

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Índice de Resiliencia Agroecosistémico (Irag):

metodología para la evaluación de la
agrobiodiversidad.



CONAMA 2022

INDICE DE RESILIENCIA AGROECOSISTÉMICO (IRAG): METODOLOGIA PARA LA
EVALUACION DE LA AGROBIODIVERSIDAD.

Autor Principal: José Alejandro Cleves Leguízamo (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias, Facultad Seccional Duitama, Colombia). Correo: jose.cleves@uptc.edu.co

ÍNDICE MÍNIMO

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Problemática
5. Metodología
6. Resultados
7. Resultados: Interpretación del Índice de Resiliencia Agroecosistémico (IRAG)
8. Conclusiones
9. Bibliografía.

1. ÍNDICE DE RESILIENCIA AGROECOSISTÉMICO (IRAG): METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD.

2. RESUMEN

La literatura especializada reporta diferentes metodologías con número variable de indicadores o criterios, presentándose en algunos casos deficiencias conceptuales al considerar que los componentes del sistema tienen características y respuestas similares de carácter lineal, es decir sin manifestar diferencias frente a la acción del disturbio. Los sistemas agropecuarios permanentemente son afectados en su estructura y función por perturbaciones de diferente origen tanto natural, como antrópico v.gr la ocurrencia de eventos climáticos adversos, políticas públicas, oscilaciones del mercado, organización comunitaria, papel de las instituciones, disponibilidad de información oportuna y de recursos económicos, logísticos, técnicos, administrativos o de infraestructura entre otros múltiples factores. Ante la ocurrencia de estos eventos, el sistema afectado responde interactuando en forma dinámica con el disturbio, mediante la propiedad emergente de los sistemas abiertos denominada resiliencia. Conceptualmente se consideran dos tipos de resiliencia: la natural, de carácter general está asociada al genoma y a la oferta ambiental; y la adquirida, de carácter específico se encuentra vinculada estrechamente a la naturaleza del disturbio. En las últimas décadas, este concepto, ha motivado el desarrollo de numerosas investigaciones científicas, debido a alta recurrencia e intensidad de eventos climáticos extremos, con evidentes efectos en las poblaciones más vulnerables, generando graves afectaciones en la salud, la productividad y fundamentalmente la seguridad alimentaria, causando severas hambrunas y desplazamientos forzados. Originalmente este concepto fue analizado por los ingenieros, al indicar como la capacidad que tienen algunos materiales de responder a la acción de fuerzas o tensiones. En los años cincuenta Werner y Smith la introdujeron a la psicología definiéndola como la capacidad que tienen los seres humanos de responder, adaptarse y aprender de las situaciones críticas. Resultados previos han podido evidenciar la pertinencia de la presente propuesta metodológica para conservar e inclusive aumentar la productividad de diferentes agroecosistemas tanto agrícolas, pecuarios o forestales. Teniendo en cuenta la anterior problemática planteada, se planteó como objetivo principal proponer a la comunidad científica internacional una alternativa metodológica para el análisis de la agrobiodiversidad denominada Índice de Resiliencia Agroecosistémico (IRAg) corroborando la hipótesis planteada en el sentido que agroecosistemas con mayor agrobiodiversidad son más resilientes en escenarios de cambio y variabilidad climática.

Palabras claves: Resiliencia; seguridad y soberanía alimentaria; Cambio y variabilidad climática; fruticultura.

3. INTRODUCCION

Los sistemas de producción agraria, sujeto de estudio de la agroecología como ciencia, son sistemas abiertos, alejados del equilibrio, que están influenciados por la acción de “ondas” o disturbios de diferente naturaleza, ya sea de origen natural y/o antrópico v.gr eventos climáticos, políticas públicas, oscilaciones del mercado etc. Ante esta situación, los agroecosistemas tienden a mantener un estado funcional en el tiempo y el espacio, mediante una propiedad emergente conocida como “resiliencia”, cuyo concepto se relaciona con la capacidad disipativa que tiene el sistema de interactuar con el disturbio, como respuesta de atenuación de la onda que afecta al sistema, de tal manera que le permita conservar la esencia de su estructura y cumplir con su función. Respecto a la evaluación o análisis de la resiliencia, la literatura reporta diferentes metodologías con diverso número de indicadores o criterios, presentándose deficiencias conceptuales al considerar que los componentes del sistema tienen características y respuestas similares, es decir de carácter lineal, sin manifestar diferencias frente a la acción del disturbio, que está en capacidad de afectar en forma diferencial la temporalidad y productividad del sistema productivo. Con los resultados obtenidos se pudo evidenciar la pertinencia de esta metodología para analizar y evaluar la resiliencia de los agroecosistemas, bajo un enfoque de complejidad e integralidad, facilitando analizar e identificar el comportamiento de los diferentes elementos constitutivos del sistema ya sean físicos, bióticos, socioeconómicos o simbólicos en forma diferencial (ponderada), facilitando la toma de decisiones por parte de la comunidad, agricultores o administradores, conducentes a implementar ajustes o modificaciones en las variables más significativas del sistema de producción agroalimentario en referencia, con el fin de garantizar la productividad, la soberanía alimentaria y la sostenibilidad ante la ocurrencia de disturbios o impactos de origen antrópico o natural.

