma, aplicando la ecuación 1, esto con el fin de poder eliminar las dimensiones de las variables.

<b>Cuadro 3. Variables normalizadas.</b>			
	<b>Precio(€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área</b>	<b>Frente</b>
Lote 1	5.000,00	0,2034	0,3200
Lote 2	7.500,00	0,4520	0,1600
Lote 3	3.500,00	0,1864	0,2400
Lote X		0,1582	0,2800
<b>Sumatoria</b>		<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>

Fuente Autor

Luego de aplicar la normalización se procede a obtener el Ratio Baricéntrico para cada variable; una forma sencilla de obtenerlo es mediante la siguiente fórmula:

Ratio Baricéntrico =  $[(\sum \text{valores unitarios de las referencias}) / (\sum \text{pesos de cada variable})]$ .

Variable área:

$$Ratio_a = (5000 + 7500 + 3500) / (0,2034 + 0,4520 + 0,1864) = 19.006,89$$

Variable frente:

$$Ratio_f = (5000 + 7500 + 3500) / (0,32 + 0,16 + 0,24) = 22.222,22$$

Inmediatamente, cada ratio se multiplica por el peso de la variable del lote X para obtener el valor del bien debido a cada variable.

Variable área:

$$Valor \ lote \ X = 19.006,89 \times 0,1582 = \mathbf{€3.006,89/m^2}$$

Variable frente:

$$Valor \ lote \ X = 22.222,22 \times 0,2800 = \mathbf{€6.222,22/m^2}$$

Esta es una metodología sencilla para obtener el valor de un inmueble, sin embargo uno de los problemas de este método consiste en decidir cuál es el valor final del inmueble. El perito se ve en la necesidad de deducir, ya sea por medio de un promedio o por subjetividad, pero para evitar este tipo de decisiones se calcula la Distancia Manhattan.

<b>Cuadro 4. Distancia Manhattan.</b>					
	<b>Precio (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Valor con Ratio<sub>a</sub></b>	<b>Distancia Manhattan</b>	<b>Valor con Ratio<sub>f</sub></b>	<b>Distancia Manhattan</b>
Lote 1	5.000,00	3.866,00	1.134,00	7.111,11	2.111,11
Lote 2	7.500,00	8.591,11	1.091,11	3.555,55	3.944,45
Lote 3	3.500,00	3.542,88	42,88	5.333,33	1.833,33
<b>Sumatoria</b>			<b>2.267,99</b>		<b>7.888,89</b>

Fuente Autor

Debido a que la distancia Manhattan menor es la obtenida por el ratio Baricéntrico de la variable "área", el monto a elegir para el lote X es de **€3.006,89/m<sup>2</sup>**.

## Método CRITIC (Diakoulaki, Mavrotas, Papayannakis).

El Método CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) fue desarrollado por los autores citados en 1992, pensando en dos bases importantes para la estadística: la desviación estándar y el coeficiente de correlación. Según sus autores el peso de un criterio es tanto mayor cuanto mayor sea su varianza (mayor desviación típica) y cuanto mayor información diferente a la de los otros criterios aporte (menor coeficiente de correlación entre columnas).

Se aplica la siguiente ecuación:

$$(4) \quad w_j = s_j * \sum (1 - r_{jk})$$

Donde  $w_j$  es la ponderación de la variable  $j$   
 $s_j$  es la desviación de la variable  $j$   
 $r_{jk}$  es el Coeficiente de Correlación entre las variables.

La Desviación estándar se obtiene de la siguiente ecuación conocida:

$$(5) \quad s_j = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n}}$$

Se aplicará el mismo ejemplo del caso anterior para explicar con más detalle este proceso, haciendo referencia al cuadro 3, donde ya se cuenta con las variables normalizadas, se procede a obtener la desviación estándar.

Variable	Desviación estándar
Área	0,1360
Frente	0,0683

Fuente Autor

De igual forma se utiliza la fórmula del Coeficiente de Correlación de Pearson para las variables:

$$(6) \quad r_{jk} = \frac{\text{cov}(j, k)}{s_j * s_k}$$

Variable	Área	Frente
Área	1	-0,8456
Frente		1

Fuente Autor

Ahora se aplica la ecuación 4 para obtener el peso de cada variable:

Variable área:

$$W_a = 0,1360 \times [1 - (-0,8456)] = 0,2510$$

Variable frente:

$$W_f = 0,0683 \times [1 - (-0,8456)] = 0,1260$$

Una vez obtenidas estas ponderaciones de cada variable se procede a normalizarlos para obtener el valor final de los pesos de cada variable.

Variables	Pesos	Pesos normalizados
Área	0,2510	0,6658
Frente	0,1260	0,3342
<b>Sumatoria</b>	<b>0,3770</b>	<b>1,0000</b>

Fuente Autor

Estos pesos normalizados se multiplican por los valores obtenidos en el proceso anterior y se hace una sumatoria para encontrar el valor final buscado.

$$\text{Valor lote X} = (3.006,89 \times 0,6658) + (6.222,22 \times 0,3342) = \mathbf{€4.081,45/m^2}$$



## Método de Entropía

Este método fue propuesto por Zeleny (1982) como un método objetivo de cálculo de los pesos. Se basa en la premisa de que una variable tendrá más peso mientras más diversidad haya en las evaluaciones de las alternativas.

Como primer paso se normalizan por la suma las variables  $a_{ij}$ , luego se calcula la Entropía con la siguiente fórmula:

$$(7) \quad E_j = -K \sum_i a_{ij} \log a_{ij}$$

Donde  $K = 1/\log m$   
 $m =$  Número de alternativas.  
 $a =$  variables normalizadas

Nuevamente utilizamos el ejemplo que se desarrolla partiendo del cuadro 1, primeramente se obtiene el valor de  $K$

$K = 1 / \log 4$  (puesto que son 3 comparables más el lote X) = 1,6609

A continuación se procede con el cálculo del log  $a_{ij}$ :

	Precio(€/m <sup>2</sup> )	Área	Frente
Lote 1	5.000,00	-0,6916	-0,4948
Lote 2	7.500,00	-0,3449	-0,7959
Lote 3	3.500,00	-0,7295	-0,6198
Lote X		-0,8007	-0,5528

Fuente Autor

Seguidamente se procede a calcular la entropía de cada una de las variables:

Variable área

$$E_a = -1,6609 \times [(0,2034 \times -0,6916) + (0,4520 \times -0,3449) + (0,1864 \times -0,7295) + (0,1582 \times -0,8007)] = \mathbf{0,9288}$$

Variable frente:

$$E_f = -1,6609 \times [(0,32 \times -0,4948) + (0,16 \times -0,7959) + (0,24 \times -0,6198) + (0,28 \times -0,5528)] = \mathbf{0,9786}$$

La entropía es mayor conforme las  $a_{ij}$  son iguales; luego se busca la Diversidad con la siguiente ecuación:

$$(8) \quad D_j = 1 - E_j$$

Finalmente se normalizan los resultados para obtener los pesos finales

$$(9) \quad w_j = D_j / \sum_j D_j$$

Donde  $w_j$  es el peso de cada variable.

Variable	Entropía	Diversidad	Pesos normalizados
Área	0,9288	0,0712	0,7689
Frente	0,9786	0,0214	0,2311
<b>Sumatoria</b>		<b>0,0926</b>	<b>1,0000</b>

Fuente Autor

Al igual que el caso anterior, los pesos normalizados se multiplican por los valores por variables obtenidos en el primer caso y se suman para obtener el valor final del inmueble.

$$\text{Valor lote X} = (3.006,89 \times 0,7689) + (6.222,22 \times 0,2311) = \mathbf{€3.739,95/m^2}$$

## Método de Ordenación Simple

Este método consiste en clasificar por importancia cada una de las variables y asignarle un peso a cada una. Es el más sencillo de utilizar cuando no se cuenta con la información para aplicar los dos métodos anteriores; cada peso se multiplica por el valor correspondiente y su sumatoria arroja el valor del inmueble.

Los pesos se asignan según la experiencia del perito o por la búsqueda y entrevistas con fuentes externas.

Variable	Orden según expertos	Valor	Pesos normalizados
Área	1	4	0,6667
Frente	2	2	0,3333
<b>Sumatoria</b>		<b>6</b>	<b>1,0000</b>

Fuente Autor

Los pesos se multiplican por los valores del primer proceso y se suman para dar con el resultado final:

$$\text{Valor lote } X = (3.006,89 \times 0,6667) + (6.222,22 \times 0,3333) = \text{€}4.078,56/\text{m}^2.$$

## Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)

Este método fue propuesto por el profesor Thomas L. Saaty (1980) para agilizar la toma de decisiones del Departamento de la Defensa de Estados Unidos de América.

