


Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico para la determinación de la mejor práctica a ser adoptada en parcelas productivas

Application of the Analytic Hierarchy Process to determine the best practice to be adopted in productive plots

Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico

Victor Milciades Portillo Sosa¹ 

<https://orcid.org/0000-0003-1191-6666>

¹Universidad Nacional de Pilar, Pilar, Paraguay. vportillo@aplicadas.edu.py

Diego David Delpino Miño² 

<https://orcid.org/0000-0001-9665-6271>

²Universidad Nacional de Pilar, Pilar, Paraguay dieguiski95@hotmail.com

Resumen

La propuesta se enfoca a la determinación de las mejores prácticas productivas aplicables a la producción agroganadera y ambiental, para la zona norte de la Región Oriental del Paraguay, con el propósito de reducir factores que podrían incidir en la erosión de los suelos y la pérdida de la vocación productiva. Se aplicó el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*), desarrollado por Thomas L. Saaty, estudiado y aplicado por diversos autores. Se evaluaron las alternativas para apoyar la toma de decisiones respecto a las mejores prácticas productivas conservacionistas, clasificándolas en tres alternativas: Ganadería, Agricultura y Silvopastoril, con criterios como Cobertura boscosa; Erosión, con subcriterios de pendiente y lluvia; Aptitud de uso del suelo, con subcriterios basados en las aptitudes, establecidos en las Clases tres y cuatro. Los resultados revelan que en el 51,82%, de los casos, la actividad Agrícola presenta mejores condiciones de producción, debido a las condiciones del suelo que resultan aptas para dicha práctica; en el 27,85% de los casos, se consideran que los suelos son óptimos para la práctica de índole silvopastoril, en tanto que en el 20,32% de los casos, se presentan condiciones aptas para la producción pecuaria, dada las condiciones ambientales.

Palabras claves: Proceso Analítico Jerárquico. Paraguay. Prácticas Productivas.

Abstract


The proposal focuses on the determination of the best productive practices applicable to agro-livestock and environmental production, for the northern part of the Eastern Region of Paraguay, with the aim of reducing factors that could affect soil erosion and the loss of productive vocation. The Analytic Hierarchy Process, developed by Thomas L. Saaty, was applied, studied and applied by various authors. Alternatives were evaluated to support decision-making regarding the best conservationist productive practices, classifying them into three alternatives: Livestock, Agriculture and Silvopastoral, with criteria such as Forest Cover; Erosion, with subcriteria of slope and rain; Land use aptitude, with skill-based sub-criteria, set out in Classes three and four. The results reveal that in 51.82%, of the cases, the Agricultural activity presents better production conditions, due to the soil conditions that are suitable for this practice; in 27.85% of the cases, the soils are considered to be optimal for silvopastoral practice, while in 20.32% of the cases, conditions suitable for livestock production are presented, given the environmental conditions.

Key Word: Hierarchical Analytical Process. Paraguay. Productiva Practices.

Área del conocimiento: Ciencias Agrarias

Correo de Correspondencia: vportillo@aplicadas.edu.py

Conflictos de Interés: Los autores declaran no tener conflictos de intereses

 Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY

Fecha de recepción: 05/11/2021

Fecha de Aprobación: 25/06/2022

Página Web: <http://publicaciones.uni.edu.py/index.php/rseisa>

Citación recomendada: Portillo Sosa, V. M.; Delpino Miño, D. D. (2022). Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico para la determinación de la mejor práctica a ser adoptada en parcelas productivas. (Encarnación), 16 (16): e2022017

Introducción

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) constituye una alternativa para el tratamiento de decisiones complejas, a fin de hallar alternativas a los problemas suscitados (Saaty, T., 1994).

En el contexto de los países productores y exportadores de productos agropecuarios (commodities), Paraguay se sitúa entre los principales en producción de soja (*Glycine max*) y carne bovina (*Bos taurus*), dicha producción con características extensivas, ejercen presión sobre los sistemas naturales e incluso contrapuestas a los modelos conservacionistas del ecosistema natural (bosques, humedales, suelo). Las presiones sobre los ecosistemas se traducen en el cambio en el uso del suelo, implementación de sistemas mono productivos, homogeneización de los paisajes, reducción de la biodiversidad, aumento de los índices de erosión y de las superficies erosionadas, las que en determinadas condiciones pueden verse potenciadas por las inadecuadas prácticas de producción, al uso intensivo de determinados espacios (FAO, 2017).