Actualmente, el sector agropecuario enfrenta grandes desafíos en la producción de alimentos, se estima que la demanda mundial para el año 2050, deberá duplicarse. En este mismo año se estima que la población mundial alcanzara 9 mil millones de habitantes lo que agrava aún más la actual escasez de alimentos. Estudios recientes indican que la demanda de alimentos crece a una tasa constante del 4% anual. Unos de los grandes retos que enfrenta la humanidad son: mejorar los sistemas productivos de los cultivos, la productividad de la mano con la generación de bienestar de los productores agrícolas (Liao and Brown, 2018).

La agricultura es la clave para alcanzar la sostenibilidad del planeta, aliviar la pobreza y reducir la pérdida y degradación del hábitat. La tecnología agrícola ha aumentado significativamente la producción con base en los monocultivos. Las prácticas convencionales están llegando a márgenes de agricultura no sustentable, caracterizada

por una alta contaminación ambiental, degradación de los recursos naturales, uso exagerado de agroquímicos, insumos y energía, además por una baja o inexistente rentabilidad. El proceso productivo tiene que ser reorientado, implementándose un enfoque agroecológico más ligado al medio ambiente y más sensible socialmente, en el cual se promueva el diseño de agroecosistemas sustentables con visión integradora.

El principal objetivo de esta ponencia es presentar los resultados del análisis de metodologías reportadas para evaluar la agrobiodiversidad, proponiendo el Índice Irag, que según los resultados preliminares es una alternativa novedosa para reorientar el diseño de los agroecosistemas, en respuesta a los disturbios ambientales asociados con la variabilidad y cambio climático.

4. PROBLEMÁTICA

4.1 Planteamiento del problema: Los sistemas productivos tanto agrícolas como pecuarios, se ven afectados por la ocurrencia de eventos externos de origen natural como antrópico. Una característica emergente de estos sistemas es la *resiliencia*, la cual en diferentes metodologías han sido evaluadas en forma lineal. El presente trabajo propone por primera vez una metodología para analizar la agrobiodiversidad considerando la complejidad de los sistemas abiertos y alejados del equilibrio.

4.2 Planteamiento de la hipótesis: Un sistema complejo con mayor agrobiodiversidad, tiene mayor resiliencia ante la ocurrencia de disturbios

Los cítricos a pesar que se originaron en el continente asiático, en Colombia presentan un amplio rango de adaptación altitudinal. Se siembran en gran variedad de pisos térmicos dando lugar a cultivares con diferentes niveles de productividad y rentabilidad.

Los beneficios generados por la producción citrícola han sido de carácter **ambiental** recuperando potreros de ganadería extensiva como lo mencione anteriormente **laboral**, dando lugar a la generación de empleos directos e indirectos: 1 hectárea genera 3 empleos directos y 25 indirectos; **comercial**, con la activación de mercados locales, permitiendo la participación en mercados competitivos; **financiero**, generando rentabilidad y **social**, activando las relaciones socioeconómicas y mejorando las condiciones de vida de las comunidades locales.

En las últimas décadas se están presentando amplias y marcadas diferencias en cuanto a la productividad, con un rango entre 10 a 40 t*ha⁻¹ asociado con la disminución de la vida útil del cultivo, originando graves señales de desabastecimiento a nivel nacional que se expresa con el aumento de las importaciones y precios, a pesar que el análisis financiero demuestra adecuada rentabilidad (Cleves y Jarma, 2014).

El problema a investigar se soporta en la siguiente pregunta de investigación: *¿Las afectaciones que se están presentando en los cultivos son de carácter ecosistémico o cultural?*

5. METODOLOGIA

Para dar respuesta a esta inquietud en el año 2012 se efectuó la caracterización tipificación y clasificación de los sistemas de producción citrícola, estructurándose una encuesta como una herramienta idónea de captura de información, la cual se aplicó en los municipios de Lejanías, Villavicencio, Guamal, Granada y Puerto López. En conjunto representan el 78.4% del área de siembra y en es donde se obtiene más del 92 % del volumen de producción. En total se encuestaron 51 predios, cubriéndose un área de 650,8 ha, equivalente al 12% de la superficie total de siembra en su momento.

Con la información se construyó una base de datos a la cual se le aplicó un análisis estadístico de tipo multivariado, estructurándose 6 grupos de agricultores o dominios de recomendación cada uno de ellos con atributos y necesidades particulares que deben ser atendidas en forma prioritaria.

Para analizar la incidencia de las variables climatológicas sobre la productividad se desarrolló un análisis de las variables climatológicas **temperatura** (máxima, mínima y media) y **precipitación** en una ventana de observación de 30 años con la serie de los principales indicadores de los fenómenos macro climáticos del Océano Pacífico y de la Amazonia: Temperatura Superficial del Mar (TSM) en las diferentes regiones “El Niño”; Índice Oceánico El Niño (ONI); Índice Multivariado El Niño (MEI) y el Índice del Dipolo del Amazonas (ARH) con influencia en la zona de estudio.

Se observó que la intensidad de las anomalías de la lluvia por debajo de lo normal, son más intensas que las anomalías por encima de lo normal, con un ciclo de siete años, por otra parte, Las series de temperatura máxima mostraron tendencia incremental de $0,03^{\circ}\text{C}\cdot\text{año}^{-1}$.