Se define como una metodología muy flexible que puede ser utilizada en diversos campos, desde economía hasta temas de servicios, salud, educación, etc. Por medio de matrices y basados en una tabla de valores, (Escala Fundamental) se pueden obtener los pesos o ponderaciones de los criterios o variables que dan valor al inmueble.

Para utilizar el AHP primero se deben definir las variables explicativas que se van a tomar en cuenta, y cuáles pueden hacer más deseable una alternativa o inmueble sobre otro. Luego se procede a ponderar los criterios o variables explicativas; además de las alternativas en función de cada criterio, este proceso genera dos matrices que, al multiplicarlas, forma una columna que dará los pesos de cada alternativa en función de todos los criterios.

El cerebro humano puede hacer comparaciones entre dos criterios de muy buena forma; sin embargo, cuando compara más de tres características la precisión falla; por esto Saaty confeccionó una Escala Fundamental para formar las matrices pareadas (figura 1).

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho mas importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	
Recíprocos de lo anterior	Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B las notaciones serían las siguientes. Criterio A frente a criterio B 5/1 Criterio B frente a criterio A 1/5	

Figura 1. Tabla de Comparación por Pares (Saaty1980).

En la figura 2 se aprecia la relación entre la Parcela 1 con respecto a la Parcela 2, la cual se lee de la siguiente manera: la parcela 1 es más relevante que la Parcela 2 (3/1); sin embargo, en la misma figura se puede descubrir que la Parcela 4 es un poco más determinante que la Parcela 1 (4/1). De esta forma se desarrolla todo el cuadro hasta completar todas las relaciones.

Con esa tabla se pueden formar las matrices como la que se muestra en la figura 2

	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela x
Parcela 1	1/1	3/1	1/1	1/3	1/1
Parcela 2		1/1	1/3	1/7	1/3
Parcela 3			1/1	1/3	1/1
Parcela 4				1/1	3/1
Parcela x					1/1

Figura 2. Ejemplo de Tabla de Comparación por Pares o Matriz de Comparación Pareada (Aznar 2005)

Las matrices deben cumplir con tres principios básicos

1. Reciprocidad: si  $a_{ij} = x$ ; entonces  $a_{ji} = 1/x$
2. Homogeneidad: si  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ , además  $a_{ii} = 1$  para todo  $i$ .
3. Consistencia: se satisface que  $a_{jk} * a_{kj} = a_{ij}$  para todo  $1 \leq i, j, k \leq n$ .

Para conocer la consistencia de las matrices existe un factor denominado Ratio de Consistencia (RC)

$$(10) \quad RC = \frac{CI}{\text{Consistencia aleatoria}}$$

Donde la consistencia aleatoria se obtiene por la siguiente figura:

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia aleatoria	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Figura 3. Valores de Consistencia aleatoria (Aznar 2005)

El valor del índice de Comparación (CI) está dado por la siguiente ecuación:

$$(11) \quad CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Donde: n = tamaño de la matriz

$$(12) \quad \lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Para obtener los valores de  $d_i$ , se sigue el siguiente proceso:

1. Normalizar los elementos de la matriz, para obtener la matriz  $A_{\text{normalizada}}$
2. Sumar las filas de la matriz  $A_{\text{normalizada}}$  y dicha columna dividirla entre n, para obtener una matriz columna B.

$$(13) \quad B = \left[ \frac{b_1}{n}, \frac{b_2}{n}, \dots, \frac{b_n}{n} \right]^T$$

3. Multiplicar la Matriz original por B para obtener un Vector Fila Total C
4. Luego dividir el Vector Fila C (matriz columna) entre la matriz B y con esto se obtiene el vector columna D
5. Al sumar y promediar los elementos de D se obtiene  $\lambda_{\max}$  según la ecuación (12).

Una vez obtenido el Ratio de Consistencia (CR) se verifica que concuerde con la siguiente figura:

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

Figura 4. Porcentajes máximos de Ratios de consistencia según el tamaño de la matriz (Aznar 2005)

En el caso de no cumplir con dicha norma, se debe revisar la comparación en cada caso.

Una vez obtenido el Ratio de Consistencia se procede a calcular los pesos de cada criterio y de cada variable, tanto de forma criterio versus criterio, variable versus variable y criterio versus variable.

Para obtener esos pesos se multiplica la matriz de comparación pareada por ella misma; luego se suman sus filas y se normalizan, por lo

que se obtiene una matriz columna llamada Vector Propio; este proceso se repite hasta 4 veces, donde la matriz columna obtenida converge y sea igual a la matriz columna del cálculo anterior hasta el 4° decimal.

Luego de obtener todos los Vectores Propios para todos los casos se multiplican y se obtiene una columna matriz final que da el peso final del inmueble a valorar.

# Metodología

La metodología a implementar se basa en la investigación y análisis. Se realizó en el Proyecto Hidroeléctrico El Diquís, en Buenos Aires de Puntarenas.

Esta investigación abarca:

1. Planteamiento del problema.
2. Investigación bibliográfica
3. Entrevista a expertos.
4. Análisis de información

## Planteamiento del problema

El primer paso se dio por la necesidad del PHED para adquirir todas las propiedades en el menor tiempo posible, además no se desean repetir errores del pasado en los procesos expropiatorios de otros proyectos y su relación complicada con los propietarios de las fincas por comprar. La adquisición se necesita realizar de la mejor forma, justificando cada una de las decisiones a tomar, procurando la claridad en todos los procesos.

## Investigación bibliográfica

El paso más importante de la investigación bibliográfica consistió en la búsqueda de fuentes en todo el país, indagando antecedentes y autores que tocaran el tema de Multicriterio desde sus comienzos, además de sus experiencias en varios países latinoamericanos, fue así como se encontraron las legislaciones españolas y colombianas, los libros del Profesor Aznar, las leyes colombianas de valoración y los manuales del ICE, entre otros.

## Entrevistas a expertos

Uno de los pasos fundamentales fue la entrevista a expertos en el tema, el conocer sus vivencias e ideas, sentaron las bases para desarrollar este informe. Los expertos entrevistados que laboran para el ICE son:

- Ing. Juan Daniel Anchía, ingeniero topógrafo, máster en valoración, miembro de ICOVAL.
- Ing. Érica Góngora, ingeniera forestal y miembro del ICOVAL.
- Ing. Patricia Mora, ingeniera civil

Los expertos entrevistados que trabajan en empresas privadas y otras instituciones:

- Fabián Garro, perito de la empresa Inversiones Mata Acuña.

Todos estos expertos fueron entrevistados informalmente, pues no se llevo una estructura de entrevista determinada, sino que por medio de charlas y discusiones con casos reales y cotidianos donde se aplicaban metodologías demostraban su conocimiento y se obtenían los parámetros a seguir en el Marco Teórico, además el fin de las entrevistas no es estadístico sino más bien de cognoscitivo. Se obtuvo contacto con todos ellos por consultas a los compañeros del Proceso de Avalúos del PHED y por compañeros laborales y de estudios.

## Análisis de información

Una vez recopilada toda la información se comienza por analizar y establecer los parámetros de los alcances y limitaciones que tendrá el proyecto.

Luego se procede al establecimiento de los pasos a seguir en cada metodología, abarcando los conceptos básicos para estimular

e informar al lector sobre lo que debe conocer para poder acceder al resto del material.

El saber cuáles cosas desechar y cuáles deben tener más importancia es parte del conocimiento de la materia y de los objetivos, así como los resultados de las entrevistas y la opinión de los expertos pesan en estas decisiones, todo esto con el fin de elaborar el presente informe final.

# Resultados y Análisis

Para este apartado se visualizan dos casos reales en los que se aplica lo reseñado en el Marco Teórico.

Como todo trabajo de investigación en valoración, lo primero que se debe hacer es un estudio de mercado, por medio de referencias reales y avalúos realizados por varias entidades bancarias, así como consultas con los vecinos de la zona, se logra obtener un panorama claro de cómo se mueve el mercado inmobiliario del lugar.

Realizando un recorrido por la zona de afectación se conocen las características primordiales de cada inmueble; así se pueden identificar las variables que se usarán más adelante para los cálculos.

Una vez estudiada y analizada la propiedad de interés, se procede a buscar las comparables (al menos tres propiedades) más adecuadas del estudio de mercado que cuenten con características similares a la propiedad en estudio.

