



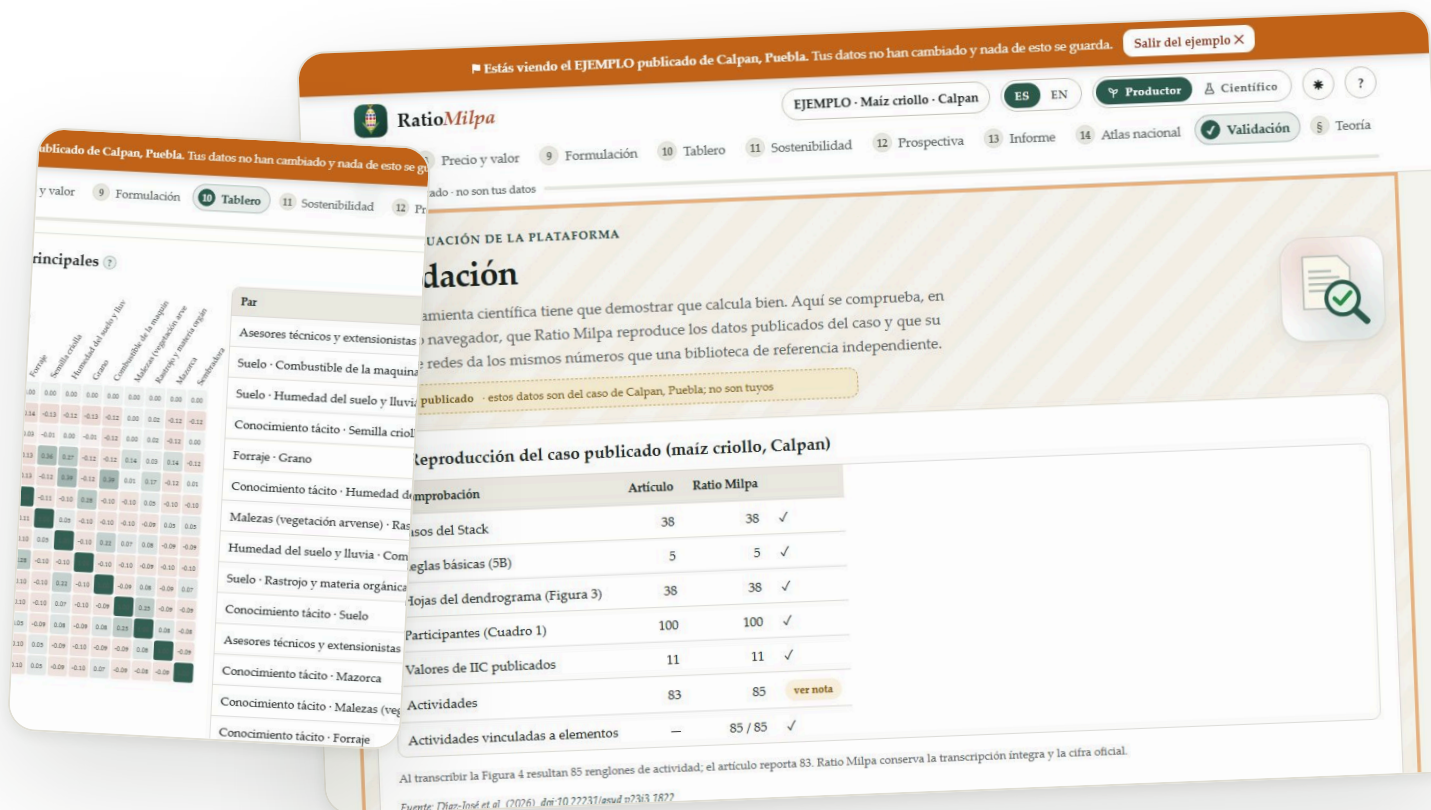
El saber local como *sistema complejo adaptativo*: **modelo, ecuaciones y evidencia**

Documentación técnica de Ratio Milpa para investigación y docencia: el modelo de datos, la red ponderada y su estadística, el cladograma, los índices de sostenibilidad, regeneración y riesgo, la prospectiva, la validación frente a NetworkX y SciPy, y cómo reproducir cada número.

1.ª edición · octubre de 2026 · describe Ratio Milpa 0.1.0
DOI 10.5281/zenodo.23433192 · Texto CC BY 4.0 · app MIT

Héctor Tecumshé Mojica-Zárate · Oscar Díaz-José

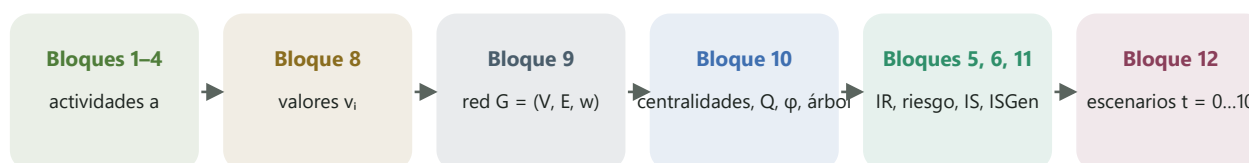
Para el uso paso a paso, consulta el Instructivo del Productor.



P Alcance, procedencia de los datos y convenciones

Ratio Milpa representa una unidad de producción agrícola o pecuaria como un sistema complejo adaptativo (Holland, 1995): sus elementos son nodos y sus actividades de manejo, los vínculos. Sobre esa red calcula centralidades, comunidades, correlaciones y un cladograma; evalúa la sostenibilidad, la regeneración y el riesgo; y proyecta escenarios a 2, 5 y 10 años. Todo ocurre en el navegador, en un solo archivo HTML sin dependencias externas.

Datos del usuario o del caso publicado → modelo → indicadores. Todo se recalcula al cambiar cualquier dato.



Cada valor conserva su origen: ● dato publicado · ♦ lectura de Ratio Milpa · supuesto editable · sin dato

FIGURA P.1 El flujo de cálculo. De las actividades al resto de los indicadores.

Procedencia de cada valor

ETIQUETA	SIGNIFICADO
● Dato publicado	Tomado de una fuente citada: Díaz-José et al. (2026), Mojica Zárate (2017), INEGI (2020), CONABIO (2020), IPCC (2006, 2018, 2019), Zhao et al. (2017).
◆ Lectura de Ratio Milpa	Regla, agrupación o valor propuesto por la app (por ejemplo, el vínculo actividad–elemento, los perfiles de impacto, los cortes de clase). Editable.
Supuesto	Parámetro de escenario sin base publicada (precios, costos, mano de obra, factores de reducción del riesgo). Editable y marcado.
Sin dato	El dato no existe en las fuentes ni lo capturó el usuario. La app no lo imputa.

CASO DE REFERENCIA	Maíz criollo, San Andrés Calpan, Puebla (21026). 38 pasos, 83 actividades, 5 reglas; 100 informantes, 2022–2024.	ELEMENTOS	63 en 10 categorías, tomados del artículo; los inferidos de una actividad se marcan.
TERRITORIO	32 estados, 2,478 municipios, 54,357 localidades (INEGI, 2020).	IMPLEMENTACIÓN	JavaScript sin bibliotecas; un archivo armado desde <code>src/</code> con <code>armar.py</code> .

1

Modelo de datos

Actividades, elementos, valor e impacto: los insumos de todo el cálculo.

1.1 Actividades e incidencia

Cada actividad a pertenece a un paso p y, cuando hay Stack, a una regla 5B. Tiene un tipo (tradicional o innovada) y un conjunto de elementos E_a . La matriz de incidencia X (elementos $\times$ actividades) vale 1 si el elemento participa. Las actividades del Stack son preguntas: solo entran al cálculo las que el usuario responde «sí»; las respondidas «no» y las no respondidas quedan fuera (nada se precarga). En el caso de Calpan la app activa 85 actividades.