Ante un escenario complejo como el mencionado previamente, es que se propone la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*), desarrollado por Thomas Saaty (Saaty, T., 1980 como se citó en Zanazzi, 2003), estudiado y aplicado por diversos autores, entre los que se mencionan a Schoner y Wedley (Schoner et al. 2007; Carmone et al., 1997 como se citó en Zanazzi, 2003). El AHP tiene como propósito contribuir con el proceso de toma de decisiones, provee un entorno de trabajo comprensible, racional y estructurado para el tratamiento del problema analizado, su representación, la cuantificación y las relaciones de los elementos. El AHP ha sido utilizado mundialmente, para el abordaje de problemáticas y la propuesta de soluciones en el ámbito gubernamental, la industrial, la salud, la educación, los negocios, el medio ambiente, por citar algunas áreas de aplicación (Pérez et al., 2012).

El uso inadecuado de la tierra ha conllevado a su degradación, manifestada en diversas formas, tal como ocurre con la erosión de áreas productivas, lo que se traduce finalmente en una subproducción agropecuaria. Dicho escenario trae aparejado consecuencias indeseadas en el contexto de la búsqueda de los mejores rendimientos. El uso del suelo con un bajo rendimiento productivo, debido al ineficiente uso acorde con su potencial, tiene

repercusiones en contra del aseguramiento alimentario y la calidad de vida de las personas (Salas et al., 2011). En sentido opuesto, se dan situaciones de conflictos debido a una subutilización de áreas geográficas; el cual se produce cuando se desarrollan actividades por debajo del potencial productivo de los suelos, esto conlleva evidentes consecuencias con repercusiones en la calidad de vida de las personas, menos generación de ingresos económicos y la reducción de oportunidades de empleo rural, el aumento de la concentración de la propiedad de la tierra, el incremento del poder territorial, la homogenización del paisaje y la pérdida de la biodiversidad (Salas et al., 2011).

La optimización en el uso del suelo está supeditada a la identificación de su capacidad de uso; hecho que contribuirá con la adopción de prácticas productivas que eviten poner en riesgo su sustentabilidad y la resguarden de posibles degradaciones en su uso (Useche et al., 2002).

En el proceso de cambio de uso del suelo o la transformación del paisaje, el que generalmente implica el retiro de la cobertura boscosa y, por ende, al aumento de la escorrentía, el proceso de colmatación de los cauces, la eutroficación, y el aumento del riesgo de inundaciones (Orue et al., 2007).

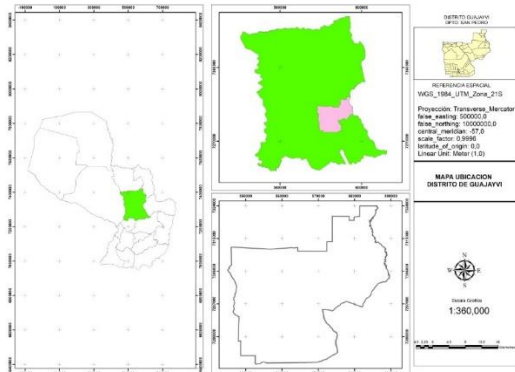
La aplicación del AHP para la resolución de conflictos en el ámbito de la producción y el manejo de los recursos naturales ha sido abordado en diversos trabajos por parte de varios autores como Schmoldt (Schmoldt et al., 2001) y el caso de (Perez et al., 2012) ante la necesidad de identificar el potencial de mejor uso para el suelo con fines productivos. Se estableció como objetivo, recurriendo a la aplicación del AHP, determinar la mejor práctica a ser adoptada en parcelas productivas sustentables, en un determinado espacio geográfico del país.

Contexto

La zona bajo estudio se ubica en el distrito de Guayaibí, localizada en el II Departamento de San Pedro, República del Paraguay; con una superficie de 1.300 Km². La misma se halla al noreste de la ciudad de Asunción, distante, siguiendo el trazado vial terrestre, 170 Km de esta, y aproximadamente 150 Km de la capital departamental, San Pedro del Ycuamandjy. Linda con los distritos de Chore y Gral. Isidoro Resquín, en el sector norte; con el XIV Departamento de Canindeyú, al este; con los distritos

de Chore y San Estanislao, al oeste; y con el distrito de San Estanislao, al sur, respectivamente (Figura 1).

Figura 1.
Ubicación del distrito de Guayaibí.



Nota: Ubicación del distrito de Guayaibí, en el II Departamento de San Pedro, República del Paraguay.

Métodos y Materiales

La metodología adoptada para el logro del objetivo propuesto, consistió en la aplicación del AHP, se asoció con las herramientas proporcionadas por los sistemas de información geográfica (SIG).

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), consiste en un método que apoya la toma de decisiones basado en comparaciones por pareo, que facilita la modificación sistemática de la información en acción. (Saaty, 1994). Al momento de utilizar este método, se lograron las siguientes ventajas: es posible analizar el efecto de los cambios realizados a nivel superior con respecto al nivel inferior, proporciona la información acerca del sistema, pudiendo tener una vista panorámica de los actores, objetivos y los propósitos, además de posibilitar una flexibilidad a la hora de encarar cambios en los componentes de tal manera que no se tenga un efecto sobre la estructura total (Rositas et al., 2013).