## Caso 1. Método por Ratio de Valuación, CRITIC, Entropía, y Ordenación simple

Como primer caso se procede a valorar una finca ubicada en la zona de Paso Real, poblado del Distrito de Potrero Grande, en Buenos Aires de Puntarenas. En la figura 4 se puede observar la localización de la finca y su relación con las comparables elegidas del Estudio de Mercado correspondiente y se obtienen las características que se muestran en el cuadro 11.

Dichas características señalan la topografía del terreno expresada en porcentaje de pendiente predominante en las fincas, el área de cada una en hectáreas, capacidad de uso del suelo y siniestralidad, la primera se basa en el uso que se le puede dar al inmueble desde el punto de vista agropecuario (ver anexos) y la siniestralidad se fundamenta en el riesgo de inundación (ver anexos).

<b>Cuadro 11. Variables y Referencias para Finca Paso Real</b>					
<b>Comparable</b>	<b>Valor unitario (¢/ha)</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Topografía (%)</b>	<b>Capacidad de uso de suelos</b>	<b>Siniestralidad</b>
<b>Referencia 1</b>	¢2.571.428,57	200	0,15	1	3
<b>Referencia 2</b>	¢2.250.000,00	360	0,15	3	1
<b>Referencia 3</b>	¢2.924.790,70	946	0,10	1	2
<b>Referencia 4</b>	¢2.115.000,00	450	0,30	2	1
<b>Finca Paso Real</b>	<b>xxxxx</b>	165	0,05	1	4

Fuente Autor

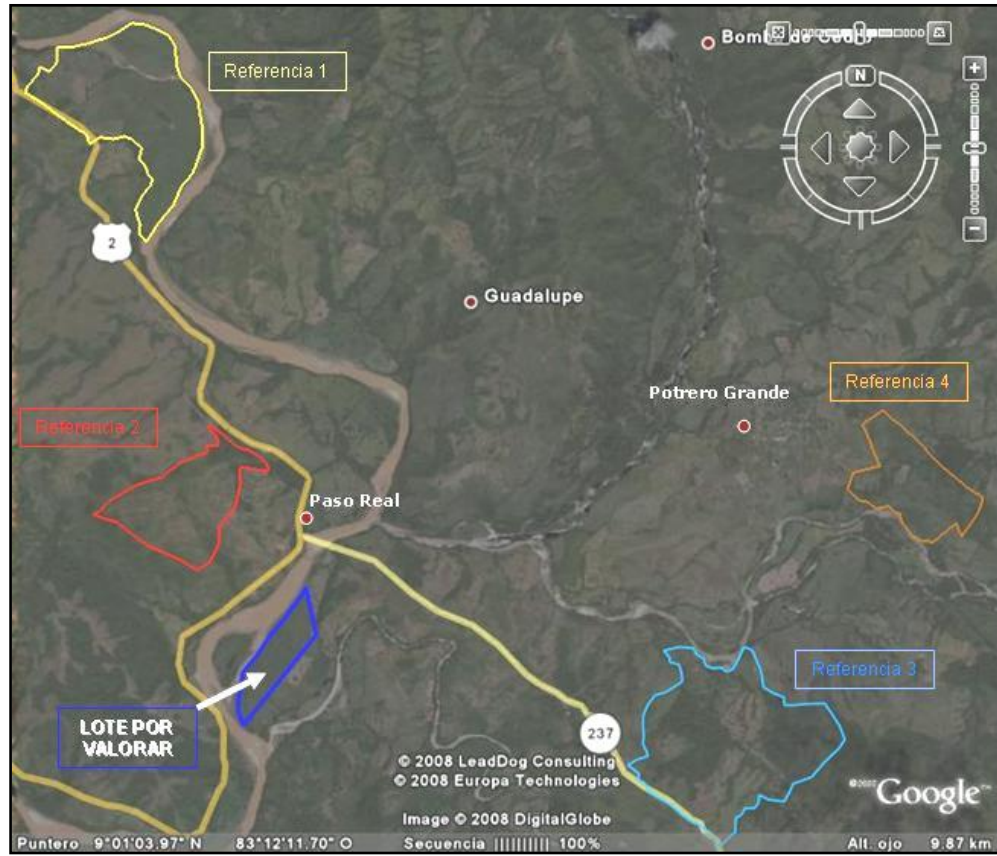


Figura 4. Imagen de la finca en estudio y las comparables a utilizar (obtenida por programa Google Earth)

Como primer paso para buscar el valor por ha de la finca en estudio se procede a analizar las variables; en este caso todas estas son Inversas; por lo tanto hay que convertirlas a Directas; según la teoría se logra dividiendo uno entre el valor de la variable. Al final se obtiene el siguiente cuadro:

<b>Cuadro 12. Conversión de variables inversas a directas</b>					
<b>Comparables</b>	<b>Valor unitario (¢/ha)</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Topografía (%)</b>	<b>Capacidad de uso de suelos</b>	<b>Siniestralidad</b>
<b>Referencia 1</b>	¢2.571.428,57	0,00500	6,67	1,00	0,33
<b>Referencia 2</b>	¢2.250.000,00	0,00278	6,67	0,33	1,00
<b>Referencia 3</b>	¢2.924.790,70	0,00106	10,00	1,00	0,50
<b>Referencia 4</b>	¢2.115.000,00	0,00222	3,33	0,50	1,00
<b>Finca Paso Real</b>		0,00606	20,00	1,00	0,25
<b>Sumatoria</b>		<b>0.0171</b>	<b>46,67</b>	<b>3,83</b>	<b>3,08</b>

Fuente Autor

Una vez obtenidas las Inversas de cada variable se procede a normalizarlas por el Método de la Suma; esto permite deshacerse de las dimensiones de cada variable y así poder realizar una comparación adecuada.

<b>Cuadro 13. Variables Normalizadas</b>					
<b>Comparable</b>	<b>Valor unitario (¢/ha)</b>	<b>Superficie</b>	<b>Topografía</b>	<b>Capacidad de uso de suelos</b>	<b>Siniestralidad</b>
<b>Referencia 1</b>	¢2.571.428,57	0,2919	0,1429	0,2609	0,1081
<b>Referencia 2</b>	¢2.250.000,00	0,1623	0,1429	0,0870	0,3243
<b>Referencia 3</b>	¢2.924.790,70	0,0618	0,2143	0,2609	0,1622
<b>Referencia 4</b>	¢2.115.000,00	0,1299	0,0714	0,1304	0,3243
<b>Finca Paso Real</b>		<b>0,3542</b>	<b>0,4286</b>	<b>0,2609</b>	<b>0,0811</b>
<b>Sumatoria</b>	<b>¢9.861.219,27</b>	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Fuente Autor

Luego de calcular las variables normalizadas se puede obtener un valor por ha para la finca. Lo primero a buscar es el Ratio Baricéntrico que se obtiene según la siguiente fórmula:

Ratio Baricéntrico =  $[(\sum \text{valores unitarios de las referencias}) / (\sum \text{pesos de cada variable})]$

Variable superficie:

$$Ratio_s = (9.861.219,27) / (0,6458) = 15.268.791,87$$

Variable topografía:

$$Ratio_t = (9.861.219,27) / (0,5714) = 17.257.133,72$$

Variable capacidad de uso del suelo:

$$Ratio_{cs} = (9.861.219,27) / (0,7391) = 13.341.649,60$$

Variable siniestralidad:

$$Ratio_{si} = (9.861.219,27) / (0,9189) = 10.731.326,85$$



Así, para cada variable, se logra un Ratio Baricéntrico que se multiplica por el peso de la finca Paso Real (obtenidas del Cuadro 13) y se consigue el valor para la finca únicamente tomando en cuenta una de las variables explicativas. (Véase Cuadro 14)

<b>Cuadro 14. Valores por Ratio de Valuación para la Finca Paso Real</b>				
	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Topografía (%)</b>	<b>Capacidad de uso de suelo</b>	<b>Siniestralidad</b>
<b>Ratio Baricéntrico</b>	15.268.791,87	17.257.133,72	13.341.649,60	10.731.326,85
<b>Peso Variable Normalizada</b>	0,3542	0,4286	0,2609	0,0811
<b>Valor unitario (€/ha)</b>	<b>€5.407.572,60</b>	<b>€7.395.914,45</b>	<b>€3.480.430,33</b>	<b>€870.107,58</b>

Fuente Autor

De esta forma se obtienen cuatro posibles valores por ha para la finca en estudio. Para discernir cuál valor es el correcto se calcula la Distancia Manhattan y el valor que cuente con la menor Distancia será el monto más adecuado.

En la parte final de esta sección se analizarán todas las opciones para obtener el valor final, por medio de la Distancia Manhattan.