1.2 Valor de un elemento

El usuario califica cada elemento en cuatro dimensiones $k \in \{\text{económica, de uso, cultural, ecológica}\}$, de 0 a 5, con pesos $\omega_k \in [0, 3]$. Si no hay calificación se usa el valor estructural, la participación relativa:

$$v_i = \sum_k \omega_k \cdot c_{ik} / \sum_k 5 \omega_k \quad \text{o bien} \quad v_i = n_i / \max_j n_j \quad (1)$$

donde c_{ik} es la calificación y n_i el número de actividades en que participa el elemento i .

1.3 Impacto por compartimento

Cinco compartimentos c : suelo, agua, atmósfera, vegetación y fauna. Cada elemento tiene un perfil de impacto (lectura de Ratio Milpa con su justificación); el impacto de la actividad es la suma recortada, o el valor que edite el usuario:

$$s_{ac} = \min(2, \max(-2, \sum_{i \in E_a} \pi_{ic})) \quad (2)$$

2

MÉTODO

La red ponderada y su estadística

2.1 Construcción de la red

Dos elementos se vinculan cuando concurren en una actividad; el peso acumula la media geométrica de sus valores en todas las actividades compartidas, más los lazos estructurales documentados en el artículo (por ejemplo, la academia local con los actores):

$$w_{ij} = \sum_{a: i, j \in E_a} \sqrt[n]{v_i \cdot v_j} \quad (3)$$

Un valor nulo se sustituye por 0.05 para no anular el vínculo. La opción «ocultar al nodo omnipresente» excluye a los productores (PM), que participan en casi todas las actividades.

2.2 Centralidades

MEDIDA	DEFINICIÓN EN LA APP
Grado ponderado	$s_i = \sum_j w_{ij}$
Intermediación	Brandes (2001) con Dijkstra y longitud $1/w_{ij}$; sin normalizar (Freeman, 1978).
Cercanía	Inverso de la distancia media $1/w$ a los nodos alcanzables, escalado por la fracción alcanzable (Wasserman y Faust, 1994).
Vector propio	Iteración de potencias sobre la matriz ponderada (200 iteraciones, normalización por el máximo).
Agrupamiento	Coeficiente local no ponderado; camino medio y diámetro por BFS (Watts y Strogatz, 1998).

2.3 Comunidades y modularidad

Las comunidades se detectan con el método de Louvain (Blondel et al., 2008), determinista: movimientos locales que maximizan ΔQ y agregación, repetidos hasta que Q no mejora. La modularidad (Newman, 2006):

$$Q = (1/2m) \sum_{ij} [w_{ij} - s_i s_j / 2m] \delta(c_i, c_j) \quad (4)$$

2.4 Correlación φ

Correlación de Pearson entre los vectores de incidencia de dos elementos en las N actividades (equivalente al coeficiente φ de una tabla 2×2):

$$\varphi_{ij} = \sum_a (x_{ia} - \bar{x}_i)(x_{ja} - \bar{x}_j) / (N \sigma_i \sigma_j) \quad (5)$$

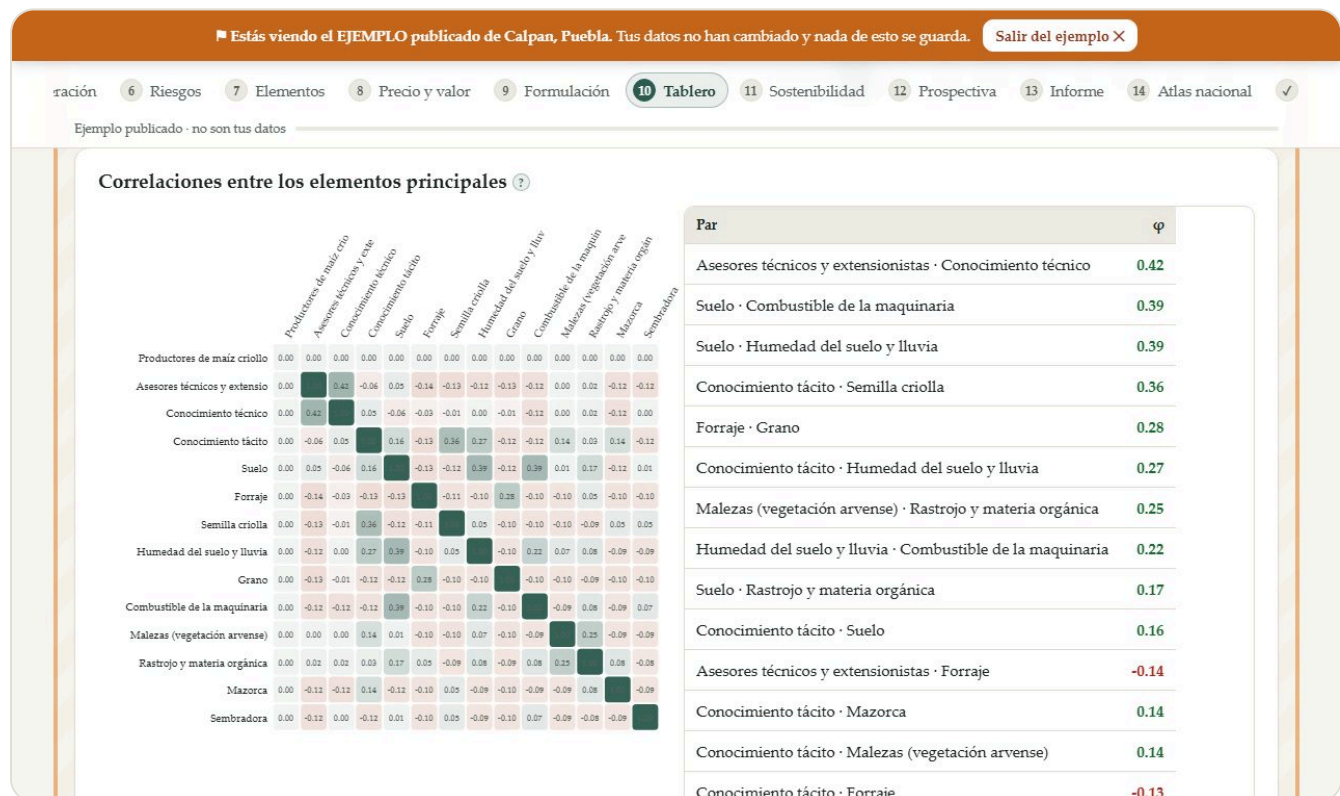


FIGURA 2.1 Matriz φ de los 14 elementos de mayor grado (vista científica).



CALPAN

Red completa: 61 nodos, 209 vínculos, densidad 0.114, $Q = 0.038$ (4 comunidades). Sin PM: 60 nodos, 158 vínculos, $Q = 0.4496$ con 7 comunidades, agrupamiento medio 0.5252 y camino medio 2.9017. La mayor intermediación sin PM corresponde a asesores técnicos, conocimiento técnico, conocimiento tácito y suelo.

3

MÉTODO

Cladograma del vecino más cercano

3.1 Distancia en la red

La distancia entre dos elementos es la longitud del camino más corto en la red completa, con longitud $1/w_{ij}$ por vínculo (la misma métrica que la intermediación y la cercanía). El camino puede pasar por cualquier elemento aunque el árbol muestre un subconjunto (actores; actores e instituciones; todos). Los pares sin camino reciben 1.15 veces la mayor distancia observada.

$$d_{ij} = \min_{\text{caminos } i \rightarrow j} \sum_{(u,v)} 1/w_{uv} \quad (6)$$

3.2 Enlace simple y correlación cofenética

Agrupamiento jerárquico aglomerativo por enlace simple (Sneath, 1957; Sokal y Sneath, 1963): en cada paso se unen los dos grupos con el par de miembros más próximo, $D(A, B) = \min_{i \in A, j \in B} d_{ij}$. La fidelidad del árbol se mide con la correlación cofenética de Sokal y Rohlf (1962), la correlación de Pearson entre d_{ij} y la altura a la que i y j se unen.