La aplicación del modelo de referencia de Saaty (1994), permitió lidiar con la complejidad del manejo de las variables intervinientes, mediante el uso de la decisión multicriterio de manera sistémica, favoreciendo el flujo de proceso y la toma de decisiones ante problemas que involucran múltiples criterios.

Tabla 1.
Escalas de comparación de Saaty.

1/9	Mínima
1/7	Muy baja
1/5	Baja
1/3	Levemente Baja
1	Igual
3	Levemente Alta
5	Alta
7	Muy alta
9	Máxima

Nota: Fuente: (Saaty, 2001).

De esta manera los valores 2, 4, 6 y 8 fueron utilizados como valores intermedios, cuando no es posible definir con claridad la preferencia entre los criterios propuestos.

Para la ampliación del AHP, se realizó lo siguiente: Determinación del objetivo general del trabajo.

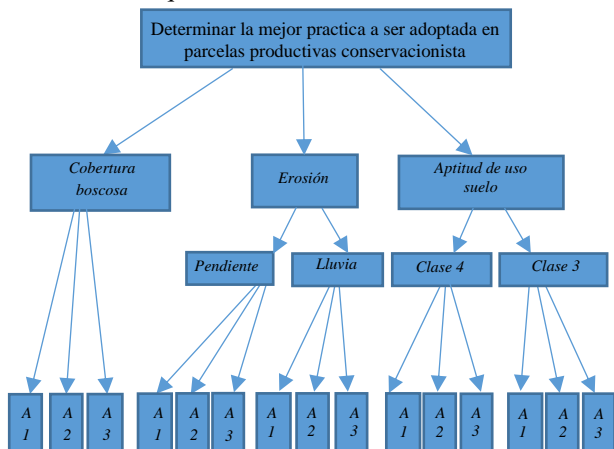
Análisis de criterios de expertos

Análisis Jerárquico AHP para identificar cuál es la práctica productiva conservacionista, más apropiada o significativa

Aplicación del Análisis Jerárquico AHP

Se procedió a la aplicación del método AHP para evaluar las alternativas, considerando que se presentan varios criterios, que se basan en el principio de la experiencia y el conocimiento de los actores, como también en los datos empleados en el proceso de análisis. Se buscó apoyar la toma de decisiones en lo que respecta a las mejores prácticas productivas conservacionista. Como alternativas se ha propuesto los siguientes usos: Ganadería, Agricultura y Silvopastoril. Se fijó como criterios para las alternativas de uso: Cobertura boscosa; Erosión, con subcriterios: Pendiente, Lluvia. Para el criterio Aptitud de uso de suelo, con subcriterios Clase 4 y Clase 3 de vocación de uso del suelo. La Clase 4 comprende suelos con muy severas limitaciones que reducen la posibilidad de selección de cultivos o requieren un manejo muy cuidadoso, o ambos; la Clase 3, presenta severas limitaciones que reducen la posibilidad de selección de cultivos, o requieren prácticas especiales de conservación al cultivarlos (Saaty, 1994).

Figura 2.
Matriz Jerárquica.



Evaluación de Criterios

Los criterios se compararon cualitativamente, utilizando para ello la tabla de Saaty (Saaty, 1994), para la cuantificación de las relaciones entre ellos, tomando los valores de la Tabla 1, para determinar la relación de influencia:

Cobertura boscosa vs erosión: se consideró que la Cobertura Boscosa es entre moderadamente importante, o bien esencialmente importante para el desarrollo de un escenario de erosión, correspondiendo el valor 4 a la relación: Cobertura Boscosa: 4 ← Erosión

Cobertura boscosa vs aptitud de suelo: la Cobertura Boscosa es considerada como moderadamente importante con respecto a la Aptitud del Suelo, puesto que contribuye con la reducción de la erosión y los procesos de desertificación del suelo. De ello se concluye la siguiente relación: Aptitud de Suelo: 3 ← Cobertura Boscosa

Aptitud del suelo vs erosión: la condición de la Aptitud del Suelo se consideró fuerte o esencialmente importante, considerando la aptitud de suelo, con respecto a la erosión, puesto que existen métodos de aprovechamiento del suelo con fines productivos, aplicando técnicas conservacionistas, como el uso de las curvas de nivel, orientados a la contención de procesos de erosión en cultivos. De ello se concluye la siguiente relación: Aptitud de Suelo: 5 ← Erosión

Para las relaciones Erosión Vs Cobertura Boscosa, Aptitud De Suelo Vs Cobertura Boscosa Y Erosión Vs Aptitud Del Suelo, se utilizaron los valores inversos de dichas relaciones inversas: Erosión 1/4 ← Cobertura

Boscosa, Cobertura Boscosa 1/3 ← Aptitud de Suelo y Erosión 1/5 ← Aptitud de Suelo.