Cabe resaltar que la diferencia de los montos está dada principalmente por la variable normalizada, el caso de "siniestralidad" indica que esta variable obtiene una ponderación del 8,1% mientras que topografía tiene un peso del 42%, esto indica que para tomar una decisión es más importante la topografía del terreno que la siniestralidad. Como se puede observar los pesos normalizados finales guían al comprador para tomar una decisión y saber que le conviene más para su inversión.

## Método CRITIC

Por medio del programa Microsoft Excel es sencillo obtener los valores de Desviación Estándar y Coeficiente de Correlación. Así, basados en el Cuadro 13 de Variables Normalizadas, y dadas las ecuaciones 5 y 6 del Marco Teórico, se obtienen los resultados de los cuadros 15 y 16.

<b>Cuadro 15. Desviación Estándar de las Variables</b>			
<b>Superficie</b>	<b>Topografía</b>	<b>Capacidad de uso de suelos</b>	<b>Siniestralidad</b>
0,1201	0,1374	0,0848	0,1172

Fuente Autor

<b>Cuadro 16. Coeficiente de Correlación de las Variables</b>				
	<b>Superficie</b>	<b>Topografía</b>	<b>Capacidad de uso de suelos</b>	<b>Siniestralidad</b>
<b>Superficie</b>	1			
<b>Topografía</b>	0,1157	1		
<b>Capacidad de uso de suelos</b>	-0,0302	0,4482	1	
<b>Siniestralidad</b>	-0,5094	-0,7174	-0,7717	1

Fuente Autor

Ahora se procede a obtener los pesos de cada variable y el valor final por el método Diakoulaki, con la ecuación 4.

Variable superficie:

$$W_s = 0,1201 \times [(1-(0,1157)) + (1-(0,0302)) + (1-(0,5094))] = 0,4111$$

Variable topografía:

$$W_t = 0,1374 \times [(1-(0,1157)) + (1-0,4482) + (1-(0,7174))] = 0,4333$$

Variable capacidad de uso del suelo:

$$W_{cs} = 0,0848 \times [(1-(0,0302)) + (1-0,4482) + (1-(0,7717))] = 0,2842$$

Variable Siniestralidad:

$$W_{sl} = 0,1172 \times [(1-(0,5094)) + (1-0,7174) + (1-(0,7717))] = 0,5858$$

	<b>Pesos</b>	<b>Pesos normalizados</b>
<b>Superficie (ha)</b>	0,4111	0,2398
<b>Topografía (%)</b>	0,4333	0,2527
<b>Capacidad de uso de suelos</b>	0,2842	0,1658
<b>Siniestralidad</b>	0,5858	0,3417
<b>Sumatoria</b>	<b>1,7144</b>	<b>1,0000</b>

Fuente Autor

Dichos pesos normalizados se multiplican y se suman por cada valor correspondiente de los montos del cuadro 14, como se muestra en el cuadro 18

	<b>Pesos Normalizados</b>	<b>Monto por Variable</b>	<b>Valor final</b>
<b>Superficie</b>	0,2398	¢5.407.572,60	¢1.296.619,89
<b>Topografía</b>	0,2527	¢7.395.914,45	¢1.869.209,32
<b>Capacidad de uso de suelos</b>	0,1658	¢3.480.430,33	¢577.069,44
<b>Siniestralidad</b>	0,3417	¢870.107,58	¢297.300,11
<b>Sumatoria</b>			<b>¢4.040.198,76</b>

Fuente Autor

Es este apartado se puede observar que la variable “superficie” y “topografía” obtuvieron pesos muy similares, con una diferencia de apenas el 1,29%, lo que indica que son igualmente importantes para tomar la decisión final, por medio de este método hay que tener presente estas dos variables para comprar.

Sin embargo, la siniestralidad resultó ser la variable con más peso en este método ya que obtuvo una ponderación del 34,17%, reflejando que para el analista es mucho más importante pensar en el riesgo de inundación que en las demás variables.

## Método de Entropía

Para este procedimiento se utiliza la ecuación 7 a fin de obtener la entropía; el primer paso es normalizar las variables como aparecen en el cuadro 13, luego se procede al cálculo de la constante K, la cual se obtiene de dividir 1 entre el logaritmo de la cantidad de variables, como se muestra en el Cuadro 19.

<b>Cuadro 19. Cálculo de Constante K</b>		
Calcular $K = 1 / \log m$	Nº alternativas = m	5
K=	1,4307	

Fuente Autor

A la vez, se consiguen los logaritmos, como aparece en el cuadro 20.

Ahora se procede a calcular la entropía (ecuación 7), la cual consta de dos partes: la sumatoria de la multiplicación de la variable normalizada por el logaritmo de esta y la multiplicación de la sumatoria por la constante - K.

Luego se calcula la Diversidad con la ecuación 8 (véase Cuadro 21). Para finalizar se normalizan los resultados y se suman los productos de los pesos normalizados (véase Cuadro 22).

<b>Cuadro 20. Logaritmos de las Variables Normalizadas</b>				
Comparable	Superficie	Topografía	Capacidad de uso de suelos	Siniestralidad
<b>Referencia 1</b>	-0,5348	-0,8451	-0,5836	-0,9661
<b>Referencia 2</b>	-0,7896	-0,8451	-1,0607	-0,4890
<b>Referencia 3</b>	-1,2092	-0,6690	-0,5836	-0,7901
<b>Referencia 4</b>	-0,8865	-1,1461	-0,8846	-0,4890
<b>Finca Paso Real</b>	-0,4508	-0,3680	-0,5836	-1,0911
<b>Sumatoria</b>	<b>-3,8709</b>	<b>-3,8733</b>	<b>-3,6960</b>	<b>-3,8253</b>

Fuente Autor

<b>Cuadro 21. Cálculo de Pesos Normalizados por Método de Entropía</b>			
	<b>Entropía</b>	<b>Diversidad</b>	<b>Pesos normalizados</b>
<b>Superficie (ha)</b>	0,9067	0,0933	0,2773
<b>Topografía (%)</b>	0,8933	0,1067	0,3171
<b>Capacidad de uso de suelos</b>	0,9504	0,0496	0,1473
<b>Siniestralidad</b>	0,9131	0,0869	0,2583
<b>Sumatoria</b>	<b>0,3365</b>	<b>1,0000</b>	

Fuente Autor

<b>Cuadro 22. Cálculo de Monto Final por Método de Entropía</b>			
	<b>Pesos Normalizados</b>	<b>Monto por Variable</b>	<b>Valor final</b>
<b>Superficie (ha)</b>	0,2773	¢5.407.572,60	¢1.499.711,92
<b>Topografía (%)</b>	0,3171	¢7.395.914,45	¢2.345.442,51
<b>Capacidad de uso de suelos</b>	0,1473	¢3.480.430,33	¢512.619,11
<b>Siniestralidad</b>	0,2583	¢870.107,58	¢224.706,66
<b>Sumatoria</b>			<b>¢4.582.480,21</b>

Fuente Autor

Este método arroja pesos muy similares, tanto superficie, topografía y siniestralidad poseen pesos q van del 25,83 % al 31,71%, estas diferencias tan cerradas indican que para tomar la decisión final, se debe considerar todo estos factores y lograr un balance en la finca por adquirir.

## Método de Ordenación Simple

Para este caso se utiliza la opinión de expertos en el ramo, quienes nos indicarán cuál peso deberían tener las variables de cada inmueble (véase Cuadro 23). Luego, a través de un promedio se obtienen los pesos finales que se multiplicaran por los valores por ha obtenidos en el paso inicial (véase Cuadro 24).

<b>Cuadro 23. Pesos de las Variables según opinión de expertos</b>				
	<b>Experto 1</b>	<b>Experto 2</b>	<b>Experto 3</b>	<b>Promedio %</b>
<b>Superficie</b>	30	30	25	<b>0,28</b>
<b>Topografía</b>	15	15	25	<b>0,18</b>
<b>Capacidad de uso de suelos</b>	20	15	25	<b>0,20</b>
<b>Siniestralidad</b>	35	40	25	<b>0,33</b>
	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>1,0000</b>

Fuente Autor

<b>Cuadro 24. Monto Final por Método de Ordenación Simple</b>			
	<b>Pesos Normalizados</b>	<b>Monto por Variable</b>	<b>Valor final</b>
<b>Superficie</b>	0,2833	¢5.407.572,60	¢1.532.145,57
<b>Topografía</b>	0,1833	¢7.395.914,45	¢1.355.917,65
<b>Capacidad de uso de suelos</b>	0,2000	¢3.480.430,33	¢696.086,07
<b>Siniestralidad</b>	0,3333	¢870.107,58	¢290.035,86
<b>Sumatoria</b>			<b>¢3.874.185,15</b>

Fuente Autor

Este método es aplicable cuando no se posee suficiente información para poder realizar los otros procesos, sin embargo es igual de válido pues cuenta con la opinión de expertos en el tema que defienden su peso.