Una vez se constató la incidencia de las variables climáticas se procedió a analizar la capacidad de adaptación y de respuesta de los sistemas abiertos es decir los agroecosistemas ante la incidencia en este caso de las oscilaciones climáticas, a esta característica emergente se denomina **resiliencia**

Termino que inicialmente fue acuñado por la ingeniería para referirse al atributo de recuperación que presentan los materiales una vez cesa la fuerza de deformación, posteriormente el termino fue usado por los psiquiatras para referirse a la capacidad de superación que tienen algunos seres humanos ante la ocurrencia de duelos, posteriormente algunos ecólogos usaron esta palabra para referirse a la capacidad de adaptación que presentan alguno ecosistemas de resistir a la ocurrencia de disturbios

Para analizar la resiliencia de los sistemas citrícolas se procedió a proponer la metodología denominada Índice de Resiliencia Agroecosistémico, cuyos resultados se indican a continuación.

6. RESULTADOS

6.1 Desarrollo conceptual y epistemológico de la resiliencia.

Originalmente, este concepto fue acuñado por los físicos para referirse a la cualidad de elasticidad y plasticidad de algunos materiales. En psicología el término se usó para referirse a la capacidad de sobreponerse a las adversidades (Werner y Smith, 1955).

Holling, (1973) fue pionero en proponer este concepto, y la definió como “una medida de la persistencia de los sistemas y de su capacidad para absorber los cambios y las perturbaciones y aún mantener las mismas relaciones entre las poblaciones o las variables de estado”, diferenciándola del concepto de estabilidad, que “representa la capacidad de un sistema para volver a un estado de equilibrio después de una perturbación temporal; cuanto más rápido regrese y cuanto menos fluctúe, más estable será”.

En biología el significado se introdujo cuando ecologistas empezaron a cuestionar porqué frente la ocurrencia de una perturbación, determinados ecosistemas colapsaban y otros no, (Greene y Conrand, 2002).

Folke (2006), definió la resiliencia como una medida de la capacidad de absorción de los cambios generados, presentándose movimientos cíclicos (lentos y rápidos) inclusive cruzados denominados panarquía, identificando a la adaptación como el mecanismo claves de la resiliencia, (Gunderson y Holling, 2002; Walker *et al.*, 2004; Gotts, 2007), reconociendo la importancia de la incertidumbre en los anteriores procesos (Darnhofer, 2009; Darnhofer *et al.*, 2010).

Existe un número mayor de definiciones, no obstante, todas convergen en que la resiliencia es una propiedad emergente, que les permite al sistema implementar acciones de adaptación en respuesta a la influencia de disturbios. Esta característica de los sistemas abiertos, es objeto de investigación de grupos interdisciplinarios de científicos por las repercusiones ambientales, económicas y sociales de los fenómenos hidroclimáticos, los cuales son cada vez más recurrentes e intensos (Cleves *et al.*, 2017).

6.2 Modelos que analizan la resiliencia

La evaluación de la resiliencia es una actividad que incluye el análisis de la complejidad de las interrelaciones ecosistémicas y culturales que definen a los agroecosistemas. Esta

labor ha sido abordada recientemente con no más de una década de antigüedad y, por lo menos a nivel Latinoamericano, se ha realizado a través de Índices que intentan capturar la mayor cantidad posible de variables. Son varias las metodologías disponibles para evaluar la resiliencia de los agroecosistemas, en los párrafos siguientes se presenta un breve recuento de las principales metodologías propuestas, entre las que se puede mencionar las siguientes:

6.2.1 Modelo FAO's Resilience Index Measurement and Analysis (RIMA): Propuesto y desarrollado por la FAO y conocido por sus siglas en inglés como FAO's Resilience Index Measurement and Analysis (RIMA), fue utilizado para evaluar la seguridad alimentaria en varios países africanos: Etiopía, Kenia, Sudan y Somalia (FAO, 2012). En este contexto la evaluación de la resiliencia ayuda a comprender y apoyar la capacidad de los hogares (unidad básica del sistema alimentario), para recuperarse de los eventos naturales y sociales.

El modelo propone dos grandes dimensiones: físicas y capacidad de respuesta, las cuales agrupa en una ecuación con nueve indicadores sin ponderación, que posteriormente son modelados y analizados.

6.2.2 Índice de riesgos socioecológicos (IRSE): el modelo propone dos dimensiones: físicas y capacidad de respuesta, agrupándolas en una ecuación con nueve indicadores sin ponderación. Este método evalúa la resiliencia socioecológica, definida como la capacidad de los sistemas humanos de reorganizar sus relaciones para mantener su existencia (Barrera *et al.*, 2011). Esta metodología es específica para evaluar la resiliencia de grupos humanos en referencia a su origen y etnia, así como para la creación de memoria social sobre la ocurrencia de eventos extremos, para hacer frente a futuras perturbaciones similares. A este atributo de los sistemas socioecológicos Folke, (2006), lo denominó resiliencia socioecológica.

Este índice fue ajustado por Montalba *et al.*, (2013); Montalba *et al.*, (2015), en sistemas campesinos de Chile, relacionados con riesgos ambientales generados por el cambio climático. Para determinar el IRSE, los autores propusieron tres elementos: la amenaza (probabilidad de ocurrencia de un evento), la vulnerabilidad (capacidad de ajuste según la intensidad y naturaleza del disturbio) y la capacidad de respuesta (en función de los atributos del sistema y de los manejos culturales implementados por los agricultores para reducir los riesgos de los eventos climáticos) con el fin de resistir, adaptarse o recuperarse de los daños causados por los eventos extremos.