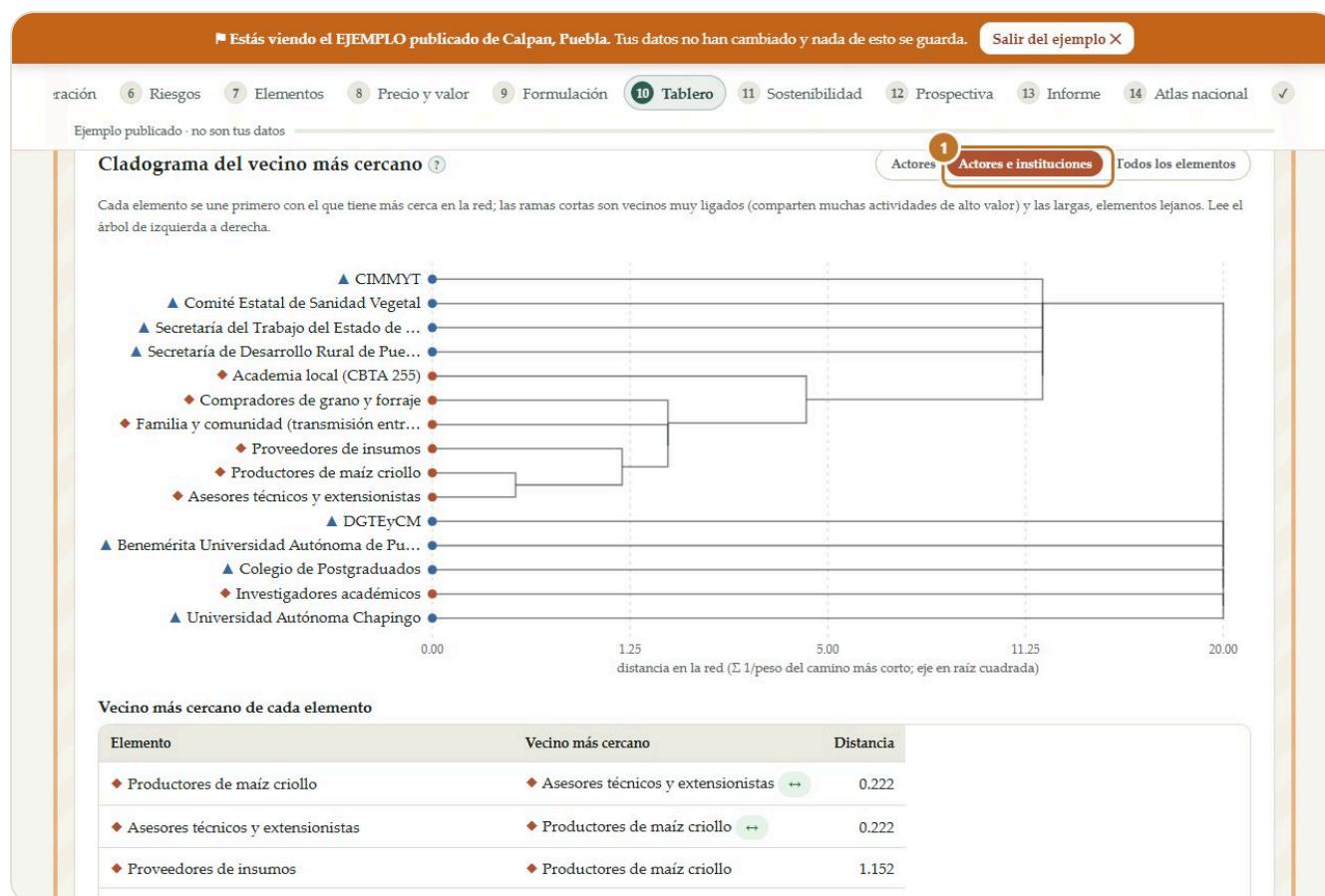


FIGURA 3.1 Cladograma de actores e instituciones de Calpan. Eje en raíz cuadrada; correlación cofenética 0.853.

SUBCONJUNTO	N	R COFENÉTICA	Δ FRENTE A SCIPY
Actores	7	0.9917	1.1×10^{-16}
Actores e instituciones	15	0.8526	1.0×10^{-15}
Todos los elementos	61	0.9103	2.1×10^{-15}

? ¿POR QUÉ ENLACE SIMPLE?

Porque responde directamente a la pregunta «¿quién es el vecino más cercano de quién?»: la primera unión de cada elemento es con su vecino más cercano, y el árbol coincide con el árbol de expansión mínima de las distancias.

4

Sostenibilidad, ODS y huella de carbono

4.1 Índice de sostenibilidad de una actividad

$$IS_a = (1/5) \sum_c (s_{ac} + 2)/4 \in [0, 1] \quad (7)$$

0.5 es neutra. El IS del sistema es la media de sus actividades; también se reporta por paso y por tipo (tradicional o innovada). En Calpan: 0.51.

4.2 Índice general de Sarandón

Siguiendo a Sarandón (2002), cada dimensión se expresa en 0–4 con subindicadores; su traducción a datos de la app es una lectura de Ratio Milpa:

DIMENSIÓN	SUBINDICADORES (0–4)	CALPAN
IK	A margen $4(I - C)/I$ · B productos distintos (tope 4) · C $4(1 - \text{pasos con insumos externos/pasos})$	3.11
IE	Media de $(s_{ac} + 2)$ en actividades y compartimentos	2.05
ISC	A reglas con saber local · B reglas con conocimiento técnico · C instituciones vinculadas	2.67

$$ISGen = (IK + IE + ISC)/3 ; \text{ sostenible si } ISGen > 2 \text{ y } \min(IK, IE, ISC) \geq 2 \quad (8)$$

En Calpan, ISGen = 2.61: sostenible. El margen (IK-A) queda sin dato hasta capturar ingresos y costos; IK se promedia con los subindicadores disponibles.

4.3 Cumplimiento de los ODS

Para cada ODS se promedian las evidencias disponibles: ambientales (media de $(s_{ac} + 2)/4$ en los compartimentos ligados: ODS 2, 6, 12, 13 y 15) y estructurales (actividades con conocimiento técnico o asesoría, ODS 4; instituciones vinculadas, ODS 17; margen, ODS 1 y 8). Sin evidencia, «sin dato». La relación compartimento–ODS es una lectura de Ratio Milpa. En Calpan hay evidencia para 7 de los 17.

4.4 Huella de carbono por hectárea

$$\text{CO}_2\text{e} = 2.68 D + N (0.010 + 0.11 \times 0.010 + 0.24 \times 0.011) \times \frac{44}{28} \times 273 + 0.20 U \times \frac{44}{12} \quad (9)$$

D : litros de diésel; N : kg de N aplicado; U : kg de urea. Factores por defecto del IPCC (2006; refinamiento 2019): EF_1 , $\text{FracGASF} \times \text{EF}_4$ y $\text{FracLEACH} \times \text{EF}_5$; GWP_{100} del N_2O = 273 (AR6, Forster et al., 2021). Dividido entre el rendimiento da kg CO_2e por tonelada.

