

ÍNDICES DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA COMO ESTIMADORES DEL FACTOR DE RIESGO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

Caba Olguín Javier
cabajav@gmail.com

RESUMEN

El cambio en los usos y ocupación del suelo en el departamento de Tarija, debido principalmente al aumento demográfico, ha determinado un incremento de la erosión en la región atribuido a la acción de las precipitaciones. En el presente trabajo se analiza la aridez de los suelos y el patrón de distribución de las precipitaciones en el departamento de Tarija y su agresividad climática.

Los índices seleccionados para la determinación de la agresividad climática, son: el índice de aridez, el índice de agresividad de las precipitaciones IFM, el índice de concentración de la precipitación ICP y finalmente una interacción de estos índices como es el índice de erosividad total de la precipitación. También se usaron métodos geoes-tadísticos para la obtención de la regionalización de los índices y, a partir de éstos, se analizaron las diferencias de su distribución espacial.

De acuerdo al índice de aridez, se establece que más del 67% del territorio tarijeño tiene condición hídrica seca con suelos que van desde sub húmedos secos a hiperáridos. La agresividad de la lluvia tiene una mayor distribución de moderada a muy alta; el índice de concentración muestra que las lluvias son estacionales, es decir que se concentran en pocos meses del año. El índice de erosividad total de las lluvias tiene un valor alto en la zona sub andina donde se tiene una vegetación de tipo bosque húmedo, un área considerable del valle central y de la región del chaco presenta una erosividad pluvial moderada, que representa un factor de riesgo de erosión hídrica.

PALABRAS CLAVE

Agresividad pluvial, Aridez, Erosión hídrica, Índices climáticos, Riesgo.

INTRODUCCIÓN

En muchas regiones del mundo existe un desbalance entre recursos naturales, población y necesidades básicas. Este desbalance es más marcado y notorio en regiones áridas, semiáridas y subhúmedas. Las regiones áridas y semiáridas comprenden gran parte del territorio del departamento de Tarija y están caracterizadas por un balance hídrico negativo casi todo el año, es decir que las pérdidas son mayores que los aportes de humedad.

En estas regiones la degradación de suelos es un serio problema, causada generalmente por una interacción descontrolada entre los factores biofísicos y socioeconómicos. Por otra parte, la acción natural de las precipitaciones que en suelos desnudos o con poca cobertura vegetal erosionan de manera sistemática el suelo debido a que la precipitación en esas regiones tiene bajos promedios y una alta variabilidad espacial y temporal, además de carácter torrencial.

La erosividad de la lluvia constituye un factor fundamental para comprender el funcionamiento de los procesos erosivos que tienen lugar en un territorio. Para su cálculo se han diseñado numerosos índices que se han utilizado en modelos de predicción del riesgo de erosión, siendo el más conocido el factor R (Wischmeier, 1959) que se incorpora en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Este factor evalúa la importancia que tiene sobre la erosión del suelo la energía cinética de cada evento tormentoso y su intensidad máxima.

El cálculo del valor de erosividad de la lluvia es difícil de realizar en territorios como el tarijeño, ya que es necesario disponer de información detallada de las precipitaciones con un registro continuo de las variaciones de intensidad de la lluvia durante las tormentas. Por el contrario, en Tarija la red de pluviógrafos es escasa y desactualizada, la poca información con que se cuenta data de décadas pasadas.

Por estos motivos se han elaborado índices de erosividad que se obtienen exclusivamente con volúmenes de precipitación. Entre éstos los más conocidos son el índice de agresividad climática de Fournier (1960), en su formulación original o en la versión modificada (MFI) por Arnoldus (1980). También como complemento o sustituto de los anteriores se ha utilizado el Índice de Concentración de las Precipitaciones (PCI en su acrónimo en inglés) de Oliver (1980).