6.2.3 Índice Holístico del Riesgo (IHR): Conocido como medición de resiliencia agroecológica en sistemas socioecológicos, esta metodología es una adaptación a la propuesta de White (1974), para las investigaciones sociales de desastres, aplicada por Henao (2013), con base en la metodología de Altieri *et al.*, (2012), que compara prácticas de manejo cultural con enfoque agroecológico y convencional, utilizando una mezcla de métodos empíricos y evaluación agroecológica rápida. En forma similar a la metodología

anterior, evalúa amenazas a eventos climatológicos, vulnerabilidades y capacidad de respuesta. el riesgo se indica en la siguiente relación (Ecuación 1).

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} * \text{Amenaza} / \text{Capacidad de Respuesta} \text{ (Ec. 1).}$$

Según la evaluación de vulnerabilidad, cada indicador se sitúa en “semáforo” proponiendo acciones correctivas, asignando valor numérico en la escala de 1 a 5 de la siguiente manera: 1(verde), 3 (amarillo) y 5 (rojo). La principal limitación del IHR es que no logra identificar las variables con mayor peso específico debido a que no presenta ponderación de las mismas.

6.2.4 Metodología de evaluación de la resiliencia en sistemas agroecológicos y convencionales: evalúa 6 indicadores físicos de vulnerabilidad y 13 indicadores de la capacidad de respuesta, sin ponderación (Henaó, 2013).

6.2.5 Metodología REDAGRES: propuesta por Altieri *et al.*, (2012), evalúa sin ponderar factores ecosistémicos y culturales agrupados en 55 criterios: 4 físicos, 5 de suelos, 8 de manejo de aguas, 9 de diversidad biológica, 13 sobre aspectos sociales, 7 de aspectos económicos, 6 institucionales, 3 de nivel tecnológico. Es una sumatoria directa en una escala de 1, 3, 5 dónde 1 indica baja y 5 alta resiliencia. Finalmente, se presentan los resultados en forma de semáforo para la priorización de futuras actividades o prácticas de manejo.

6.2.6 Metodología REDAGRES modificada: propuesta por Córdoba y León (2013) evaluaron la resiliencia en agroecosistemas cafeteros convencionales y agroecológicos en el municipio de Anolaima (Cundinamarca). Analizaron 64 criterios, efectuando modificaciones a la metodología REDAGRES al incluir nuevos parámetros en los rasgos culturales, sociales, económicos, así como en las prácticas de manejo de aguas y suelos. En forma análoga a la metodología de REDAGRES, consideraron las variables con el mismo peso específico o importancia, es decir, sin ponderación. De manera similar, la priorización de los resultados se presenta en formato de semáforo, proponiendo futuras medidas de manejo.

6.2.7 Metodología para evaluar la Estructura Agroecológica Principal (EAP): evalúa cinco atributos ecosistémicos y cinco culturales con el mismo peso específico/componente, es decir sin ponderación (Cleves *et al.*, 2018; Cleves, 2018A).

6.2.8 Metodología para el diagnóstico de la complejidad de la biodiversidad: se evalúan sin ponderar 64 indicadores, agrupados en las siguientes categorías: 18 indicadores de biodiversidad productiva, 7 edáficos, 5 hídricos, 5 manejo fitosanitario, 14 de biodiversidad auxiliar y 14 de biodiversidad asociada (Vásquez, 2013).

6.2.9 Metodología para evaluar el Índice de Sensibilidad de los Recursos Naturales a la sequía (SRNs): la capacidad de resiliencia del sistema de producción de determinó

mediante indicadores agroecológicos sin ponderación para estimar la sensibilidad a la sequía de los recursos edáficos, hídricos, animales y cultivos (Vásquez *et al.*, 2019).

Las anteriores metodologías consideran que los componentes del sistema ante la ocurrencia de un disturbio tienen capacidad de respuesta idéntica, es decir lineal, lo cual no es cierto, los componentes de cualquier sistema tienen atributos diferenciales, propios y están asociados a su composición o a su propia naturaleza. Se pudo también constatar que algunos componentes son redundantes es decir están en forma simultánea en varias categorías con diferente nombre. En forma simultánea, se pudo evidenciar que las metodologías en su conjunto tienen elevado número de componentes y variables sintéticas sin ponderación alguna lo cual dificulta el análisis, su ajuste y posterior aplicabilidad. Para corregir estas deficiencias conceptuales y metodológicas anteriormente descritas, se propuso el índice IRAg, cuya metodología se describe a continuación:

6.3 Desarrollo de la metodología Irag

Con el fin de obtener una herramienta de evaluación más integral y que se encuentre soportada de manera conceptual en las relaciones ecosistema-cultura o sociedad-naturaleza y teniendo en cuenta la complejidad, al igual que la acción del azar y de la incertidumbre. El principal aporte metodológico, es la utilización de indicadores cualitativos y cuantitativos generados a partir del análisis ponderado de los principales atributos, de los sistemas agrícolas, reconociendo la influencia de la incertidumbre. La metodología pretende también disminuir la subjetividad del evaluador, identificando los ajustes requeridos para fortalecer los componentes del sistema con algún grado de afectación, de tal manera que se pueda garantizar la producción y la conservación de los recursos.