5

MÉTODO

Índice de regeneración

Ocho indicadores ordinales $s_k \in \{0, \dots, 4\}$ agrupan los cuatro principios de salud del suelo del USDA-NRCS (mínima perturbación, suelo cubierto, diversidad, raíces vivas) y los procesos que la literatura de agricultura regenerativa añade (integración animal, menos insumos de síntesis, materia orgánica; Newton et al., 2020; Schreefel et al., 2020), más el saber local del Stack.

$$IR = \sum_{k=1}^8 s_k / 32 \in [0, 1] \quad (10)$$

5.1 Reglas de los valores sugeridos

INDICADOR	REGLA (LECTURA DE RATIO MILPA)	CALPAN
Labranza mínima	n actividades con arado, subsuelo o rastra (excluye decisiones): 0→4, 1→3, 2→2, 3→4→1, ≥5→0	1 (n = 4)
Suelo cubierto	2 si hay actividades con rastrojo de impacto positivo en suelo; si no, 1	2
Diversidad	especies según el sistema (milpa 3, MIAF 4...): 1→0, 2→1, 3→2, 4→5→3, ≥6→4	2
Raíces vivas	3 si el sistema tiene perennes; si no, 2	2
Integración animal	3 si hay animales; 2 si se produce forraje; si no, 0	2
Menos síntesis	$\text{round}(4 (1 - S / (S + B)))$	0 (S = 16, B = 1)
Materia orgánica	1, 2 o 3 según actividades que devuelven residuos (0, 1, ≥2), +1 con análisis de suelo	4
Saber local	$\min(4, \text{round}(8 f))$, f = fracción de actividades con saber tácito, cultural, familia o semilla propia	2 (f = 0.19)

Con los valores sugeridos, $IR = 15/32 = 0.469$ (47, convencional). Clases: < 0.25 degradante; 0.25–0.49 convencional; 0.50–0.74 en transición regenerativa; ≥ 0.75 regenerativo. La trayectoria se mide como ΔIR frente a una línea base guardada y, si hay análisis de suelo, como $\Delta\%$ de materia orgánica.

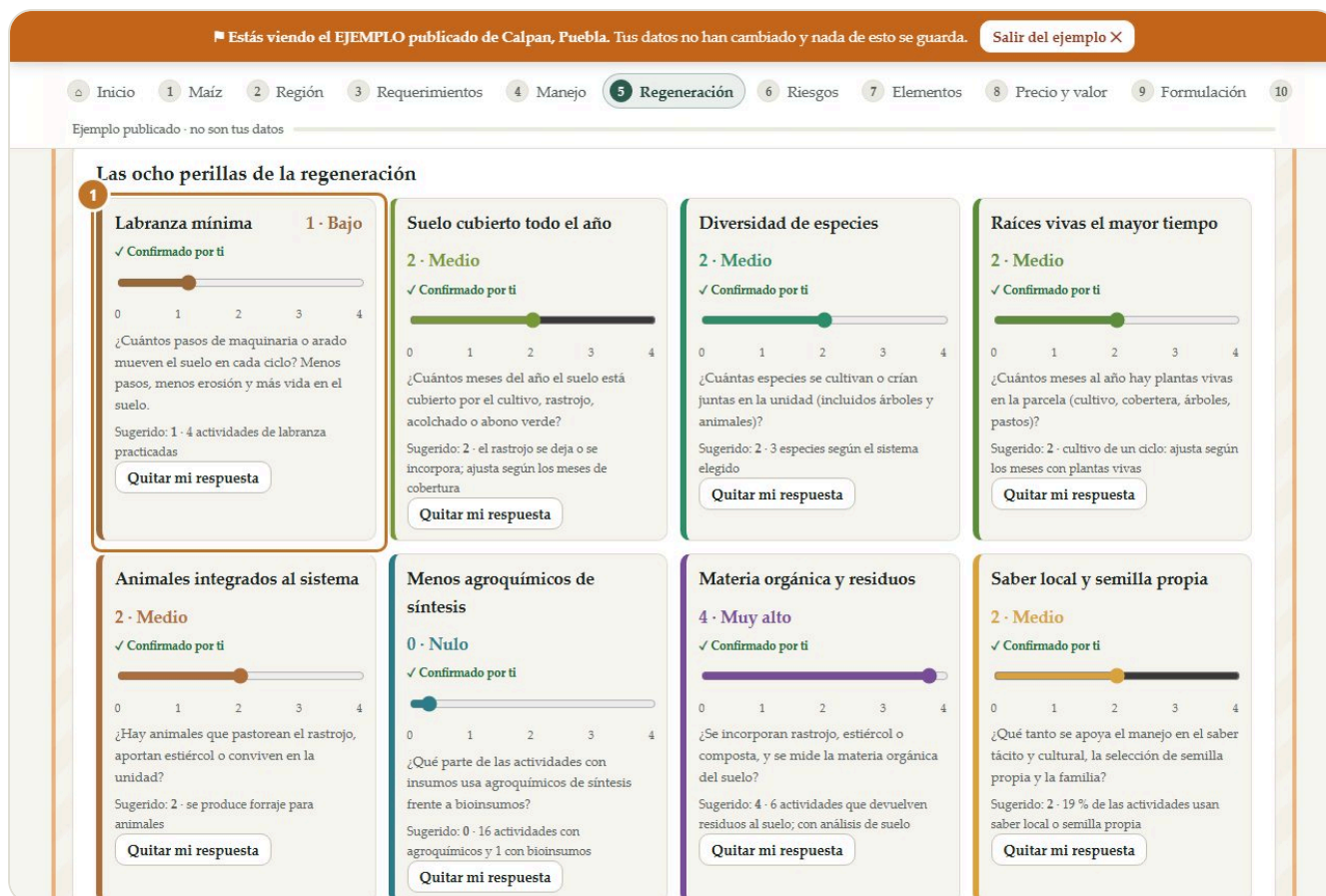


FIGURA 5.1 Los ocho indicadores con su valor sugerido y su motivo.

6

MÉTODO

Riesgo y capacidad adaptativa

Diecinueve amenazas h en seis categorías. Cada una tiene probabilidad P_h e impacto I_h en 1–5 (matriz de 5×5 ; IEC 31010:2019, dentro del proceso de ISO 31000:2018) y un control $c_h \in \{0, 1, 2, 3\}$. Siguiendo el marco del IPCC (2014), el riesgo depende de la amenaza y de la vulnerabilidad, que la capacidad adaptativa reduce:

$$r_h = P_h I_h (1 - 0.4 CA)(1 - 0.15 c_h) ; \text{ índice} = \sum_h r_h / 25H \quad (11)$$

$$CA = \text{mean}(IR, IK_B/4, ISC_B/4, ISC_C/4) \quad (12)$$

Los factores 0.4 y 0.15 son supuestos de Ratio Milpa. Niveles de r : ≤ 4 bajo, 5–9 medio, 10–15 alto, ≥ 16 muy alto. Los valores sugeridos derivan del escenario tendencial (calentamiento, costos, precio, mano de obra) y de la fracción de actividades con insumos comprados o con saber local; lo demás queda en 3.

6.1 Catálogo de amenazas

Cada amenaza se liga a los elementos del Stack que la transmiten; la liga es una lectura de Ratio Milpa y sirve para mostrar el riesgo en los bloques de Elementos y Tablero.