Para las relaciones entre la misma variable, es valor es 1.

Los valores identificados para cada relación se llevaron a la tabla de evaluación de criterios (Tabla 2) y se realizó una sumatoria de cada columna.

Tabla 2.
Evaluación de Criterios.

	Cobertura Boscosa	Erosión	Aptitud de Uso
Cobertura Boscosa	1	4	0.33333333
Erosión	0.25	1	0.2
Aptitud de Uso	3	5	1
	4.25	10	1533333.33

Posteriormente, se obtuvo el cociente resultante entre el valor de la relación dividido entre la sumatoria que resulta en la columna de dicha relación. El valor obtenido se llevó a la matriz normalizada.

La sumatoria de cada columna debe ser igual a 1 (uno). El peso se obtuvo a partir del promedio de la sumatoria de los valores de cada fila.

Tabla 3
Matriz Normalizada

	Cobertura Boscosa	Erosión	Aptitud de Uso	PESO
Cobertura Boscosa	0.235294118	0.4	0.217391304	0.284
Erosión	0.058823529	0.1	0.130434783	0.096
Aptitud de Uso	0.705882353	0.5	0.652173913	0.619
	1	1	1	1.000

Evaluación de Subcriterios

Al disponer de la matriz normalizada, se efectuó la evaluación de subcriterios para cada criterio de la Tabla de evaluación de criterios (Tabla 2), así:

Criterio Erosión

Se han considerado los subcriterios pendiente y lluvia: Pendiente vs lluvia: se ha considerado a la pendiente fuerte o esencialmente más relevante que la lluvia. Considerando una elevada graduación en la pendiente, ello constituye un factor de mayor importancia por sobre la lluvia, se concluye la siguiente relación: Pendiente: 5 ← Lluvia y para la relación: Lluvia Vs

Pendiente, el valor inverso 1/5. En tanto que, para la relación entre el mismo subcriterio, el valor será 1 (Tabla 4), con una sumatoria en cada columna.

Tabla 4.
Evaluación de Sub-Criterios (Erosión).

	Pendiente	Lluvia
Pendiente	1	5
Lluvia	1/5	1
	1.2	6

Nota: Evaluación de sub criterios. Establecimiento de criterio por peso de alternativas (erosión).

Los valores de la Tabla 4, fueron procesados como en el caso de la Tabla 3, para generar la Tabla 5.

Tabla 5.
Matriz normalizada de Subcriterio (Erosión).

	Pendiente	Lluvia	Peso
Pendiente	0.833	0.8333	0.83333
Lluvia	0.167	0.166666667	0.166666667
	1	1	1

El procedimiento seguido para los subcriterios Pendiente Vs Lluvia, se aplicaron para los demás subcriterios.

Considerando la Aptitud de Suelo: se tuvo en cuenta la tipificación de la aptitud del suelo para el uso, establecidos en la clase 3 (suelos altamente productivos) y clase 4 (suelos con bajo aporte de nutrientes):

Clase 4 vs Clase 3: se consideró a la Clase 3 moderadamente más importante que la Clase 4, desde la perspectiva de la aptitud del suelo para la producción. Se concluye la siguiente relación: Clase 3: 3 ← Clase 4. Para la relación Clase 4 Vs Clase 3, el valor es la inversa 1/3. Para la relación entre el mismo subcriterio, es valor es 1.

Tabla 6.
Evaluación de Sub-Criterios (Aptitud Uso de Suelo).

	Clase 4	Clase 3
Clase 4	1	1/3
Clase 3	3	1
	4	1,3333

Evaluación de Alternativas

Obtenidos los valores para los subcriterios, se abordó el uso alternativo del suelo. Se consideraron las alternativas de uso: Agricultura (A1), Ganadería (A2) y Silvopastoril (A3). Se procedió a la comparación entre la mismas que se detallan a continuación:

Cobertura Boscosa: Con respecto a este criterio, se procedió al análisis de las recomendaciones de los expertos, llegándose a las siguientes conclusiones:

- Agricultura (A1) VS Ganadería (A2): se consideró que la Agricultura tiene una utilidad moderadamente importante con respecto a la Ganadería, por lo tanto, se le asignó el valor 3: Agricultura (A1): 3 * Ganadería (A2)
- Silvopastoril (A3) VS Agricultura (A1): Se consideró que la alternativa Silvopastoril (A3), es fuertemente importante con respecto a la Agricultura, que implica el cambio del uso del suelo; asignándosele el valor 5: Silvopastoril (A3): 5 * Agricultura (A1)
- Silvopastoril (A3) VS Ganadería (A2): se consideró que la alternativa Silvopastoril (A3) es fuertemente importante con relación a la Ganadería (A2), asignándosele el valor 7: Silvopastoril (A3): 7 * Ganadería (A2)

Para las relaciones Ganadería (A2) VS Agricultura (A1), Agricultura (A1) VS Silvopastoril (A3) y Ganadería (A2) VS Silvopastoril (A3), se asignan valores inversos a los analizados previamente. En el caso de relaciones entre la misma alternativa, el valor asignado es 1.