6.3.1 Estructura metodológica. Con base en los lineamientos metodológicos estructurales propuestos por Dee & Baker (1973); Canter & Sadler, (1997); Canter (2000); Toro *et al.*, (2013); Arrieta *et al.*, (2016); Caro & Toro (2016), la metodología para el cálculo del IRAg se compone de las siguientes fases: i) *Selección de las categorías, componentes y parámetros*; ii) *Ponderación de las categorías, componentes y parámetros*; iii) *Asignación de las escalas de interpretación de los parámetros* iv) *Ecuación para el cálculo del Índice de Resiliencia Agroecosistémico IRAg*, y finalmente v) *Interpretación del Índice de Resiliencia Agroecosistémico (IRAg)*.

6.3.1.1 Selección de las categorías, componentes y parámetros: Con base en la revisión de las metodologías precedentes, se construyó una estructura jerárquica del ambiente constituida por 13 componentes que agrupa 40 parámetros, ordenados en cinco categorías: i) Ecofisiológicas, ii) Bióticas, iii) Socio-culturales, iv) Económicas y v) Tecnológicas.

6.3.1.2 Ponderación de categorías, componentes y parámetros: el proceso de ponderación justifica y a la vez se fundamenta comprendiendo que los componentes del sistema tienen una respuesta diferencial ante la ocurrencia de un disturbio (Pratt *et al.*, 2004) y se efectuó aplicando la metodología Delphi (consulta a expertos), esta metodología es útil para recolectar información de expertos sobre un tema específico en forma sistemática y ordenada (Dalkey y Helmer, 1963; Martínez, 2003; Vélez-Pareja, 2003; Yu-Chun *et al.*, 2007; Hsu y Sandford. 2007; Lee *et al.*, 2008).

Para el desarrollo de este proceso fueron consultados 30 profesionales idóneos con más de 15 años de experiencia laboral y académica en las áreas de suelos, fitoprotección de cultivos, fisiología vegetal, fitomejoramiento, producción animal, economía agrícola, sociología rural y administración de empresas agropecuarias. Con base en análisis propio y revisión de literatura, a estos profesionales usando la plataforma de Google® se les enviaron sendas encuestas en las cuales se les proponían valores de ponderación, ellos los revisaban y modificaban según su criterio.

En una segunda ronda se les remitían los resultados previos y de nuevo los valores fueron ajustados, obteniéndose las ponderaciones ajustadas para cada componente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ponderación de las categorías, componentes y parámetros.

Categoría	Ponderación Propuesta %	Ponderación Ajustada %	Componente	Parámetro	Propuesta de Ponderación	Ponderación Ajustada
Eco fisiológica (31)	30	31	Suelo (18)	Pendiente %	2,00	1,87
				Tipo de erosión	2,00	2,04
				Drenaje	2,00	2,00
				Profundidad	2,00	1,87
				Fertilidad	2,00	2,30
				Usos del Suelo (US)	5,00	4,91
			Agua (13)	Prácticas de Conservación de Suelos	3,00	3,13
				Disponibilidad	6,00	5,74
				Calidad	4,00	4,17
				Prácticas de Conservación de Aguas	3,00	3,17
Biótica (15)	18	15	Agrobiodiversidad y conectividad (15)	Conexión con Estructura Ecológica Principal del Paisaje (CEEP)	5,00	5,00

INDICE DE RESILIENCIA AGROECOSISTÉMICO (IRAG): METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA AGROBIODIVERSIDAD.

Categoría	Ponderación Propuesta %	Ponderación Ajustada %	Componente	Parámetro	Propuesta de Ponderación	Ponderación Ajustada
				Extensión de Conectores Externos (ECE)	2,00	1,91
				Diversidad de los Conectores Externos (DCE)	3,00	3,13
				Extensión de los Conectores Internos (ECI)	2,00	1,96
				Diversidad de los Conectores Internos (DCI)	3,00	3,13
Sociocultural (26)	18	26	Capacidades (9)	Otras Prácticas de manejo (OP)	3,00	2,87
				Percepción-Conciencia (PC)	3,00	2,91
				Capacidad para la Acción (CA)	3,00	3,00
			Servicios públicos y Seguridad Social (3)	Disponibilidad de agua potable	1,00	1,00
				Disponibilidad de energía	1,00	1,00
				Atención de Salud	1,00	1,00
			Vivienda (1)	Calidad	1,00	1,00
			Estructura del predio (8)	Tenencia	4,00	4,30
				Tamaño	4,00	3,65
			Competencias (5)	Capacitación	2,00	1,87
				Escolaridad	1,00	0,98
				Organización	2,00	2,20
Económico 16	16	16	Capacidad Financiera (9)	Capacidad Ahorro	2,00	2,30
				Productividad	6,00	5,39
				Disponibilidad y acceso al crédito	1,00	1,30
			Mercado (7)	Destino final de la Producción	2,00	2,26
				Articulación Gremial	1,00	1,30
				Generación de Valor Agregado	4,00	3,43
Tecnológico 12	18	12	Práctica (7)	Prácticas Culturales	3,00	2,87
				Prácticas de Poscosecha	3,00	2,83
				Manejo de Arvenses (MA)	1,00	1,17
			Asistencia técnica (2)	Disponibilidad	1,00	1,00
				Tipo	1,00	1,00

INDICE DE RESILIENCIA AGROECOSISTÉMICO (IRAG): METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA AGROBIODIVERSIDAD.