CATEGORÍA	AMENAZAS	ELEMENTOS LIGADOS
Climáticas (6)	Sequía o lluvias tardías · helada · granizo · lluvias intensas o inundación · ola de calor · ciclones y huracanes	HUM, CLIMA, ENSO, CICL, MJO
Biológicas (3)	Plagas · enfermedades · malezas resistentes o invasoras	PLAGA, ARV, HERB
Mercado (3)	Caída del precio · alza de insumos y servicios · intermediarismo o falta de comprador	PRECIO, COMP, GRANO, COSTOS, FERTG, PI, TRANS
Sociales (3)	Falta de mano de obra y de relevo · pérdida del saber local · inseguridad o robo	PM, FAM, KTAC, KCUL
Institucionales (2)	Retiro de programas y apoyos · conflictos de tenencia	AT, SDR
Recursos naturales (2)	Erosión y pérdida de fertilidad · escasez de agua	SUELO, HUM

6.2 Reglas de los valores sugeridos

AMENAZA	REGLA
Sequía, ola de calor	$P = 4$ si el calentamiento tendencial es ≥ 0.2 °C por década; si no, 3
Alza de insumos	$P = 4$ si el costo tendencial crece ≥ 2 %/año; $I = 1 + \text{round}(4 \min(1, 2f_s))$, f_s = fracción de actividades con insumos comprados
Mano de obra	$P = 4$ si $g_L \leq -1.5$ %; 3 si $g_L < 0$; si no, 2
Caída del precio	$P = 4$ si el precio tendencial baja; si no, 3
Pérdida del saber	$I = 1 + \text{round}(4 \min(1, 2f_k))$, f_k = fracción de actividades con saber tácito, cultural o familiar
Las demás	$P = 3$, $I = 3$ (moderado; se ajusta a la localidad)

El usuario puede desactivar una amenaza que no aplica (sale de H) o sobrescribir P , I y el control; la app marca qué valores fueron ajustados.

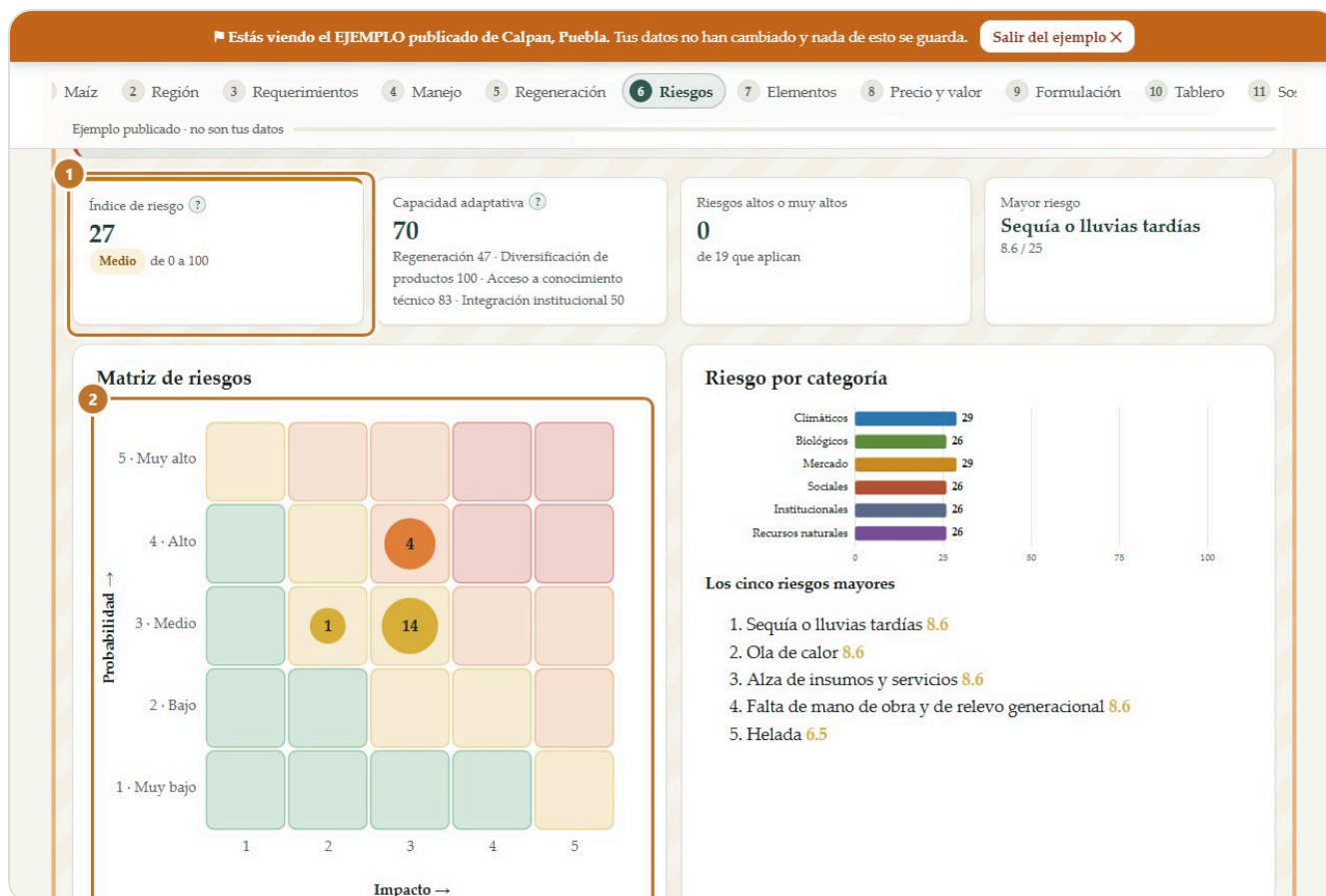


FIGURA 6.1 Índice y matriz de riesgos de Calpan. Índice 27, CA = 0.701.



CALPAN

$CA = (0.47 + 1.00 + 0.83 + 0.50)/4 = 0.70$. Las cuatro amenazas mayores (sequía, ola de calor, alza de insumos, falta de mano de obra) tienen $P = 4$, $I = 3$ y $r = 12 \times 0.72 = 8.6$.

7

MÉTODO

Modelo de escenarios

Tres escenarios exploratorios (Godet y Durance, 2011) se simulan año por año, $t = 0 \dots 10$. La adopción de las actividades innovadas sigue una logística (Rogers, 2003) que parte de la fracción actual a_0 :

$$A(t) = a_0 + (A_{\text{máx}} - a_0) [\sigma(t - t_{50}) - \sigma(-t_{50})] / [1 - \sigma(-t_{50})] \quad (13)$$

$$Y(t) = 100 [1 + \beta \Delta T t/10] \cdot (1 - p(t) L_{\text{ef}}) / (1 - p_0 L_{\text{ef}}) \cdot [1 + e_Y(A - a_0)] \cdot [1 - 0.5 \text{ déficit}(t)] \quad (14)$$

$$L_{\text{ef}} = L_{\text{ext}}(1 - 0.5 \text{ IR}_0) ; \quad \text{IR}(t) = \text{IR}_0 + 0.5 (1 - \text{IR}_0)(A - a_0) \quad (15)$$

β : cambio de rendimiento por °C (maíz -7.4 %, trigo -6.0 %; Zhao et al., 2017; -4.9 % como supuesto para otros); ΔT : calentamiento por década (0.1, 0.2 y 0.3 °C; intervalo probable de IPCC, 2018); $p(t)$: probabilidad de año extremo, lineal de p_0 a p_{ext} . Precio y costo crecen a tasas constantes; la mano de obra disponible decrece a tasa g_L y la requerida baja con la adopción. El riesgo en t recalcula (11) con $P_{\text{clima}} + 5(p(t) - p_0)$ y CA con $\text{IR}(t)$. Los coeficientes 0.5 son supuestos.

7.1 Precio, costo, mano de obra y sostenibilidad

$$Pr(t) = 100 (1 + g_P)^t ; \quad C(t) = 100 (1 + g_C)^t (1 - s_C \Delta A) ; \quad \text{rel} = 100 (Pr \cdot Y/100) / C \quad (16)$$

$$L_d(t) = (1 + g_L)^t ; \quad L_n(t) = 1 - r_L \Delta A ; \quad \text{déficit} = \max(0, L_n - L_d) / L_n \quad (17)$$

$$IS(t) = IS_{\text{trad}} (1 - A) + IS_{\text{inn}} A \quad (18)$$

$\Delta A = A(t) - a_0$, y es 0 cuando no hay actividades innovadas. Si el usuario capturó ingreso I_0 y costo C_0 por hectárea (Bloque 8), el ingreso neto es $I_0 (Pr \cdot Y/100)/100 - C_0 C/100$.