Al normalizar las variables la siniestralidad adquiere el valor más alto con un 33,33 % seguido muy de cerca por superficie 28,33%, y luego con 20,00% la capacidad de uso del suelo.

## Distancia Manhattan

Para este punto se consideran 7 posibles valores por ha para la finca, resumidos en el Cuadro 25, con la finalidad de poder discernir cuál valor será el definitivo, la distancia Manhattan es un parámetro confiable y adecuado.

Lo primero a realizar es el cálculo de los Ratios Baricéntricos para cada variable, lo que se logra dividiendo la sumatoria de los montos de las variables entre el monto de los pesos de las variables normalizados. Luego se multiplica ese dato por el monto de cada peso de cada variable (véase Cuadro 26).

Luego por medio del valor absoluto de la diferencia entre el valor por ha de las comparables y el valor del ratio de cada variable se obtiene la distancia Manhattan definitiva.

Método	Valor por hectárea
Superficie	¢5.407.572,60
Topografía	¢7.395.914,45
Uso del suelo	¢3.480.430,33
Siniestralidad	¢870.107,58
Entropía	¢4.582.480,21
Diakoulaki	¢4.040.198,76
Ordenación Simple	¢3.874.185,15

Fuente Autor

Comparable	Valor unitario (¢/ha)	Valor con ratio superficie	Distancia Manhattan	Valor con ratio Topografía	Distancia Manhattan	Valor con ratio capacidad de uso	Distancia Manhattan	Valor con ratio Siniestralidad	Distancia Manhattan
Referencia 1	2.571.428,57	4.456.790,61	1.885.362,03	2.465.304,82	106.123,75	3.480.430,33	909.001,76	1.160.143,44	1.411.285,13
Referencia 2	2.250.000,00	2.478.470,78	228.470,78	2.465.304,82	215.304,82	1.160.143,44	1.089.856,56	3.480.430,33	1.230.430,33
Referencia 3	2.924.790,70	943.181,27	1.981.609,43	3.697.957,23	773.166,53	3.480.430,33	555.639,63	1.740.215,17	1.184.575,53
Referencia 4	2.115.000,00	1.982.776,62	132.223,38	1.232.652,41	882.347,59	1.740.215,17	374.784,83	3.480.430,33	1.365.430,33
<b>Sumatoria</b>			<b>4.227.665,62</b>		<b>1.976.942,69</b>		<b>2.929.282,78</b>		<b>5.191.721,32</b>

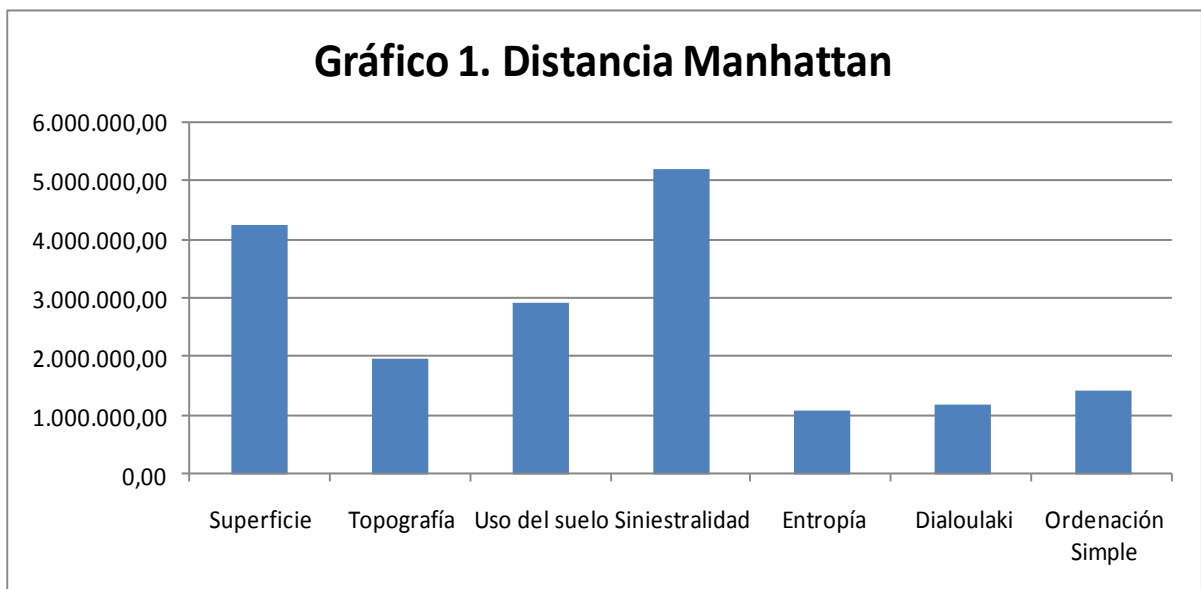
Fuente Autor

Para el Ratio Baricéntrico de cada método se suma el valor del Ratio de cada comparable multiplicado por el peso de cada variable obtenido, como se muestra en el Cuadro 27. Luego se obtiene el valor absoluto de la diferencia entre los Ratios y los Valores de las Comparables, y la sumatoria de dichas diferencias reflejan la distancia Manhattan final. El valor con menor distancia será el monto definitivo por ha.

En el gráfico 1 se pueden apreciar mejor los resultados finales.

<b>Cuadro 27. Distancia Manhattan para cada Método</b>							
Comparable	Valor unitario (€/ha)	Valor con ratio Entropía	Distancia Manhattan	Valor con ratio Diakoulaki	Distancia Manhattan	Valor con Ratio Ordenación Simple	Distancia Manhattan
Referencia 1	2.571.428,57	2.830.068,47	258.639,90	2.665.182,13	93.753,56	2.797.530,44	226.101,86
Referencia 2	2.250.000,00	2.538.881,81	288.881,81	2.598.910,83	348.910,83	2.546.378,07	296.378,07
Referencia 3	2.924.790,70	2.396.331,35	528.459,35	2.332.428,96	592.361,74	2.221.351,31	703.439,39
Referencia 4	2.115.000,00	2.095.937,65	19.062,35	2.264.697,36	149.697,36	2.295.959,46	180.959,46
<b>Sumatoria</b>			<b>1.095.043,41</b>		<b>1.184.723,48</b>		<b>1.406.878,79</b>

Fuente Autor



Fuente Autor



Por tanto, el valor de distancia Manhattan menor es el correspondiente al Método de Entropía con un valor final por ha de **¢4.582.480,21**. De esta forma se elimina la subjetividad del perito para decidir valores y se tiene certeza de la forma en que se eligió el monto para la finca de Paso Real.

Basados en el gráfico 1, se puede corroborar la exactitud de los métodos para obtener el valor final de la finca.

Los valores obtenidos por cada variable arrojan distancias Manhattan muy altas, lo que indica que nos son muy precisos y solo toman en cuenta una variable de la finca, descartando el resto, dejando de lado información igual de valiosa. Sin embargo Métodos de Diakoulaki, Entropía y Ordenación simple son concisos pues abarcan todas las variables y ponderaciones estadísticas, arrojando datos confiables y apegados a la realidad de la zona reflejada en el estudio de mercado realizado.

De igual forma los montos de las distancias Manhattan finales cuentan con diferencias mínimas, lo que indica que las ponderaciones de las variables son próximas como se ve en los apartados anteriores, reflejando la consistencia de todo el proceso.

## Caso 2. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Para la aplicación de este método se desarrolla un nuevo caso; la propiedad cuenta con 150 ha, se localiza en Palmar Norte, del cantón de Osa, de la provincia de Puntarenas. Al igual que el caso anterior se procede a confeccionar un Estudio de Mercado de toda la zona de afectación (véase Apéndice).

Luego se procede a elegir las fincas comparables que cuenten con características similares (véase Figura 6).