Categoría	Ponderación Propuesta %	Ponderación Ajustada %	Componente	Parámetro	Propuesta de Ponderación	Ponderación Ajustada
			Manejo información (3)	Climática	2,00	1,96
				Registros de Admón.	1,00	1,04
Total	100	100	100		100	100

Fuente: Cleves *et al.*, 2022; Cleves, 2022.

Se puede observar que los expertos otorgaron mayor peso específico a las variables agrupadas en la categoría ecofisiológica (31%), destacándose la disponibilidad del recurso hídrico (5,74) así como la calidad del agua para riego (4,17), que se explica por el papel fundamental e irremplazable del agua en todos los procesos bióticos. En el componente edáfico sobresale el uso del suelo US (4,91), parámetro que asocia los tipos de cultivo (mono o policultivo) con los sistemas de cultivo (ordenamiento espacial y temporal). El diseño de los agroecosistemas, así como la disponibilidad de agua son características definitivas en la capacidad de resiliencia de los sistemas agrícolas.

La segunda categoría con mayor peso específico fue la sociocultural con 26 unidades, integra la capacidad de respuesta de los agricultores, con la disponibilidad de servicios e infraestructura.

Se destaca el tipo de tenencia de la tierra (4,30) ya que un arrendatario no tiene los mismos intereses de conservación que un propietario. También sobresale el tamaño del predio (3,65) que expresa las dificultades que enfrentan los pequeños agricultores al hacer uso intensivo del área de su finca, limitando la rotación de cultivos y las prácticas de conservación, aspectos relevantes en la capacidad de respuesta ante los efectos de la variabilidad climática.

Continúa la categoría económica, asociada con la disponibilidad de crédito y la generación de excedentes económicos que permitan la introducción de mejoras tecnológicas, el aumento de la productividad (5,39) y la generación de valor agregado (3,43).

La conectividad y agrobiodiversidad (EAP) como expresión de la categoría biótica, demuestra la importancia de mejorar a nivel de conectividad del agroecosistema menor (lote) con el paisaje circundante. Los expertos le asignaron a esta categoría 15%.

En la categoría tecnológica sobresale el manejo de la información climática a nivel predial (1,96), aspecto en el cual diferentes instituciones están trabajando con mayor intensidad en los últimos años, aunque con recursos limitados.

6.4 Aportes metodológicos del Irag

Entre los aportes metodológicos se pueden destacar los siguientes:

6.4.1 Asignación de escalas interpretativas a los parámetros.

A cada parámetro se le asignó en una escala interpretativa cualitativa con el fin de facilitar su interpretación, con valores comprendidos entre 1, 3, 5; donde la calificación 5 está asociada con atributos de alta resiliencia, 3 a mediana resiliencia y 1 baja resiliencia (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escala de interpretación de los parámetros.

Categoría	Resiliencia		
1. Ecofisiológica	Alta (5)	Mediana (3)	Baja (1)
Pendiente %	≤ 4	4-10	≥ 10
Tipo de erosión	Baja	Media	Alta
Drenaje del suelo	Óptimo	Mediano	Limitado
Profundidad efectiva del suelo	Alta	Media	Baja
Fertilidad y su manejo	Alta	Media	Baja
Uso del suelo del suelo (US)	6-10	3-6	≤ 3
Prácticas de conservación de suelos	Si	Ocasional	No
Disponibilidad de agua para riego	Óptima	Regular	Deficiente
Calidad de agua y tipo de riego	Óptima	Regular	Deficiente
Prácticas de conservación de aguas	Si	Ocasional	No
2. Biótico	Alta (5)	Mediana (3)	Baja (1)
Conexión con la Estructura Ecológica Principal del Paisaje (CEEP)*	6-10	3-6	≤ 3
Extensión de conectores externos (ECE)	6-10	3-6	≤ 3
Diversidad de conectores externos (perímetro) (DCE)	6-10	3-6	≤ 3
Extensión de conectores internos (ECI)	6-10	3-6	≤ 3
Diversidad de conectores internos (DCI)	6-10	3-6	≤ 3
3. Sociocultural	Alta (5)	Mediana (3)	Baja (1)
Otras prácticas de manejo (OP)	6-10	3-6	≤ 3
Percepción-conciencia (P-C)	6-10	3-6	≤ 3
Capacidad para la acción (CA)	6-10	3-6	≤ 3
Disponibilidad de agua	Acueducto	Pozo	Rio
Disponibilidad de energía	Si	Ocasional	No

INDICE DE RESILIENCIA AGROECOSISTÉMICO (IRAG): METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA AGROBIODIVERSIDAD.

Categoría	Resiliencia		
	Si	Ocasional	No
Atención de salud	Si	Ocasional	No
Calidad de la vivienda: infraestructura.	Alta	Media	Baja
Formas de tenencia de Predio.	Propia	Arrendada	Aparcero
Tamaño del predio vs UAF	≥	Igual	≤
Capacitación	Si	Ocasional	No
Grados de escolaridad	Alto	Medio	Bajo
Participación en organizaciones	Alto	Medio	Bajo
4. Económica	Alta (5)	Mediana (3)	Baja (1)
Capacidad de ahorro.	Si	Ocasional	No
Productividad.	Alta	Media	Baja
Disponibilidad y acceso al crédito.	Si	Ocasional	No
Destino final de la producción	Nacional	Regional	Local
Articulación gremial: mercadeo.	Si	Ocasional	No
Generación de valor agregado	Si	Ocasional	No
5. Tecnológica	Alta (5)	Mediana (3)	Baja (1)
Tipo de prácticas culturales (manejo)	Si	Ocasional	No
Manejo de integrado de arvenses (MA)	6-10	3-6	≤ 3
Prácticas de poscosecha.	Si	Ocasional	No
Disponibilidad de asistencia técnica.	Si	Ocasional	No
Tipo de asistencia técnica.	Pública	Privada	Almacenes
Manejo de información climática.	Si	Ocasional	No
Teneduría registros administrativos	Si	Ocasional	No

Fuente: Cleves *et al.*, 2022; Cleves, 2022.