Tabla 7.
Matriz normalizada de Sub-Criterios (Aptitud Uso de Suelo).

	Clase 4	Clase 3	Peso
Clase 4	0.25	1/4	0.25
Clase 3	0.75	0.75	0.75
	1	1	1

Para la obtención de la Matriz Normalizada (Tabla 9), se procedió de forma similar al caso de obtención de valores para la Tabla 3, a partir de los valores de la Tabla 8.

Tabla 8.

Evaluación de alternativa (Cobertura Boscosa).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)
A1 (agr)	1	3	1/5
A2 (gan)	1/3	1	1/7
A3 (silvop)	5	7	1
	6.33333	11	1,342857

Tabla 9.

Matriz normalizada de alternativa (Cobertura Boscosa).

	A1 (agr)	A2 (gan)
A1 (agr)	0.157894737	0.272727273
A2 (gan)	0.052631579	0.090909091
A3 (silvop)	0.789473684	0.636363636
	1	1

De forma similar al análisis de la alternativa Cobertura Boscosa, se procede con las demás alternativas Pendiente: se ha considerado el grado de la pendiente del terreno coincidente con el área de la parcela para las diferentes alternativas, asignándose los siguientes valores:

Tabla10.

Evaluación de alternativas (Pendiente).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)
A1 (agr)	1	1/5	1
A2 (gan)	5	1	3
A3 (silvop)	1	1/3	1
	7	1,53333	5

Lluvia: considerando la precipitación con relación al potencial de erosión del suelo, se asignaron los siguientes valores:

Tabla 11.

Matriz normalizada de alternativas (Pendiente).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)
A1 (agr)	1	7	5
A2 (gan)	1/7	1	1/3
A3 (silvop)	1/5	3	1
	1,342857	11	6,33333

Tabla 12.

Evaluación de alternativas (Lluvias).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	PESO
A1 (agr)	0.14286	0.13043	0.20000	0.15776
A2 (gan)	0.71429	0.65217	0.60000	0.65549
A3 (silvop)	0.14286	0.21739	0.20000	0.18675
	1	1	1	1

Tabla 13.

Matriz de normalizada de alternativas (Pendiente).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	Peso
A1 (agr)	0.74468	0.6364	0.7895	0.72351
A2 (gan)	0.10638	0.0909	0.0526	0.08331
A3 (silvop)	0.14894	0.2727	0.1579	0.19319
	1	1	1	1

Posteriormente se evaluaron los subcriterios para tipos de suelo desde la perspectiva edafológica (PRUT, 1995). Se consideró la opinión de los expertos en cuanto a las características del tipo de suelo, tomando en consideración la producción, los nutrientes disponibles, entre otros elementos que hacen a la producción.

Clase 4: Para el tipo se suelo (Clase 4), se establecieron los siguientes valores:

- Ganadería (A2) VS Agricultura (A1): Se concluyó que la Ganadería (A2) es entre moderadamente importante y fuerte o esencialmente importante a la Agricultura (A1). Ganadería (A2): 4 * Agricultura (A1), y valor inverso para la relación Agricultura (A1): 1/4 * Ganadería (A2)
- Ganadería (A2) VS Silvopastoril (A3): Se consideró que la Ganadería (A2) es fuertemente importante con relación a la actividad Silvopastoril (A3). Ganadería (A2): 5 * Silvopastoril (A3), y valor inverso para la relación Silvopastoril (A3): 1/5 * Ganadería (A2)
- Silvopastoril (A3) VS Agricultura (A1): los resultados dan cuenta de que la alternativa Silvopastoril (A3) está entre igualmente importante y moderadamente importante a la Agricultura (A1).

Silvopastoril (A3): $2 * \text{Agricultura (A1)}$, y valor inverso para la relación Agricultura (A1): $1/2 * \text{Silvopastoril (A3)}$.

Con valor 1 para la relación entre las mismas alternativas entre sí.

A partir de los valores de la Tabla 14, se obtuvieron los resultados de la Tabla 15, siguiendo los procedimientos aplicados para obtener la Tabla 3.

Tabla 14.

Evaluación de alternativas (Clase 4).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)
A1 (agr)	1	4	5
A2 (gan)	1/4	1	3
A3 (silvop)	1/5	1/3	1
	1.45	5.333333333	9

Tabla 15.