7.2 Parámetros por omisión

PARÁMETRO	DESEABLE	TENDENCIAL	NO DESEADO	BASE
g_P precio real (%/año)	+1	0	-1.5	supuesto
g_C costo real (%/año)	+1	+2	+4	supuesto
ΔT (°C por década)	0.1	0.2	0.3	IPCC (2018)
p_{ext} año extremo a 10 años	0.12	0.18	0.25	supuesto
g_L mano de obra (%/año)	-0.5	-1.5	-3	supuesto
$A_{\text{máx}}$ adopción máxima	0.9	0.5	0.15	supuesto
t_{50} año de media adopción	4	6	9	Rogers (2003)

Comunes a los tres escenarios: $p_0 = 0.10$; $L_{\text{ext}} = 30$ % de pérdida en un año extremo; efecto de la adopción en el rendimiento $e_Y = 10$ %, en el costo $s_C = 5$ % y en la mano de obra requerida $r_L = 15$ %. Todos son supuestos editables en la tabla de supuestos del Bloque 12.

■ Estás viendo el EJEMPLO publicado de Calpan, Puebla. Tus datos no han cambiado y nada de esto se guarda. [Salir del ejemplo X](#)

Elementos 8 Precio y valor 9 Formulación 10 Tablero 11 Sostenibilidad 12 **Prospectiva** 13 Informe 14 Atlas nacional ✓ Validación § Teoría

Ejemplo publicado · no son tus datos

Supuestos de cada escenario

1 **Variable** Deseable (potencialidades) Tendencial No deseado Base 2 [Volver a los valores iniciales](#)

Precio real del producto (% por año)	1	0	-1.5	♦ LECTURA DE RATIO MILPA
Costo real de insumos y servicios (% por año)	1	2	4	♦ LECTURA DE RATIO MILPA
Calentamiento (°C por década)	0.1	0.2	0.3	♦ IPCC (2018)
Probabilidad de un año extremo a 10 años (sequía, helada, ciclón)	0.12	0.18	0.25	♦ LECTURA DE RATIO MILPA
Mano de obra familiar disponible (% por año)	-0.5	-1.5	-3	♦ LECTURA DE RATIO MILPA
Adopción máxima de las innovaciones (0-1)	0.9	0.5	0.15	♦ LECTURA DE RATIO MILPA
Año en que se alcanza la mitad de la adopción	4	6	9	♦ ROGERS (2003)

Supuestos comunes

Cambio de rendimiento por cada +1 °C (%)	Probabilidad actual de un año extremo	Pérdida de rendimiento en un año extremo (%)
-7.4	0.1	30
♦ Zhao et al. (2017), Maíz	♦ Supuesto	♦ Supuesto
Rendimiento extra con adopción plena de las innovaciones (%)	Ahorro de costos con adopción plena (%)	Ahorro de mano de obra con adopción plena (%)
10	5	15
♦ Supuesto	♦ Supuesto	♦ Supuesto

La mano de obra y los precios cambian por región: contrasta los supuestos con el Censo Agropecuario y la ENOE del INEGI, y con los precios del SIAP de tu municipio.

FIGURA 7.1 Tabla de supuestos con su base: IPCC, Rogers o supuesto.

CALPAN, T = 10 (HOY = 100)	DESEABLE	TENDENCIAL	NO DESEADO
Rendimiento	96	90	82
Ingreso bruto ÷ costo	96	74	48
Mano de obra disponible	95	86	74
Índice de riesgo (0-100)	28	28	29

8

MÉTODO

Territorio y mapa

Estados, municipios y localidades provienen del Catálogo Único de Claves Geoestadísticas y del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, con población, altitud y coordenadas. Las regiones son las del Banco de México (Norte, Centro norte, Centro y Sur). Los contornos son de Natural Earth (dominio público). Para ubicar cada localidad en el mapa se ajustó una proyección:

$$x = 32.355 (\lambda + 102) \cos^{0.4375} \varphi + 514.57 ; \quad y = -34.346 \varphi + 1122.86 \quad (19)$$

El 95.4 % de las localidades cae dentro del contorno de su estado; el punto es aproximado.

9

EVIDENCIA Y USO

Validación

9.1 Reproducción del caso publicado

La app comprueba que el caso cargado coincide con el artículo: 38 pasos y 5 reglas, 38 hojas en el dendrograma de la Figura 3, 100 participantes del Cuadro 1 y 11 valores publicados del índice de intensidad de conocimiento.

Estás viendo el EJEMPLO publicado de Calpan, Puebla. Tus datos no han cambiado y nada de esto se guarda. Salir del ejemplo X

RatioMilpa

EJEMPLO · Maíz criollo · Calpan

ES EN

Productor Científico

Elementos 8 Precio y valor 9 Formulación 10 Tablero 11 Sostenibilidad 12 Prospectiva 13 Informe 14 Atlas nacional **Validación** Teoría

Ejemplo publicado · no son tus datos

EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA

Validación

Una herramienta científica tiene que demostrar que calcula bien. Aquí se comprueba, en tu propio navegador, que Ratio Milpa reproduce los datos publicados del caso y que su motor de redes da los mismos números que una biblioteca de referencia independiente.

Ejemplo publicado · estos datos son del caso de Calpan, Puebla; no son tuyos

1 · Reproducción del caso publicado (maíz criollo, Calpan)

Comprobación	Artículo	Ratio Milpa	
Pasos del Stack	38	38	✓
Reglas básicas (5B)	5	5	✓
Hojas del dendrograma (Figura 3)	38	38	✓
Participantes (Cuadro 1)	100	100	✓
Valores de IIC publicados	11	11	✓
Actividades	83	85	ver nota
Actividades vinculadas a elementos	—	85 / 85	✓

Al transcribir la Figura 4 resultan 85 renglones de actividad; el artículo reporta 83. Ratio Milpa conserva la transcripción íntegra y la cifra oficial.

Fuente: Díaz-José et al. (2026). doi:10.22231/assud.n23i3.1822

FIGURA 9.1 Bloque de validación de la app.

9.2 Motor de redes frente a NetworkX

PRUEBA	DIFERENCIA MÁXIMA
Red de Krackhardt (1990): intermediación, cercanía, agrupamiento, vector propio, camino medio	< 0.00005
Red del maíz sin PM (60 nodos, 158 vínculos): intermediación ponderada	0
Q de la partición (0.4496), agrupamiento medio (0.5252), camino medio (2.9017)	0

Como referencia, el Louvain aleatorizado de NetworkX (semilla 1) encuentra una partición de 5 comunidades con $Q = 0.4422$; la de Ratio Milpa (7 comunidades, $Q = 0.4496$) tiene mayor modularidad.

9.3 Cladograma frente a SciPy

Las alturas de unión y la correlación cofenética de los tres subconjuntos coinciden con `scipy.cluster.hierarchy.linkage(method='single')` y `cophenet` (SciPy 1.18) sobre distancias de NetworkX con diferencias menores que 10^{-14} (tabla del capítulo 3).

10

EVIDENCIA Y USO

Reproducibilidad y exportación

10.1 Código y pruebas

bash

```
git clone https://github.com/hectortecumshe-ai/RatioMilpa
cd RatioMilpa
python armar.py                # arma index.html desde src/
python pruebas/verificar_red.py # red frente a NetworkX
python pruebas/verificar_clado.py # cladograma frente a SciPy
```

10.2 Datos para análisis

Desde el Bloque 13 se exportan en CSV las actividades (con sus cinco impactos e IS), los nodos (valor, participación, vecinos, grado ponderado, intermediación, cercanía, vector propio, agrupamiento, comunidad), los vínculos (peso y número de actividades), el calendario, los ODS y el cladograma (uniones y vecinos más cercanos). **Guardar proyecto** produce un JSON con el estado completo, que permite reproducir cualquier resultado.