6.4.2 Ecuación para el cálculo del Índice de Resiliencia Agroecosistémico (IRAg).

El Índice de Resiliencia Agroecosistémico (IRAg) se calcula a partir de una ecuación (Eq. 1) cuyos términos corresponden a las cinco (5) categorías, que agrupan a su vez los cuarenta (40) parámetros que constituyen el agroecosistema. Cada parámetro fue ponderado teniendo en cuenta su resiliencia potencial, las ponderaciones fueron derivadas, a partir de los resultados obtenidos en dos rondas continuas de consultas a expertos. La suma de la ponderación de cada grupo de parámetros corresponde a la ponderación de cada categoría, En la Tabla 1 se presenta de manera detallada las ponderaciones de cada uno de las categorías, componentes y parámetros. El análisis del índice IRAg, se indica en la Ecuación 2.

$$\text{IRAg} = [(31*\text{Ecof.}) + (16*\text{Eco.}) + (15*\text{Biót.}) + (26*\text{Soc.}) + (12*\text{Tec.})] \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: **R** = Resiliencia; **Ecof** = Componente Ecofisiológico; **Eco** = Componente Ecosistémico; **Biót.** = Componente Biótico; **Soc** = Componente Socio-cultural; **Tec** = Componente Tecnológico

7. RESULTADOS. Interpretación del Índice de Resiliencia Agroecosistémico (IRAG).

El Índice IRAg corresponde a la suma (ponderada) de 40 parámetros, generando un resultado de 100 unidades y cada resultado se evalúa en una escala comprendida entre 1, 3 o 5; por lo tanto, la calificación obtenida estará en un rango comprendido entre 100 y 500, que se interpreta de acuerdo a los parámetros presentados en el cuadro 3.

Cuadro 3. Interpretación del Índice de Resiliencia Agroecosistémico (IRAG).

Calificación IRAg	Interpretación Resiliencia	Observaciones
100-250	Baja	Es necesario efectuar ajustes en el diseño en los componentes ecosistémicos que denoten una menor cualificación, mediante la implementación de prácticas de manejo cultural, que promuevan la innovación y ajuste en el diseño de las categorías, componentes y parámetros, que presenten mayores limitaciones.
251-350.	Media	El agroecosistema dispone de categorías, componentes y parámetros con capacidad media de respuesta adaptativa al disturbio, la cual se debe fomentar o como mínimo mantener.
351-500.	Alta	El sistema agrícola o pecuario dispone de categorías, componentes y parámetros con alta capacidad de responder y adaptarse al disturbio de origen ecosistémico o cultural, de tal manera que puede seguir funcionando, pero requiere fortalecer continuamente sus componentes.

Fuente: Cleves *et al.*, 2022; Cleves, 2022.

8. CONCLUSIONES

- La ponderación de las variables permite priorizar las actividades tendientes a conservar la estructura y función productiva de bienes y servicios de los agroecosistemas. La Resiliencia está vinculada con la agrobiodiversidad.
- Los agroecosistemas más agrobiodiversos (policultivos) disponen de mayor capacidad de respuesta ante los disturbios ambientales y culturales.
- El análisis del Irag, permite disponer de información útil para ser implementada a nivel territorial por los tomadores de decisiones e instituciones para el fomento de la labor productiva de los agricultores, incrementando el arraigo y relevo generacional en el sector agropecuario.

9. BIBLIOGRAFIA

Arrieta, G., Requena, I., Toro, J & Zamorano M. (2016). Adaptation of EVIAVE methodology for monitoring and followup when evaluating the environmental impact of landfills. In: *Environmental Impact Assessment Review*. (56), pp: 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.10.001>

Barrera, J., Gamboa, W., Gómez, J., Valle, J. (2011). Método Holístico para la toma de decisiones en manejo de plagas. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Tapachula, Chiapas, México.

Canter, L., Sadler, B. (1997). A tool kit for effective EIA practice: review of methods and perspectives on their application. A supplementary report of the international study of the effectiveness of environmental assessment., 1st ed. Environmental and Ground Water Institute, University of Oklahoma, Institute of Environmental Assessment, UK, International Association for Impact Assessment, USA.

Canter L. (2000). Manual of environmental impact assessment: techniques for the preparation of EIS (in Spanish). Second ed. Edit: McGraw-Hill, Bogotá.