En el presente trabajo, se delimitan y ubican las zonas secas para determinar las condiciones climáticas del territorio tarijeño mediante el Índice de Aridez (Unesco, 2010). Para determinar la agresividad climática se utilizaron los índices IFM de Arnoldus e ICP de Oliver a partir de información pluviométrica mensual de una red de 42 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio tarijeño. Finalmente se combinaron los índices IFM e IPC para obtener el Índice de Erosividad Total (Febles, 2008), obteniéndose una mejor información de la agresividad pluvial y de la variabilidad espacial de los mismos; con

el software ARGIS se elaboraron mapas de cada uno de los índices.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características principales del área de estudio

El departamento de Tarija ubicado al sur de Bolivia, se encuentra entre los paralelos 20°50' a 22°50' de latitud sur y los meridianos 62°15' a 65°20' de longitud oeste.

Tiene una extensión territorial de 37.623 km² que representa el 3,4% del territorio nacional.

El Departamento, se divide en tres provincias fisiográficas: la cordillera Oriental al oeste que cubre el 30% de la superficie departamental; el Subandino en la parte central ocupa el 30% del departamento y al este la Llanura Chaco-Beniana que comprende el 37% del territorio departamental. Aproximadamente el 63% de la superficie total del departamento corresponde a montañas, serranías y colinas, y el 37% conforma planicies, piedemontes y llanuras (Zonisig, 2001).

La cobertura vegetal en el departamento de Tarija presenta diferencias importantes en las tres provincias fisiográficas. La diferencia altitudinal de casi 4.450 m y la variabilidad de las condiciones climáticas, fisiográficas y edáficas determinan un mosaico de tipos de vegetación natural, como bosques, matorrales, praderas, sábanas y pastizales, puros o en diferente grado de combinación (Zonisig, 2001)

Los suelos presentan una gran variabilidad de características morfológicas y son predominantemente superficiales en las montañas y serranías, moderadamente profundos en las colinas y profundos a muy profundos en los valles, llanuras, planicies y piedemontes

El clima en el departamento tiene gran variación, acentuada por la influencia de los vientos y frentes fríos del sudoeste, así, en la Cordillera Oriental presenta temperaturas medias anuales entre 9 a 18°C, con precipitaciones anuales que van desde

los 300 a 1200 mm. En el Subandino presenta temperaturas medias anuales entre 17 a 23°C y precipitaciones anuales entre 500 a 2200 mm: en tanto que la Llanura Chaco-Beniana presenta temperaturas medias anuales de 23°C y precipitación entre 350 a 1200 mm anuales.

METODOLOGÍA

La información meteorológica utilizada corresponde a 42 estaciones climatológicas que cuentan con datos climáticos de al menos 20 años de registros. Para el procesamiento de datos se utilizó un programa de cómputo llamado CIRH (Cálculo de los índices del Régimen Hídrico; (CAZALAC 2006) desarrollado como parte de la iniciativa del CAZALAC (Centro del agua para zonas áridas y semiáridas de América latina y el Caribe), para obtener una metodología estandarizada y consolidada para la delineación y mapeo de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Está diseñado y desarrollado de tal forma que con la información meteorológica histórica de las diferentes variables, se estiman los diversos parámetros, que en su conjunto, dan una visión del comportamiento natural de la lluvia y su relación con el riesgo de erosión hídrica de los suelos.

ÍNDICE DE ARIDEZ

Se adoptó un índice que permite definir los lapsos de deficiencia y excedencia climática de agua en un período específico, el cual está relacionado básicamente con la precipitación y la evapotranspiración de referencia en el sistema considerado; se utilizó la relación propuesta en el Atlas Mundial de Desertificación (UNESCO, 2010):

$$IA = \frac{p_m}{ET_o}$$

Donde:

p_m = precipitación media del período (mm)

ET_o = evapotranspiración de referencia del período

Expresa la relación entre la precipitación anual promedio y la evapotranspiración

potencial en un área determinada, divide las tierras en húmedas y secas. Las tierras secas o zonas áridas a su vez son clasificadas en hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas.

Tabla 1: Clasificación del índice de aridez IA

IA	CLASIFICACIÓN
<0.05	Hiperárida
0.05 a < 0.20	Árida
0.20 a < 0.50	Semiárida
0.50 a < 0.65	Subhúmeda seca
0.65 a 1.0	Subhúmeda húmeda
>1	Húmeda

AGRESIVIDAD CLIMÁTICA

Las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas son frágiles y sensibles a la desertificación (degradación de la vegetación y especialmente de los suelos), siendo la erosión hídrica uno de los principales indicadores asociados, razón por la cual es importante determinar la agresividad de las lluvias a través de los índices.