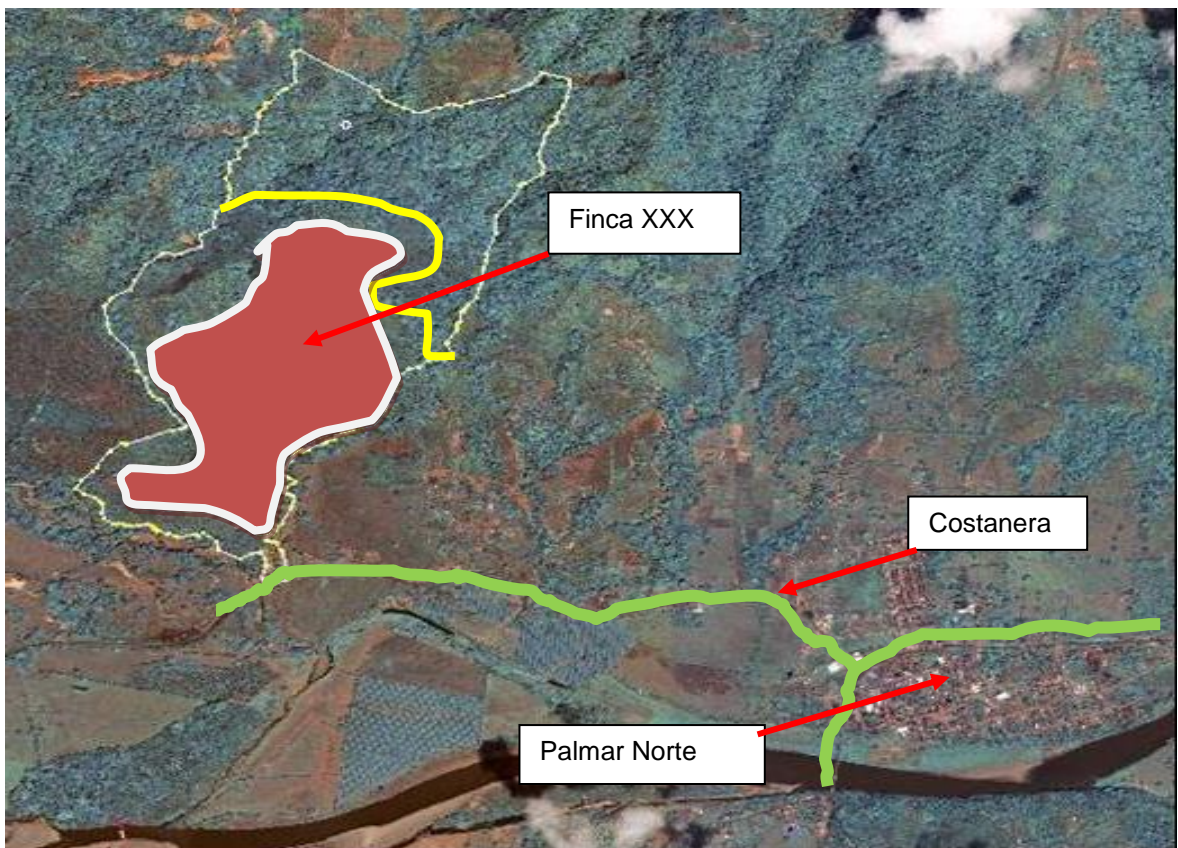


Figura 5. Imagen de la finca en estudio (obtenida por programa Google Earth)

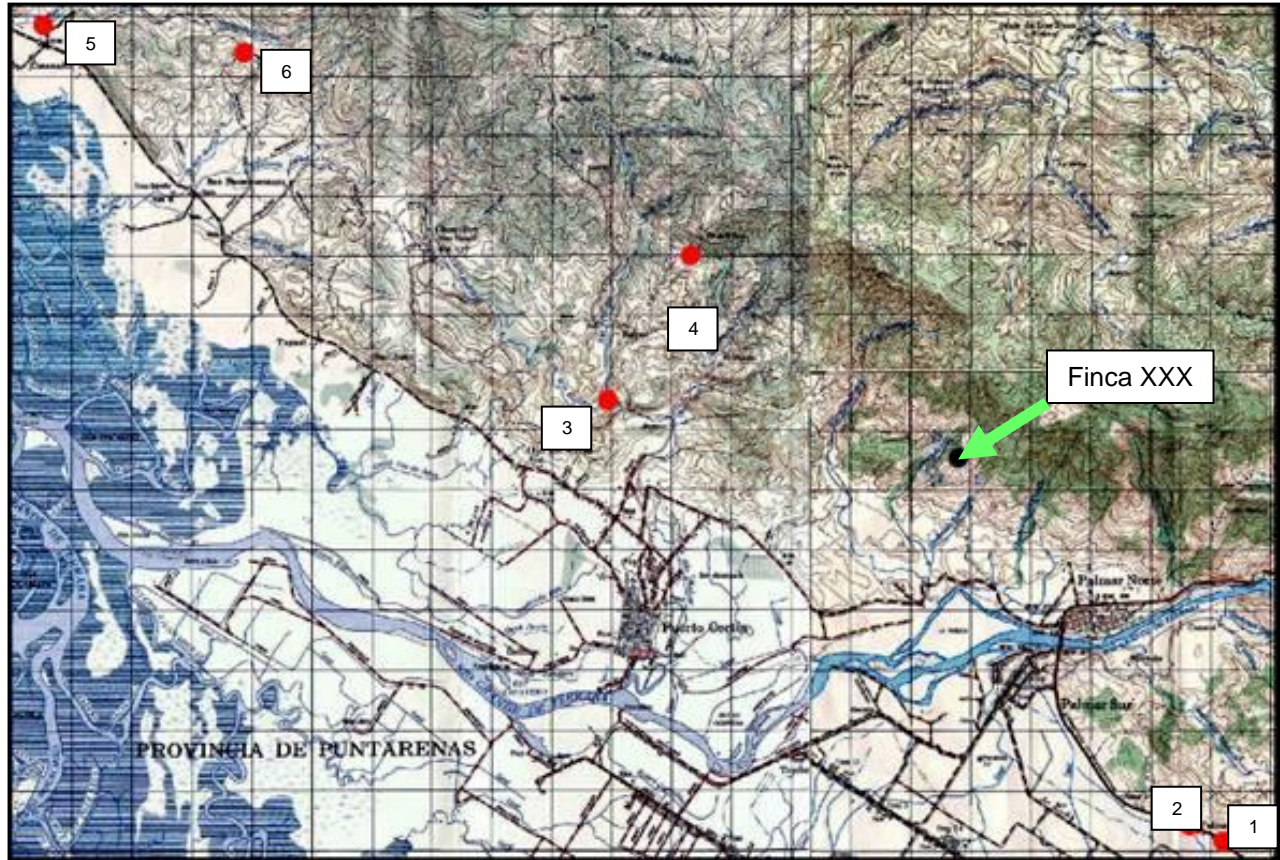


Figura 6. Localización de comparables, hoja cartográfica Changüena.

Seguidamente se analizan las características de la finca y de las comparables para elegir los criterios o variables a tomar en cuenta para el cálculo del monto a pagar.

Las variables explicativas se determinan con base en los aspectos más relevantes que definen la deseabilidad o el valor de los terrenos utilizados como comparables.

La “Belleza escénica” representa la variable más deseable que, de acuerdo con el estudio realizado, es buscado en los terrenos de esta región. La vista al océano Pacífico se considera en cuanto a cercanía y amplitud; el “Acceso” se refiere a la o las vías por las que se puede llegar a cada uno de los inmuebles; los “Servicios” corresponde a la disponibilidad de servicios públicos que existen; la “Topografía” es una variable explicativa inversa de tipo cuantitativo; sin embargo, se analiza, al igual que todas las demás, mediante la escala pareada de Saaty (Aznar y Guijarro, 2005).

Se incluye la variable “Área”, que igualmente es una variable cuantitativa inversa, sin embargo el análisis esta basando en el principio de que a menor área mayor precio, por lo tanto se realiza un análisis cualitativo; por último, se aplica la variable “Frente” que hace referencia al tipo de vía con la que colinda el inmueble, pues por su carácter intrínseco se ve afectado el valor de la finca.

Así se procede a hacer la tabulación de los datos para facilitar su comprensión, como se muestra en el Cuadro 28.

la parte de anexos se adjunta toda la memoria de cálculo correspondiente.

<b>Cuadro 28. Datos de las Comparables y la Finca XXX</b>							
	Valor unitario ¢/ha	Belleza escénica	Acceso	Servicios públicos	Topografía	Área (ha)	Frente
<b>Comparable 1</b>	¢18 500 000	REGULAR	BUENO	MALO	QUEBRADA	23.00	COST.
<b>Comparable 2</b>	¢14 285 000	BUENA	REGULAR	BUENO	QUEBRADA	37.00	SERVI.
<b>Comparable 3</b>	¢8 047 887	MUY BUENA	REGULAR	REGULAR	MUY QUEBRADA	71.00	SERVI.
<b>Comparable 4</b>	¢17 420 732	MUY BUENA	REGULAR	BUENA	MUY QUEBRADA	82.00	CALLE PÚBLICA
<b>Comparable 5</b>	¢11 496 982	REGULAR	BUENA	REGULAR	QUEBRADA	64.00	COST.
<b>Comparable 6</b>	¢7 048 882	MUY BUENO	MALO	MALO	MUY QUEBRADA	129.70	CALLE PÚBLICA
<b>Finca XXX</b>	xxxxxx	REGULAR	MALO	REGULAR	ONDULADA	150.00	COST.