10.3 Enlaces directos

La dirección acepta #bloque/vista/idioma, por ejemplo .../RatioMilpa/#tablero/cien/en. Las capturas de este instructivo se tomaron así, de forma automática.

10.4 Caso publicado y datos del usuario

Desde la versión 0.5.0 la app arranca en blanco. El caso de Calpan se carga solo en un **modo ejemplo** que no se guarda (`estadoCalpan()`): maíz, milpa, Calpan, siembra el día 79 y las 85 actividades respondidas «sí»; con él la red completa reproduce los valores de este instructivo (61 nodos, 209 vínculos; sin PM, $Q = 0.4496$). En un proyecto del usuario, los lazos estructurales documentados en Calpan entran solo si tocan un elemento de sus actividades, y las ventanas de fechas de la Figura 4 no se usan como fechas propias. Los valores sugeridos de regeneración y riesgo cuentan en el índice, marcado como provisional, hasta que el usuario los confirma. Los archivos de proyecto llevan formato: 2; los anteriores se convierten al abrirllos.

10.5 Alcances y límites

- El único caso con Stack documentado es el maíz criollo de Calpan; los demás cultivos se documentan con datos del usuario.
- Los vínculos actividad–elemento, los perfiles de impacto, la relación con los ODS, las reglas de regeneración y los factores de riesgo son lecturas de Ratio Milpa, marcadas y editables.
- Los escenarios no son pronósticos; su valor está en comparar supuestos explícitos.
- La producción agrícola municipal del SIAP se integrará cuando su servicio de datos abiertos esté disponible.



Estás viendo el EJEMPLO publicado de Calpan, Puebla. Tus datos no han cambiado y nada de esto se guarda. Salir del ejemplo X

RatioMilpa

EJEMPLO · Maíz criollo · Calpan

ES EN

Productor Científico

Elementos 8 Precio y valor 9 Formulación 10 Tablero 11 Sostenibilidad 12 Prospectiva 13 Informe 14 Atlas nacional Validación Teoría

Ejemplo publicado · no son tus datos

FUNDAMENTOS

Marco teórico

Las ideas que sostienen a Ratio Milpa: sistemas complejos adaptativos, saber local, gestión estratégica integrada, redes, regeneración, riesgo, prospectiva y sostenibilidad.

Ejemplo publicado · estos datos son del caso de Calpan, Puebla; no son tuyos

El sistema complejo adaptativo

Un sistema complejo adaptativo está formado por agentes heterogéneos que interactúan localmente, aprenden y se adaptan; de esas interacciones emergen patrones que ningún agente diseñó (Holland, 1995). Una milpa o una unidad de producción lo es: productores, semillas, suelo, agua, saberes, instituciones y mercados que se retroalimentan en cada ciclo. García (2006) propone estudiarlos como totalidades organizadas cuyos elementos no son separables, y Morin (1990), como lo que está «tejido junto» (complexus), raíz del nombre de esta línea de la suite.

- Orden, caos y resiliencia
- El Stack de conocimiento local
- Gestión Estratégica Integrada y racionalidad ambiental
- Redes y estadística

FIGURA 10.1 Marco teórico dentro de la app, con su bibliografía.

11

Ejemplo resuelto: Calpan a mano

Cada número de este capítulo puede rehacerse con calculadora y coincide con lo que muestra la app 0.4.0.

11.1 Regeneración

$$IR = (1 + 2 + 2 + 2 + 2 + 0 + 4 + 2) / 32 = 15 / 32 = 0.469 \quad (10)$$

Clase: convencional (0.25–0.49). Subir «menos síntesis» de 0 a 2 y «labranza» de 1 a 2 llevaría el IR a $18/32 = 0.56$, en transición.

11.2 Capacidad adaptativa y riesgo de sequía

$$CA = (0.469 + \frac{4}{4} + 3.\frac{33}{4} + \frac{2}{4}) / 4 = (0.469 + 1.00 + 0.833 + 0.50) / 4 = 0.7005 \quad (12)$$

$$r_{\text{sequía}} = 4 \times 3 \times (1 - 0.4 \times 0.7005) \times (1 - 0.15 \times 0) = 12 \times 0.7198 = 8.64 \quad (11)$$

Nivel medio (5–9). Con las 19 amenazas activas, $\Sigma r / (25 \times 19) = 0.273$: índice 27. Un control parcial ($c = 2$) sobre la sequía bajaría su r a $8.64 \times 0.70 = 6.05$.

11.3 Índice general de Sarandón

$$ISGen = (3.11 + 2.05 + 2.67) / 3 = 2.61 > 2 \text{ y } \min = 2.05 \geq 2 \Rightarrow \text{sostenible} \quad (8)$$

La dimensión ecológica (2.05) es la que está más cerca del umbral: es la palanca principal, y coincide con el bajo puntaje de «menos síntesis» del IR.

11.4 Escenario tendencial a 10 años

En el caso base de Calpan no hay actividades innovadas activas, así que $a_0 = 0$ y $\Delta A = 0$ en todo el horizonte.

TÉRMINO	CÁLCULO	VALOR
Clima	$1 - 0.074 \times 0.2 \times 10/10$	0.9852
Pérdida efectiva	$30 \times (1 - 0.5 \times 0.469)$	22.97 %
Año extremo	$(1 - 0.18 \times 0.2297) / (1 - 0.10 \times 0.2297)$	0.9812
Mano de obra disponible	$(1 - 0.015)^{10}$	0.8597
Factor por déficit	$1 - 0.5 \times (1 - 0.8597)$	0.9299
Rendimiento Y	$100 \times 0.9852 \times 0.9812 \times 0.9299$	89.9
Costo C	100×1.02^{10}	121.9
Ingreso ÷ costo	$100 \times (100 \times 0.899) / 121.9$	73.7

La app reporta 90 y 74, que son estos valores redondeados. El riesgo a 10 años es 28: la probabilidad climática sube $5 \times (0.18 - 0.10) = 0.4$ puntos, pero la capacidad adaptativa no cambia porque no hay adopción.

11.5 Huella de carbono (ejemplo ilustrativo)

Valores hipotéticos, no de Calpan: 60 L de diésel y 100 kg de N por hectárea, todo como urea (217 kg; 46 % de N).

$$2.68 \times 60 + 100 \times 0.01374 \times \frac{44}{28} \times 273 + 0.20 \times 217 \times \frac{44}{12} = 160.8 + 589.4 + 159.1 = 909 \text{ kg CO}_2\text{e/ha} \quad (9)$$

$0.01374 = 0.010 + 0.11 \times 0.010 + 0.24 \times 0.011$. Con 3 t de grano por hectárea serían 303 kg CO₂e por tonelada. El N₂O del fertilizante aporta casi dos tercios.

12

MÉTODO

Agregación del atlas nacional

12.1 Resumen de cada localidad

De cada archivo `.milpa.json` el atlas calcula, con las mismas funciones de la app, un resumen: ubicación (INEGI), maíz (tipo y raza), sistema, respuestas sí / no a las 85 actividades, actividades innovadas, IS, IR y riesgo (marcados como provisionales si la localidad no confirmó todas sus perillas), capacidad adaptativa y los vínculos de su red sin el nodo omnipresente. Solo se guarda el resumen, en el navegador de quien coordina.