Índice de Fournier Modificado

Arnoldus (1980), propuso una corrección del Índice de Fournier (IF) en que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses.

Este índice modificado de Fournier (IFM) caracteriza la agresividad de la precipitación y se calcula de la siguiente forma:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Donde:

p_i = precipitación mensual (mm)

P = precipitación anual (mm)

El cálculo de IFM se hace para cada año y luego se calcula el promedio, se clasifica según la tabla 2, (PHI, 2006)

Tabla 2. Clasificación del Índice de Fournier Modificado (IFM)

IFM	Clasificación
0 – 60	Muy bajo
60 – 90	Bajo
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alto
> 160	Muy alto

Índice de concentración de la precipitación (ICP).

Con el propósito de estimar la agresividad de las lluvias, a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales, Oliver (1980), propuso un índice de concentración o estacionalidad de las precipitaciones (ICP), que se obtiene mediante la expresión.

$$ICP = 100 \frac{\sum t}{P}$$

Donde:

ICP: Índice de concentración de la precipitación, en %

Pi: precipitación mensual (mm)

P: precipitación media anual (mm)

Los mayores valores del ICP indican alta estacionalidad, es decir grandes diferencias entre las temporadas secas y lluviosas. Valores pequeños, indican poca diferencia entre los meses lluviosos y los meses secos.

El valor de ICP reviste un gran interés, por la incidencia de la precipitación sobre la erosión del suelo, que genera una dinámica más activa cuanto mayor es la concentración en la temporada de lluvias. El rango convencional de variación va desde 8.3 hasta 100% (Cuadro 3). El cálculo del ICP se hace para cada año y luego se calcula el promedio (PHI, 2006).

Tabla 3. Clasificación del Índice de Concentración de la Precipitación (ICP)

IPC	CLASIFICACIÓN
8.3 – 10	Uniforme
10 – 15	moderadamente estacional
15 – 20	estacional
20 – 50	altamente estacional
50 – 100	Irregular

Índice de Erosividad Total (IET).

El índice de Fournier Modificado (IFM) evalúa de manera directa la agresividad de las precipitaciones, pero su efecto es diferente dependiendo de la forma en que la actividad pluvial se distribuye a lo largo del año, información que aporta el ICP, la combinación de ambos genera el índice de Erosividad Total (IET), mismo que se clasifica según la tabla 4, está expresado de acuerdo a la ecuación siguiente: (Vega y Febles, 2008).

$$IET = IFM * ICP$$

Tabla 4. Clasificación del Índice de Erosividad Total (IET)

IET	CLASIFICACIÓN
< 1500	Baja
1501 – 2500	Moderada
2501 – 5000	Alta
> 5000	Muy Alta

RESULTADOS

El departamento de Tarija posee diferentes pisos altitudinales y se distinguen 3 provincias fisiográficas: al este la Cordillera Oriental con alturas que van desde los 900 a 4.600 msnm, en la región central el Subandino con alturas entre los 360 a 2.300 msnm y al oeste la llanura Chaco-Beniana (Zonisig, 2001).