Matriz normalizada de alternativas (Clase 4).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	Peso
A1 (agr)	0.68966	0.7500	0.5556	0.66507
A2 (gan)	0.17241	0.1875	0.3333	0.23108
A3 (silvop)	0.13793	0.0625	0.1111	0.10385
	1	1	1	1

Siiguiente los procedimientos para la obtención de las Tabla 14 y Tabla 15, se procedió para el tipo de suelo de la Clase 3.

Clase 3: Correspondiente a un tipo de suelo apto para la producción agrícola.

- Agricultura (A1) VS Ganadería (A2): en que se concluyó que la Agricultura (A1) es fuerte o esencialmente importante con respecto a la Ganadería (A2).
- Agricultura (A1): $5 * \text{Ganadería (A2)}$, y valor inverso para la relación Ganadería (A2): $1/5 * \text{Agricultura (A1)}$
- Agricultura (A1) VS Silvopastoril (A3): se consideró a la Agricultura (A1) como fuertemente importante con relación al Silvopastoril (A3).
- Agricultura (A1): $7 * \text{Silvopastoril (A3)}$, y valor inverso para la relación Silvopastoril (A3): $1/7 * \text{Agricultura (A1)}$

- Ganadería (A2) VS Silvopastoril (A3): la Ganadería (A2) es moderadamente importante con relación al Silvopastoril.
- Ganadería (A2): $3 * \text{Silvopastoril (A3)}$, y valor inverso para la relación Silvopastoril (A3): $1/3 * \text{Ganadería (A2)}$.

Tabla 16.

Evaluación de alternativas (Clase 3).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)
A1 (agr)	1	5	7
A2 (gan)	1/5	1	3
A3 (silvop)	1/7	1/3	1
	1.342857143	6.333333333	11

Tabla 17.

Matriz de evaluación de alternativas (Clase 3).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	Peso
A1 (agr)	0.7447	0.7895	0.6364	0.7235
A2 (gan)	0.1489	0.1579	0.2727	0.1932
A3 (silvop)	0.1064	0.0526	0.0909	0.0833
	1	1	1	1

Cálculo de la Mejor Alternativa

Se aplicó la suma de los productos resultantes entre los valores de los pesos de las tablas normalizadas (Tabla 3, Tabla 5, Tabla 7, Tabla 9, Tabla 11, Tabla 13, Tabla 15, Tabla 17), para el uso alternativo agrícola.

Peso Total de A1 (Agricultura) = $0.193*0.284 + (0.157*0.833 + 0.723*0.166) *0.096 + (0.665*0.25 + 0.723*0.75) *0.619$. Peso Total de A1 = 0.5182

Se aplicó la suma de los productos resultantes entre los valores de los pesos de las tablas normalizadas (Tabla 3, Tabla 5, Tabla 7, Tabla 9, Tabla 11, Tabla 13, Tabla 15, Tabla 17), para el uso alternativo ganadero.

Peso Total de A2 (Ganadería) = $0.083*0.284 + (0.655*0.833 + 0.083*0.166) *0.096 + (0.231*0.25 + 0.193*0.75) *0.619$. Peso Total de A2 = 0.2032

Se aplicó la suma de los productos resultantes entre los valores de los pesos de las tablas normalizadas (Tabla 3, Tabla 5, Tabla 7, Tabla 9, Tabla 11, Tabla 13, Tabla 15, Tabla 17), para el uso alternativo silvopastoril.

Peso Total de A3 (Silvopastoril) = $0.724*0.284 + (0.186*0.833 + 0.193*0.166) *0.096 + (0.103*0.25 + 0.083*0.75) *0.619$. Peso Total de A3 = 0.2785

Análisis de Consistencia

El método AHP, ofrece la posibilidad de medir el grado de consistencia entre las opiniones pareadas que fueron presentados por los expertos consultados, de

este modo, si el grado de consistencia es aceptable, se podría continuar con el siguiente proceso de decisión, por el contrario, si el grado de consistencia es inaceptable, se debe reconsiderar y modificar posiblemente, los juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el proceso de análisis (Saaty, 1994).

Como resultado se obtiene lo siguiente, que el método AHP, calcula la ratio de consistencia (RC) como el cociente entre el índice de consistencia de A y el índice de consistencia aleatorio: $RC = IC/IA$. Donde IC es el índice de consistencia de A y se calculó como sigue: $IC = n_{max} - n / (n - 1)$

Esto significa que primero se realizó el cálculo de n_{max} sumando el vector columna A, y después sumando los valores.

El índice de consistencia aleatoria (IA), es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada en forma aleatoria. Algunos autores sugieren la siguiente ecuación para la determinación del IA, donde $IA = (1.98(n - 2)) / n$.

Tabla 18.

Matriz de comparaciones pareadas.