Fuente Autor

Ahora se procede a ponderar las variables para determinar cuál tiene mayor peso en la toma de decisiones. Dicho análisis se realiza con la Tabla de Comparaciones de Saaty (véase Figura 1).

<b>Cuadro 29. Matriz de Comparación entre Variables</b>						
	Belleza escénica	Acceso	Servicios públicos	Frente	Topografía	Área
Belleza escénica	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	5,00
Acceso	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	4,00
Servicios públicos	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
Frente	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00
Topografía	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,00
Área	0,20	0,25	0,25	0,50	1,00	1,00

Fuente Autor

Entonces se procede a montar todas las matrices de todas las comparables con respecto a cada una de las variables de comparación. En

<b>Cuadro 30. Matriz Pareada con respecto a Belleza escénica</b>							
	Comparable 1	Comparable 2	Comparable 3	Comparable 4	Comparable 5	Comparable 6	Lote a valorar
Comparable 1	1,00	0,50	0,25	0,25	1,00	0,25	1,00
Comparable 2	2,00	1,00	0,50	0,50	2,00	0,50	2,00
Comparable 3	4,00	2,00	1,00	1,00	4,00	1,00	4,00
Comparable 4	4,00	2,00	1,00	1,00	4,00	1,00	4,00
Comparable 5	1,00	0,50	0,25	0,25	1,00	0,25	1,00
Comparable 6	4,00	2,00	1,00	1,00	4,00	1,00	4,00
Lote a valorar	1,00	0,50	0,25	0,25	1,00	0,25	1,00

Fuente Autor

<b>Cuadro 31. Matriz Pareada con respecto a Acceso</b>							
	Comparable 1	Comparable 2	Comparable 3	Comparable 4	Comparable 5	Comparable 6	Lote a valorar
Comparable 1	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	5,00	5,00
Comparable 2	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	3,00	3,00
Comparable 3	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	3,00	3,00
Comparable 4	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	3,00	3,00
Comparable 5	1,00	3,00	3,00	3,00	1,00	5,00	5,00
Comparable 6	0,20	0,33	0,33	0,33	0,20	1,00	1,00
Lote a valorar	0,20	0,33	0,33	0,33	0,20	1,00	1,00

Fuente Autor

<b>Cuadro 32. Matriz Pareada con respecto a Servicios Públicos</b>							
	Comparable 1	Comparable 2	Comparable 3	Comparable 4	Comparable 5	Comparable 6	Lote a valorar
Comparable 1	1,00	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,33
Comparable 2	5,00	1,00	3,00	1,00	3,00	5,00	3,00
Comparable 3	3,00	0,33	1,00	0,33	1,00	3,00	1,00
Comparable 4	5,00	1,00	3,00	1,00	3,00	5,00	3,00
Comparable 5	3,00	0,33	1,00	0,33	1,00	3,00	1,00
Comparable 6	1,00	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00	0,33
Lote a valorar	3,00	0,33	1,00	0,33	1,00	3,00	1,00

Fuente Autor

<b>Cuadro 33. Matriz Pareada con respecto a Frente</b>							
	Comparable 1	Comparable 2	Comparable 3	Comparable 4	Comparable 5	Comparable 6	Lote a valorar
Comparable 1	1,00	5,00	5,00	3,00	1,00	3,00	1,00
Comparable 2	0,20	1,00	1,00	0,33	0,20	0,33	0,20
Comparable 3	0,20	1,00	1,00	0,33	0,20	0,33	0,20
Comparable 4	0,33	3,00	3,00	1,00	0,33	1,00	0,33
Comparable 5	1,00	5,00	5,00	3,00	1,00	3,00	1,00
Comparable 6	0,33	3,00	3,00	1,00	0,33	1,00	0,33
Lote a valorar	1,00	5,00	5,00	3,00	1,00	3,00	1,00

Fuente Autor

<b>Cuadro 34. Matriz Pareada con respecto a Topografía</b>							
	Comparable 1	Comparable 2	Comparable 3	Comparable 4	Comparable 5	Comparable 6	Lote a valorar
Comparable 1	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	0,33
Comparable 2	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	0,33
Comparable 3	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	0,20
Comparable 4	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	0,20
Comparable 5	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	0,33
Comparable 6	0,33	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	0,20
Lote a valorar	3,00	3,00	5,00	5,00	3,00	5,00	1,00

Fuente Autor

<b>Cuadro 35. Matriz Pareada con respecto a Área</b>							
	Comparable 1	Comparable 2	Comparable 3	Comparable 4	Comparable 5	Comparable 6	Lote a valorar
Comparable 1	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00
Comparable 2	1,00	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00
Comparable 3	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Comparable 4	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Comparable 5	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	3,00
Comparable 6	0,20	0,20	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00
Lote a valorar	0,20	0,20	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00

Fuente Autor

Ahora que se reúne toda la información tabulada, se procede a obtener el Ratio de Consistencia (RC) con base en la ecuación 10 y en la figura 3 para comprobación de los resultados. Estos últimos, por ser matrices de más de 5 columnas, su porcentaje de RC no debe superar el 10 % (véase Memoria de Cálculo en Apéndice).

En el Cuadro 36 se resumen los resultados, los cuales, por ser menores a 10% mínimo, indican que cumplen con las tres premisas de consistencia de cada matriz. Dan a entender que el análisis es correcto y que se puede proceder al siguiente paso: el cálculo del Vector Propio, o Matriz Columna.

<b>Cuadro 36. Ratio de Consistencia para cada Matriz Pareada</b>	
	<b>RC (%)</b>
Cuadro 29	1,75
Cuadro 30	0,00
Cuadro 31	1,05
Cuadro 32	1,05
Cuadro 33	1,06
Cuadro 34	0,79
Cuadro 35	1,05

Fuente Autor

En el cuadro 37 se muestran los resultados finales de los Vectores Propios, calculados a partir de la información tabulada. Luego se procede a multiplicar las matrices, distinguidas por los colores. La matriz celeste proviene de los resultados de cada variable respecto a las comparables y la matriz columna rosada se obtiene de la matriz de las variables.

Una vez multiplicadas se consigue el Vector Propio Final, el cual indica el PESO o ponderación final a tomar en cuenta en el valor por hectárea de la finca.

<b>Cuadro 37. Matrices Finales de las Variables</b>							
	Belleza escénica	Acceso	Servicios públicos	Frente	Topografía	Área	Todas las Variables
Comparable 1	0,0588	0,2868	0,0447	0,2418	0,1545	0,1545	0,3797
Comparable 2	0,1176	0,1124	0,2868	0,0411	0,1545	0,1545	0,2469
Comparable 3	0,2353	0,1124	0,1124	0,0411	0,0561	0,0561	0,1642
Comparable 4	0,2353	0,1124	0,2868	0,0961	0,0561	0,0561	0,0954
Comparable 5	0,0588	0,2868	0,1124	0,2418	0,1545	0,1545	0,0580
Comparable 6	0,2353	0,0447	0,0447	0,0961	0,0561	0,0561	0,0558
Lote a valorar	0,0588	0,0447	0,1124	0,2418	0,3681	0,3681	

Fuente Autor

<b>Cuadro 38. Producto de matrices</b>	
Comparable 1	0,1411
Comparable 2	0,1410
Comparable 3	0,1459
Comparable 4	0,1797
Comparable 5	0,1522
Comparable 6	0,1233
Lote a valorar	<b>0,1168</b>

Fuente Autor

En la tabla anterior se encuentran los pesos finales que dictarán los valores finales de las ponderaciones. El último resultado que se destaca en negrita es el correspondiente a la finca xxx; este valor es el más significativo pues dará el monto final más adelante.

Como paso siguiente se procede a obtener el Ratio Baricéntrico y el Ratio Medio; para ello utilizamos los valores de las referencias o comparables, como se muestra en los cuadros 39 y 40.