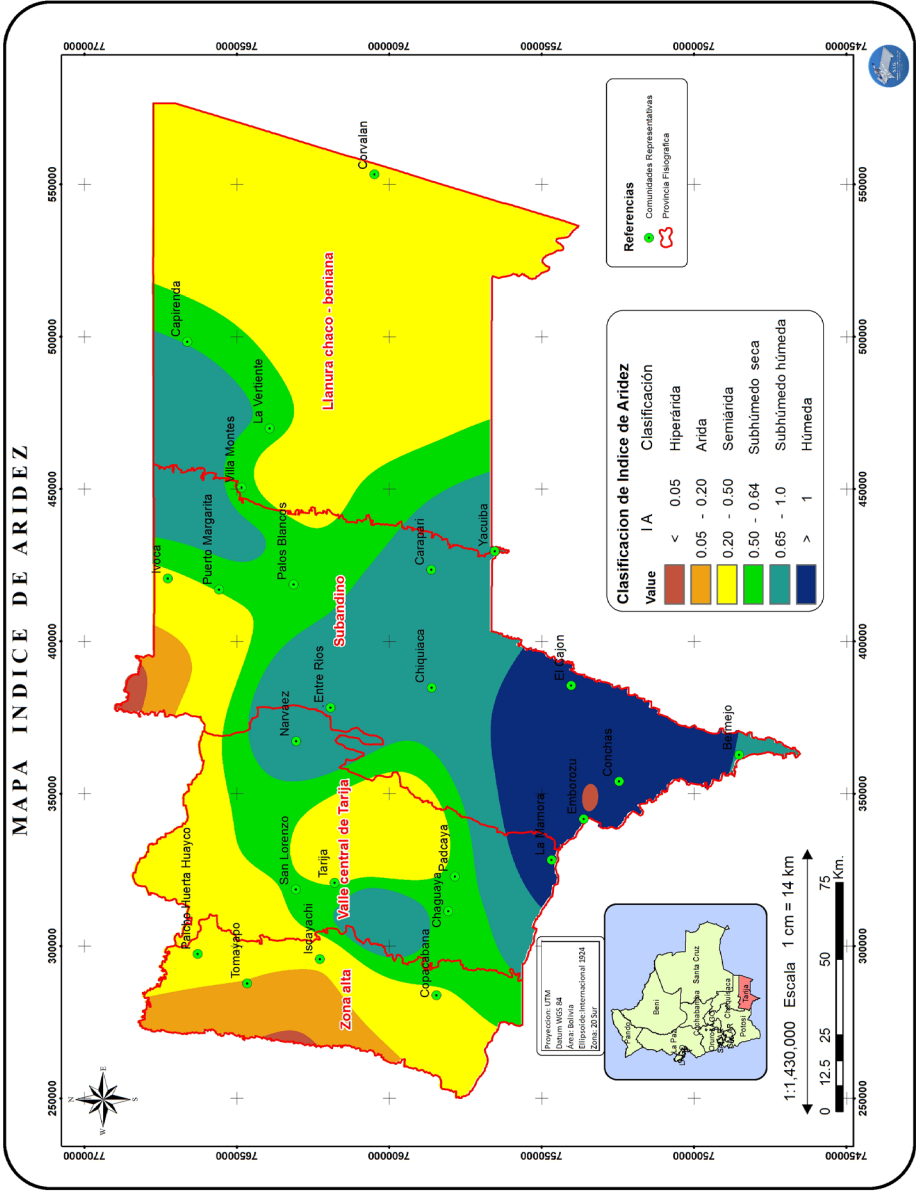
Índice de Aridez.

El índice de aridez relaciona la precipitación con la evapotranspiración de referencia, con valores menores a 0,05 para zonas hiperáridas y mayores a la unidad para zonas húmedas.

En la figura 1, se observa que el departamento de Tarija presenta todas las clasificaciones, pero la mayor parte corresponde a la clasificación semiárida que representa el 44% (16.273 Km²) de la superficie total. La zona hiperárida ocupa el 0,5% (183 km²) de la superficie. Tabla 5

La zona árida corresponde a la zona noroeste del departamento, en las riberas del río San Juan del Oro, la comunidad de El Puente.

Figura 1: Índice de Aridez



El semiárido y subhúmedo seco predominan al este del departamento en la región del chaco, así mismo en gran parte del valle central y en la zona alta, incluyendo los cañones de Tomayapo y Paicho.

El sub andino tiene características de subhúmedo y húmedo, coincidiendo con la mayor pluviosidad anual.

Tabla 5. Superficie del Índice de Aridez

Índice de Aridez	Clasificación	Superficie Km²	%
< 0.05	Hiperárida	183	0.5
0.05 - 0.20	Árida	1,643	4
0.20 - 0.50	Semiárida	16,217	
0.50 - 0.65	Subhúmeda seca	6,999	19
0.65 - 1	Subhúmeda húmeda	8,638	23
> 1	Húmeda	3,325	9

Figura 2. Índice de Fournier Modificado

Índice de Fournier Modificado
Agresividad de las lluvias a través del índice.

De la figura 2, se tiene que la agresividad de la precipitación varía de muy baja a baja en la zona alta del departamento que incluye Yunchará, Iscayachi, El Puente y los cañones de Paicho y Tomayapo.