	Cobertura boscosa	Erosión	Aptitud de uso	Peso		
Cobertura Boscosa	0.2353	0.4	0.2174	0.284	0.876	3.08328
Erosión	0.0588	0.1	0.1304	0.096	0.291	3.02166
Aptitud de Uso	0.7059	0.5	0.6522	0.619	1.9541	3.15513
	1	1	1	1.000		3.08669

El cociente, fue desarrollado de manera que todos los valores que excedan 0.10 son señales de que se emitieron juicio inconsistente, por lo tanto, es conveniente reconsiderar o modificar los valores de los juicios en las matrices de comparaciones pareadas. De este modo, los valores de la razón de consistencia de 0.10 o menor son señal de un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas. (Taskano et al., 2005), en que $RC = IC/IA$.

$RC \leq 0.10$; Inconsistencia Razonable $RC = \geq 0.10$; Inconsistencia

Se presenta a continuación el análisis de consistencia de la matriz normalizada analizadas en el presente estudio.

Tabla 19.

Análisis d consistencia.

IC (3.08669-3)/(3-1)	IA 1.98*(3-2)/3	RC RC= IC/IA
0.0433	0.66	0.06567498

Tabla 20.

Matriz Normalizada (Pendiente.)

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	Peso		
	0.142	0.130		0.475	3.0147	
A1 (agr)	9	4	0.2000	0.158	6	0
A2 (gan)	0.714	0.652		2.004	3.0581	
	3	2	0.6000	0.655	6	2
A3 (silvop)	0.142	0.217		0.563	3.0147	
	9	4	0.2000	0.187	0	8
						3.0292
	1	1	1	1		0

Tabla 21.

Inconsistencia aceptable.

IC (3.02920-3)/(3-1)	IA 1.98*(3-2)/3	RC RC= IC/IA
0.0146	0.66	0.02212

Se confirma una inconsistencia aceptable, $RC < 0.1$, resultado del análisis de ratio de consistencia.

Tabla 22

Matriz normalizada (cob. Boscosa).

	A1 (Agr)	A2 (Gan)	A3 (Silvop)	Peso		
A1 (agr)	0.1579	0.2727	0.1489	0.193	0.5878	3.04272
A2 (gan)	0.0526	0.0909	0.1064	0.083	0.2511	3.01366
A3 (silvop)	0.7895	0.6364	0.7447	0.724	2.2726	3.14108
	1	1	1	1		3.06582

Tabla 23.

Inconsistencia aceptable.

IC (3.06582-3)/(3-1)	IA 1.98*(3-2)/3	RC RC= IC/IA
0.0329	0.66	0.04986263

Se confirma una inconsistencia aceptable, $RC < 0.1$, resultado del análisis de ratio de consistencia.

Tabla 24
Matriz normalizada (clase 4).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	Peso		
A1 (agr)	0.6897	0.7500	0.5556	0.665	2.1086	3.17055
A2 (gan)	0.1724	0.1875	0.3333	0.231	0.7089	3.06770
A3 (silvop)	0.1379	0.0625	0.1111	0.104	0.3139	3.02260
	1	1	1	1		3.08695

Tabla 25.
Inconsistencia aceptable.

IC (3.08695-3)/(3-1)	IA 1.98*(3-2)/3	RC RC= IC/IA
0.0435	0.66	0.06587

Se confirma una inconsistencia aceptable, $RC < 0.1$, resultado del análisis de ratio de consistencia.

Tabla 26.
Matriz normalizada (clase 3).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	Peso		
A1 (agr)	0.7447	0.7894	0.6364	0.72351	2.2726	3.1411
A2 (gan)	0.1489	0.1579	0.2727	0.19319	0.5878	3.0427
A3 (silvop)	0.1064	0.0526	0.0909	0.08331	0.2511	3.0137
	1	1	1	1		3.0658

Tabla 27.
Inconsistencia aceptable.

IC (3.0658-3)/(3-1)	IA 1.98*(3-2)/3	RC RC= IC/IA
0.0329	0.66	0.04986

Se confirma una inconsistencia aceptable, $RC < 0.1$, resultado del análisis de ratio de consistencia.

Tabla 28.
Matriz normalizada (lluvias).

	A1 (agr)	A2 (gan)	A3 (silvop)	Peso		
A1 (agr)	0.7447	0.6364	0.7895	0.72351	2.2726	3.14108
A2 (gan)	0.1064	0.0909	0.0526	0.08331	0.2511	3.01366
A3 (silvop)	0.1489	0.2727	0.1579	0.19319	0.5878	3.04272
	1	1	1	1		3.06582

Tabla 29.
Inconsistencia acptable.

IC (3.0658-3)/(3-1)	IA 1.98*(3-2)/3	RC RC= IC/IA
0.0329	0.66	0.04986

Con el valor obtenido, se confirma una inconsistencia aceptable, en que $RC < 0.1$, resultante del análisis de ratio de consistencia.