<b>Cuadro 39. Ratio Baricéntrico</b>		
	Valor parcela	Ponderación parcelas
Comparable 1	¢ 18.500.000,00	0,1411
Comparable 2	¢ 14.285.000,00	0,1410
Comparable 3	¢ 8.047.887,00	0,1459
Comparable 4	¢ 17.420.732,00	0,1797
Comparable 5	¢ 11.496.982,00	0,1522
Comparable 6	¢ 7.048.882,00	0,1233
Sumatoria	¢ 76.799.483,00	0,8832
Ratio Baricentrico		<b>86.953.339,09</b>

Fuente Autor



<b>Cuadro 40. Ratio Medio</b>			
	<b>Valor parcela</b>	<b>Ponderación parcelas</b>	<b>Ratios Medio</b>
<b>Comparable 1</b>	¢18.500.000,00	0,1411	131.092.937,98
<b>Comparable 2</b>	¢14.285.000,00	0,1410	101.302.873,86
<b>Comparable 3</b>	¢ 8.047.887,00	0,1459	55.176.869,80
<b>Comparable 4</b>	¢17.420.732,00	0,1797	96.923.292,35
<b>Comparable 5</b>	¢11.496.982,00	0,1522	75.516.029,22
<b>Comparable 6</b>	¢7.048.882,00	0,1233	57.190.220,08
<b>Promedio</b>			<b>86.200.370,55</b>

Fuente Autor

El Ratio Baricéntrico se obtiene de la división de las sumatorias de ambas columnas.

El Ratio Medio se calcula mediante un promedio de las divisiones de cada valor por parcela entre los valores de las ponderaciones finales.

Una vez obtenidos los dos Ratios, se procede a calcular el valor final. Para este caso serían los dos ratios multiplicados por el valor final de la ponderación de las matrices del Vector Propio del cuadro 28.

<b>Cuadro 41. Valor de Finca xxx con Ratio Baricéntrico</b>	
Ratio Baricéntrico	86.953.339,09
Peso Vector Propio	0,1168
Valor parcela	<b>¢10.153.856,09</b>

Fuente Autor

<b>Cuadro 42. Valor de Finca xxx con Ratio Medio</b>	
Ratio Medio	86.200.370,55
Peso Vector Propio	0,1168
Valor parcela	<b>¢10.065.929,23</b>

Fuente Autor

Ahora se tienen dos posibles valores para la finca en estudio; la elección final de los montos se obtiene por medio de la Distancia Manhattan. El ratio que cuente con menor distancia será el adecuado para el monto final.

<b>Cuadro 43. Distancia Manhattan</b>					
	<b>Valor parcela</b>	<b>Valor con ratio Baricéntrico</b>	<b>Distancia Manhattan</b>	<b>Valor con ratio medio</b>	<b>Distancia Manhattan</b>
<b>Comparable 1</b>	18.500.000,00	12.270.964,39	6.229.035,61	12.164.704,52	6.335.295,48
<b>Comparable 2</b>	14.285.000,00	12.261.532,19	2.023.467,81	12.155.354,00	2.129.646,00
<b>Comparable 3</b>	8.047.887,00	12.682.681,16	4.634.794,16	12.572.856,05	4.524.969,05
<b>Comparable 4</b>	17.420.732,00	15.628.759,40	1.791.972,60	15.493.422,86	1.927.309,14
<b>Comparable 5</b>	11.496.982,00	13.238.261,92	1.741.279,92	13.123.625,79	1.626.643,79
<b>Comparable 6</b>	7.048.882,00	10.717.283,93	3.668.401,93	10.624.478,09	3.575.596,09
<b>Sumatoria</b>			<b>20.088.952,04</b>		20.119.459,55

Fuente Autor

En el cuadro anterior la distancia menor se obtiene por el Ratio Baricéntrico; por lo tanto, el valor por hectárea para la finca xxx es de ¢10.153.856,09. De esta forma se logra eliminar la subjetividad del perito y se toman en cuenta variables de todo tipo para aplicar un análisis sencillo y efectivo (en la parte de Apéndice se puede tener acceso a la memoria de cálculo).

Con los resultados obtenidos a lo largo de estos ejemplos, el perito puede defender, ante cualquier cuestionamiento, los valores y razonamientos utilizados, pues son de índole matemática y científica, con lo cual elimina la subjetividad.

## **Comparación con Metodología Tradicional**

Como se ha visto a través de todo este informe, los Métodos Multicriterio eliminan en forma efectiva la subjetividad del perito, aspecto que la mayoría de los procesos de valoración tradicionales mantienen.

Con las metodologías tradicionales resulta difícil considerar criterios o variables de orden cualitativo, por ejemplo: belleza escénica y ubicación en sitios de riesgo. En nuestro medio aún no se han desarrollado técnicas que permitan medir con rigor científico el peso que se debe asignar a este tipo de variables.

Otro aspecto a tomar en cuenta es la gran gama de variables que se pueden utilizar y los aspectos que se pueden valorar, puesto que utilizando la Metodología Multicriterio se aplica tanto para terrenos como para edificios, cultivos, marcas, bosques, deportistas, variables económicas, etc. Existe un sinnúmero de criterios y campos en los cuales se puede aplicar.

# Conclusiones y Recomendaciones

## Conclusiones

1. Al aplicar los Métodos Multicriterio se elimina en un alto porcentaje la subjetividad del perito, por lo que se logra una mejor valoración.
2. La referida Metodología se adapta a la realidad nacional, como se demuestra con ejemplos reales.
3. En el Proyecto Hidroeléctrico El Diquís se aplican estos procesos con resultados muy positivos por parte de la Dirección y los propietarios de la zona.
4. No son necesarios programas computacionales ni un *software* muy avanzado para desarrollar estas técnicas; además, es muy fácil de comprender por parte de los interesados en estudiarla.
5. Los procesos mostrados en este informe generan una memoria de cálculo manejable; puede aplicarse a otros ejemplos, no solo de terreno sino, además, en valoración de activos muebles, toma de decisiones, valoración de cultivos y bosques.

## Recomendaciones

1. Ahondar en el análisis de la Metodología Multicriterio, con el afán de especializar a profesionales de diversas ramas de la ingeniería y de este modo expandir los campos de aplicación de estos métodos.
2. Procurar más información acerca de cómo poder desarrollar estas y otras técnicas en el ámbito nacional. Lo que se presenta en este informe es una pequeña parte de la gran variedad de Metodologías Multicriterio y solo es aplicada por el Instituto Costarricense de Electricidad.
3. Comenzar una campaña de cambio hacia el Multicriterio y dejar de lado las metodologías tradicionales que no son tan rigurosas para obtener valores más exactos y menos subjetivos.
4. Crear una legislación que regule el campo de la valoración, pues la precisión del monto del avalúo queda en el aire y no se tienen normalizados la forma ni los procedimientos para confeccionar un avalúo; con excepción de los Manuales del ICE y el Ministerio de Hacienda, no existen en otra entidad normas reguladoras.

# Apéndices

1. Estudio de Mercado de las zonas afectadas.
2. Memoria de Cálculo.

# Anexos

1. Clasificación de Uso del Suelo y Siniestralidad.

# Referencias

- Anchía, Rodríguez Juan Daniel. 2009. **Valoración con Modelos Multicriterio**. Unión Panamericana de Asociaciones de Valuación. Boletín Informativo, Costa Rica. Editorial UPAV.
- Aznar Bellver, Jerónimo, Guijarro Martínez Francisco. 2005. **Nuevos Métodos de Valoración: Modelos Multicriterio**. España. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Aznar Bellver, Jerónimo, López Perales Arturo. 2008 **Valoración Inmobiliaria: Métodos y Aplicaciones**. España Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Aznar Bellver, Jerónimo, González Mora Ronny. 2009 **Introducción a la Valuación Inmobiliaria en Costa Rica y Centroamérica**. España Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Borrero Ochoa, Óscar A. et al. 2002. **Valoración de Predios Agrarios**. Colombia. Bhander Editores Ltda.
- Diakoulaki, D. Mavrotas, G. y Papayannakis, L. (1995) Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC Method. Computers Operational Research. Vol 22, 7, 763-770
- González Mora Ronny. 1996 **Metodología Moderna para la Valuación de Bienes Inmuebles (Terrenos y Edificaciones)**. Proyecto de Graduación para el Grado de Licenciado en Ingeniería en Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ley 7495 Ley General de Expropiaciones
- Ley 6313 Ley de Instituto Costarricense de Electricidad de Adquisiciones, Expropiaciones y Servidumbres.
- Procedimiento para la Solicitud, Confección y Trámite de Avalúos del Instituto Costarricense de Electricidad. Diario Oficial *La Gaceta* 7 de junio del 2005.
- Manual para la hacer Avalúos del Instituto Costarricense de Electricidad, Diario *La Gaceta*, 28 de octubre del 2005.
- Saaty, T.(1980). The Analytic Hierarchy Process. RWS Publications. Pittsburgh,EUA