La agresividad es baja a moderada en la parte central del valle central y gran parte del Chaco, siendo la precipitación muy agresiva en el Subandino especialmente en las regiones de Emborozú y Bermejo.

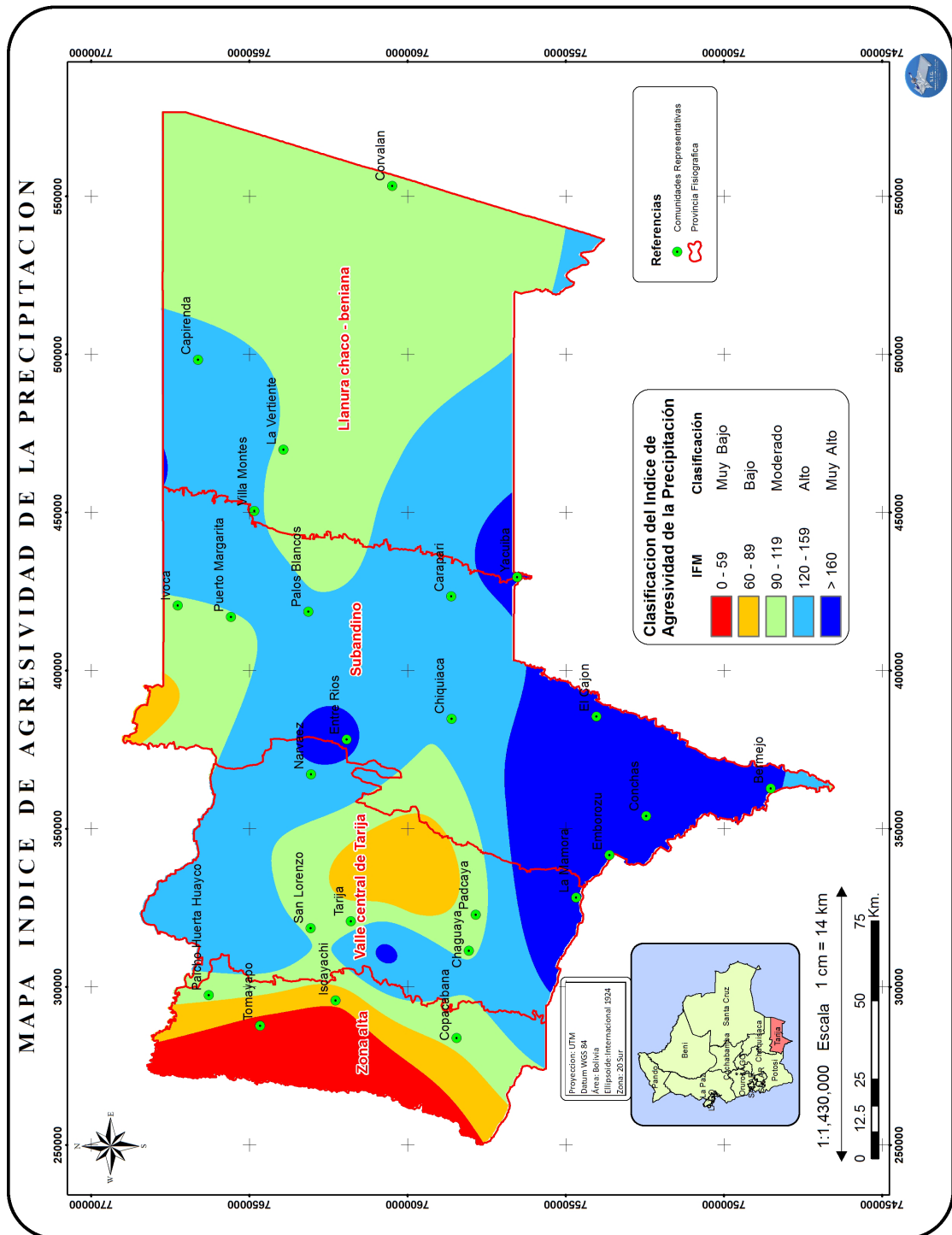


Figura 3. Índice de Concentración de la precipitación

La figura 3, muestra que en el departamento de Tarija la lluvia es moderadamente estacional en el valle central, Subandino y en el Chaco, es decir que se presentan 2 épocas bien diferenciadas, una época seca y otra con lluvias, que van de octubre a marzo normalmente.