Caro, A. & Toro, J. (2016). Effectiveness Index for Environmental Impact Assessment Methodologies. In: *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, (203), pp: 73-86. <https://doi.org/10.2495/EID160071>

Cleves-Leguizamo, J.A.; Jarma-Orozco, A. (2014). Characterization and typification of citrus production systems in the department of Meta. *Agron. Colomb.* 32, pp: 113–121. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.42164>

Cleves-Leguizamo, J. A.; Toro, J.; Martínez, L. y León, T. (2017). La Estructura Agroecológica Principal (EAP): Novedosa herramienta para planificación del uso de la tierra en agroecosistemas. En *Rev. Colomb. Cienc. Hortícolas*. 11, pp: 441-449. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7350>

Cleves-Leguizamo, J.A. (2018). Avances conceptuales y metodológicos de la Estructura Agroecológica Principal (EAP). Sello editorial U.P.T.C. Tunja

Cleves-Leguizamo, J.A. (2018A). Resiliencia de agroecosistemas cítricos a la variabilidad climática, en el departamento del Meta, Colombia. Tesis doctorado en Agroecología. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. <bdigital.unal.edu.co/64564/1/2131563035.2018.pdf>

Cleves-Leguizamo, J.A., Youkhana, E. Toro, J. (2022). A Method to Assess Agroecosystem Resilience to Climate Variability. *Rev. Sustainability* (14), pp: 8588. <https://doi.org/10.3390/su14148588>

Cleves-Leguizamo, J.A. (2022). Caracterización agroecológica y resiliencia de sistemas cítricos en el departamento del Metra, Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia, colección Techné, 251P.

Córdoba, C.; León, T. (2013) Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca-Colombia). *Agroecología* 8, pp: 21-32.

Dalkey N. & Helmer O. (1963). An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts. *Management Science*, (9), 3. Pp: 458-467.

Darnhofer, I. (2009). Strategies of family farms to strengthen their Resilience. Presented at the 8th International Conference of the European Society for Ecological Economics, in Ljubljana (Slovenia).

Darnhofer, I., Fairweather, J. & Moller, H. (2010). Assessing a farm's sustainability: Insights from resilience thinking. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 8(3) pp: 186-198. <http://dx.doi.org/103763/ijas.2010.0480>.

Dee, N. & Baker, N. (1973). Environmental evaluation system for water resource planning. *Water Resources Research*, (9), pp: 523-535.

FAO. 2012. Resilience Index. Measurement and Analysis Model. 13p.

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems Analysis. *Global Environmental Change* 16(3), pp: 253-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>

Gotts, N. (2007). Resilience, panarchy, and world-systems analysis. In Magazine *Ecology and Society* 12(1), pp: 9-24. <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art24/>

Greene, R y Conrand, A. 2002. Basics assumptions and terms. En R. Greene (edit.). Resiliency. An integrated approach to practice, policy and research. Washington, DC. Nasw press.

Gunderson, L. & Holling, C. (2002). (Editors). Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems, Ed. Island Press, Washington D.C., USA, pp: 1-60.

Henao, A. (2013). Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas Socioecológicos: un estudio de caso de los andes colombianos. *Agroecología* 8(1) pp: 85-91.

Hsu C. & B, Sandford. (2007). Delphi Technique. In: *Rev. Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12(2). The Ohio State University, 8 p.

Lee, Y. F., Altschuld, J. W., & Hung, H. L. (2008). Practices and challenges in educational program evaluation in the Asia-Pacific region: Results of a Delphi study. *Evaluation and Program Planning*, 31(4), 368-375.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2008.08.003>

Liao, Ch., Brown, D. (2018). Assessments of synergistic outcomes from sustainable intensification of agriculture need to include smallholder livelihoods with food production and ecosystem services. *Environmental Sustainability*, (32), pp: 53-59.

<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.04.013>.

Martínez, E. (2003). La Técnica Delphi, estrategia de consulta a los implicados en la evaluación de programas. *Rev. Investigación Educativa* 2(2), pp: 449-463.

Montalba, R., Fonseca, F., García, M., Vieli, L., Altieri, M. (2013). Determinación de los niveles de riesgo socioecológico ante sequías en sistemas agrícolas campesinos de La Araucanía chilena. Influencia de la diversidad cultural y la agrobiodiversidad. *Revista de Sociología Papers* 100(4) pp: 607-624. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/papers.2168>.

Montalba, R., García, M., Altieri, M., Fonseca, F., Vieli, L. (2015). Utilización del índice holístico de riesgo (IHR) como medida de resiliencia socioecológica a condiciones de escasez de recursos hídricos. Aplicación en comunidades campesinas e indígenas de la Araucanía, chilena influencia de la diversidad cultural y la agrobiodiversidad. *Revista de Sociología Papers*, 100(4) pp: 625-650. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/papers.2168>

Toro, J., Requena, I., Duarte, O. & Zamorano, M. (2013). A qualitative method proposal to improve environmental impact assessment, *Environmental Impact Assessment Review*, (43), pp: 9-20. <http://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.04.004>.

Vázquez, L. (2013). Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Agroecología* 8(1), pp: 33-42,

Vázquez, L. (2017). Funciones de resiliencia: Base para la gestión agroecológica de sistemas de producción agropecuaria expuestos a sequía. En: CI Nicholls y MA Altieri *Nuevos caminos para reforzar la resiliencia agroecológica al cambio climático*. Berkeley, California. pp. 12-17.

Vélez-Pareja, I. (2003). The Delphi Method. Available at Social Science Research Network. <http://ssrn.com/abstract=420040>

Yu-Chun Ch.; Chia-Jui H.; Williams G. & Mei-Ling P. (2007). Low cost carrier's destination selection using a Delphi method. *Tourism Management* (29), pp: 898-908.