Conclusiones

El procedimiento basado en el método de Análisis Jerárquico (AHP), constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones ante problemas de selección de múltiples criterios, como lo constituye la evaluación de las mejores alternativas de producción conservacionista aplicables a zonas productivas agropecuarias, considerando alternativas tales como: Agricultura, Ganadería y Silvopastoril. Se considera como una innovadora herramienta, facilita que la misma se constituya en un instrumento para la gestión de áreas productivas incorporando la sostenibilidad ambiental, posibilitando la selección de cuál de las prácticas de producción conservacionista, es la más adecuada para determinadas zonas o áreas.

La asignación de valores o pesos se basó en el principio de la experiencia y el conocimiento de expertos dedicados a la producción, a lo que se suma, los datos empleados en el proceso de análisis.

Los resultados permitieron evidenciar los conflictos asociados a la práctica de la Agricultura, Ganadería y Silvopastoril, desde el punto de vista de la producción. El cálculo de la mejor alternativa para la Actividad de la Agricultura (A1), determinado mediante la suma de los productos resultantes entre los valores de los pesos de las tablas normalizadas, se obtuvo un resultado de 0,5182, expresado en notación de porcentaje equivale a 51,82%, la actividad de la Agricultura presenta mejores condiciones de producción, por ser aptas para dicha práctica. En cuanto a la actividad silvopastoril (A3), se obtuvo un resultado del 0,2785, expresado en notación de porcentaje equivale a 27,85%, se consideran óptimas para la práctica de la actividad analizada, debido a que las condiciones del terreno presentan unos índices de erosionabilidad severos, recomendándose dicha actividad. En tanto que para la actividad Ganadera (A2), se obtuvo un resultado del 0,2032, expresado en notación de porcentaje equivale a 20,32%, se considera como condiciones óptimas para

la práctica de la ganadería, dada las condiciones para la producción agropecuaria de la zona analizada.

Bibliografía

- Carmone F., Kara, A. y Zanakis, S. (1997). *A Monte Carlo investigation of incomplete pairwise comparison matrices in AHP*. European Journal of Operational Food and Agricultural Organization. (2017). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Construcción participativa del diagnóstico de suelos. Diseño de planes de intervención. Prácticas de manejo sostenible de los suelos*. FAO y MADS. <http://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>
- López, O., González, E., De Llamas, O., Molinas, A., Franco, E., García, S. y Ríos E., (1995). *Proyecto de racionalización del uso de la tierra (préstamo no. 3445-pa. Estudio de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la región oriental del Paraguay*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-o-de-Reconocimiento-de-Suelos-Región-Oriental-Paraguay.pdf>,
- Orúe, M., Lateral, P. y Cabria, F. (2007). *Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: Mapas de riesgos utilizando el método USLE con apoyo de Sig . Teledetección*. <http://www.aet.org.es/congresos/xii/arg24.pdf>
- Pérez, F., Vargas, B., Aguirre, O., Corral, J. y Rojo, A. (2012). *Proceso Analítico Jerárquico para seleccionar métodos de manejo forestal en Durango*. Revista mexicana de ciencias forestales. Vol. 4 Núm. 15. pp.55-72. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v4n15/v4n15a5.pdf>.
- Rositas, J y Mendoza, J. (2013). *El proceso analítico jerárquico (AHP) como método innovador en la toma de decisiones grupales*. Universidad del Valle de Atemajac Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. (1994). *How to make a decision: the analytic hierarchy*, University of Pittsburgh.
- Saaty, T. (2001). *The seven pillars of the analytic hierarchy process*, University of Pittsburgh,
- Salas, J., y Valenzuela, J. (2011). *Determinación de los conflictos de uso del suelo en la microcuenca de Pachindo - Municipio de la Florida - Departamento de Nariño*. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Sánchez, R. (2001). *La toma de decisiones con múltiples criterios. Un resumen conceptual y teórico*. Universidad Mayor de San Simón
- Schmoldt, D.L., Kangas, J., Mendoza, G.A., y Pesonen, M. (2001). *The Analytic Hierarchy Process in natural resource and environmental decision making*. Kluwer Academic.
- Schoner, B. y Wedley, W. (2007). *Ambiguous Criteria Weights in AHP: Consequences and Solutions*. Faculty of Business Administration, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia,
- Toskano H. y Gerard B. (2005). *El Proceso del Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en Selección de Proveedores*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- Useche, I., Garzón, E. y Arévalo, J. (2002). *Zonificación de los Conflictos de Uso de las tierras en Colombia. Capítulo II. Cobertura y Uso Actual de las Tierras de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
- Zanazzi, J. (2003). *Anomalías y supervivencia en el método de toma de decisiones de Saaty*. En: *Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología*, Godoy, L.A Vol. I. 148-170 pp.