12.2 Frecuencia de cada práctica

$$f_a = \sum_{\ell} [r_{\ell a} = \text{sí}] / \sum_{\ell} [r_{\ell a} \in \{\text{sí}, \text{no}\}] \quad (20)$$

ℓ recorre las localidades; las no respondidas quedan fuera del denominador, de modo que la ausencia de respuesta no se confunde con «no». La misma razón se calcula dentro de cada región de Banxico. El atlas muestra junto a cada valor el número de localidades que respondieron.

12.3 Red nacional

$$W_{ij} = n_{ij} / L ; \quad V_i = n_i / L \quad (21)$$

L : localidades con red; n_{ij} : localidades cuya red contiene el vínculo $i-j$; n_i : localidades donde aparece el elemento i . Sobre esta red se calculan las mismas estadísticas del capítulo 2. Los índices regionales son medias simples de los valores de cada localidad.

12.4 Prueba de la agregación

La app agrega dos copias del caso publicado de Calpan. Si la agregación es correcta, las 85 prácticas valen 100 % con 2 respuestas y la red nacional coincide con la del caso (60 nodos y 158 vínculos), con todos sus pesos iguales a 1. La prueba se ejecuta en el bloque de Validación y los tres resultados son correctos.



Brandes (algoritmo) <i>Brandes algorithm</i>	Cálculo exacto de la intermediación en $O(nm + n^2 \log n)$ para redes ponderadas (Brandes, 2001).
Capacidad adaptativa (CA) <i>Adaptive capacity (CA)</i>	Media de la regeneración y de tres subindicadores de Sarandón (diversificación, conocimiento técnico, integración institucional), en 0–1.
Correlación cofenética <i>Cophenetic correlation</i>	Correlación de Pearson entre las distancias originales y las alturas de unión del árbol (Sokal y Rohlf, 1962).
Enlace simple <i>Single linkage</i>	Agrupamiento aglomerativo en el que la distancia entre grupos es la de su par de miembros más próximo (Sneath, 1957).
Escenario exploratorio <i>Exploratory scenario</i>	Futuro posible construido con supuestos explícitos, sin probabilidad asignada (Godet y Durance, 2011).
GWP100 <i>GWP100</i>	Potencial de calentamiento global a 100 años; para el N_2O , 273 (AR6).
Incidencia <i>Incidence</i>	Matriz binaria elementos $\times$ actividades: 1 si el elemento participa en la actividad.
Lectura de Ratio Milpa <i>Ratio Milpa reading</i>	Valor, regla o agrupación propuesta por la app y no publicada en la fuente; está marcada y es editable.
Louvain <i>Louvain</i>	Método de detección de comunidades que maximiza la modularidad por movimientos locales y agregación (Blondel et al., 2008).
Modularidad (Q) <i>Modularity (Q)</i>	Fracción de peso dentro de las comunidades menos la esperada al azar (Newman, 2006).
Prospectiva <i>Foresight</i>	Disciplina que construye futuros posibles para orientar la decisión presente (Berger; de Jouvenel; Godet).
Stack de conocimiento local <i>Local knowledge stack</i>	Estructura en capas del conocimiento agrícola: reglas, pasos y actividades (Díaz-José et al., 2026).

Valor estructural <i>Structural value</i>	Participación relativa de un elemento en las actividades, usada como valor por defecto.
Vector propio <i>Eigenvector centrality</i>	Centralidad proporcional a la de los vecinos; se obtiene por iteración de potencias.

B Referencias, cómo citar y página legal

1. Blondel VD, Guillaume J-L, Lambiotte R, Lefebvre E. 2008. Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics* P10008.
2. Brandes U. 2001. A faster algorithm for betweenness centrality. *Journal of Mathematical Sociology* 25(2): 163–177.
3. CONABIO. 2020. Razas de maíz de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
4. Díaz-José O, Mojica-Zárte HT, Díaz-José J, Vilaboa-Arróniz J. 2026. El conocimiento agrícola local: el stack del maíz criollo en Calpan, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 23(3). <https://doi.org/10.22231/asyd.v23i3.1822>
5. Forster P, et al. 2021. The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity. En: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
6. Freeman LC. 1978. Centrality in social networks: conceptual clarification. *Social Networks* 1(3): 215–239.
7. Godet M, Durance P. 2011. *La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios*. Dunod/UNESCO.
8. Hagberg AA, Schult DA, Swart PJ. 2008. Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX. *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*: 11–15.
9. Holland JH. 1995. *Hidden order: how adaptation builds complexity*. Addison-Wesley.
10. IEC. 2019. IEC 31010:2019 Risk management — Risk assessment techniques.
11. INEGI. 2020. Censo de Población y Vivienda 2020; Catálogo Único de Claves Geoestadísticas.
12. IPCC. 2006, 2019. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 4, y su refinamiento de 2019.
13. IPCC. 2014. Summary for Policymakers. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.
14. IPCC. 2018. Summary for Policymakers. En: *Global Warming of 1.5 °C*.
15. ISO. 2018. ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines.
16. Krackhardt D. 1990. Assessing the political landscape: structure, cognition, and power in organizations. *Administrative Science Quarterly* 35(2): 342–369.
17. Mojica Zárte HT. 2017. *Modelo y procedimiento para la gestión estratégica integrada de los recursos naturales en territorios áridos con orientación agroproductiva*. Tesis doctoral, Universidad Central

«Marta Abreu» de Las Villas.

18. Newman MEJ. 2006. Modularity and community structure in networks. *PNAS* 103(23): 8577–8582.
19. Newton P, Civita N, Frankel-Goldwater L, Bartel K, Johns C. 2020. What is regenerative agriculture? *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4: 577723.
20. Rogers EM. 2003. *Diffusion of innovations*, 5.^a ed. Free Press.
21. Sarandón SJ. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: Sarandón SJ (ed.), *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas: 393–414.
22. Schreefel L, Schulte RPO, de Boer IJM, Schrijver AP, van Zanten HHE. 2020. Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security* 26: 100404.
23. Sneath PHA. 1957. The application of computers to taxonomy. *Journal of General Microbiology* 17(1): 201–226.
24. Sokal RR, Rohlf FJ. 1962. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon* 11(2): 33–40.
25. Sokal RR, Sneath PHA. 1963. *Principles of numerical taxonomy*. W. H. Freeman.
26. Virtanen P, et al. 2020. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods* 17: 261–272.
27. Wasserman S, Faust K. 1994. *Social network analysis: methods and applications*. Cambridge University Press.
28. Watts DJ, Strogatz SH. 1998. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature* 393: 440–442.
29. Zhao C, et al. 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *PNAS* 114(35): 9326–9331.

Cómo citar el software

Mojica-Zárate, H. T., y Díaz-José, O. (2026). *Ratio Milpa: el conocimiento local del maíz en México como sistema complejo adaptativo* (Versión 0.1.0) [Software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.23432656>



Aplicación: hectortecumshe-ai.github.io/RatioMilpa
Código: github.com/hectortecumshe-ai/RatioMilpa

Héctor Tecumshé Mojica-Zárate · Oscar Díaz-José

Centro Académico Regional Sede Huatusco, Universidad Autónoma Chapingo (Héctor Tecumshé Mojica-Zárate, Óscar Díaz-José, Luis Ángel Barrera-Guzmán) · Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (Guadalupe Velázquez-Vázquez), México. ORCID del autor de correspondencia: 0000-0002-9067-3983.

ISBN: en trámite ante el INDAUTOR

DOI de este instructivo: 10.5281/zenodo.23433192 · DOI de la aplicación: 10.5281/zenodo.23432656

Texto y figuras bajo licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0); la aplicación, bajo licencia MIT. Puedes copiar, adaptar y compartir este instructivo citando a sus autores. Las capturas de pantalla son de la aplicación Ratio Milpa 0.1.0. Composición tipográfica en Palatino Linotype.