La zona alta tiene una mayor concentración de las lluvias, es decir que el período de lluvias se distribuye en pocos meses del año, de noviembre a febrero.

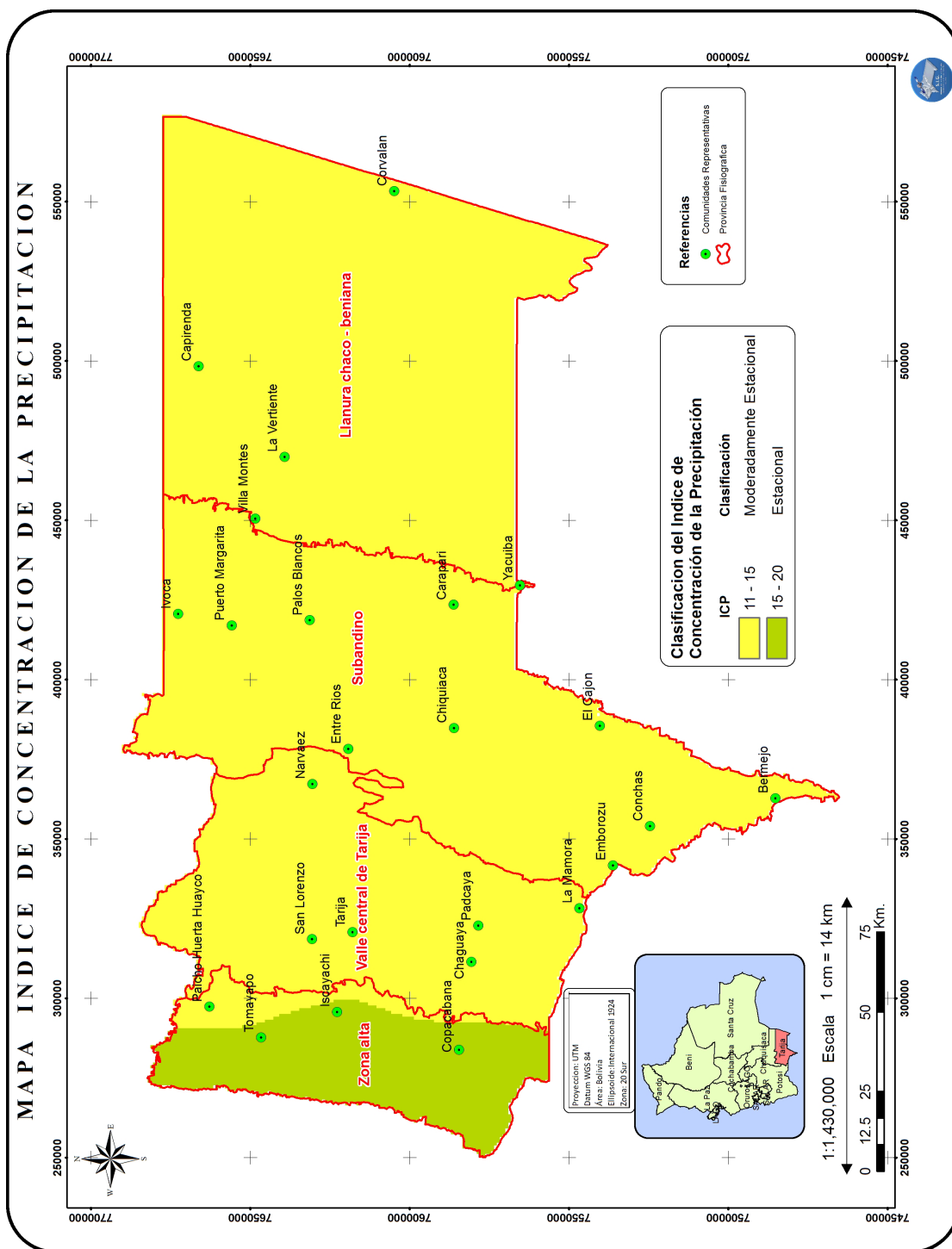
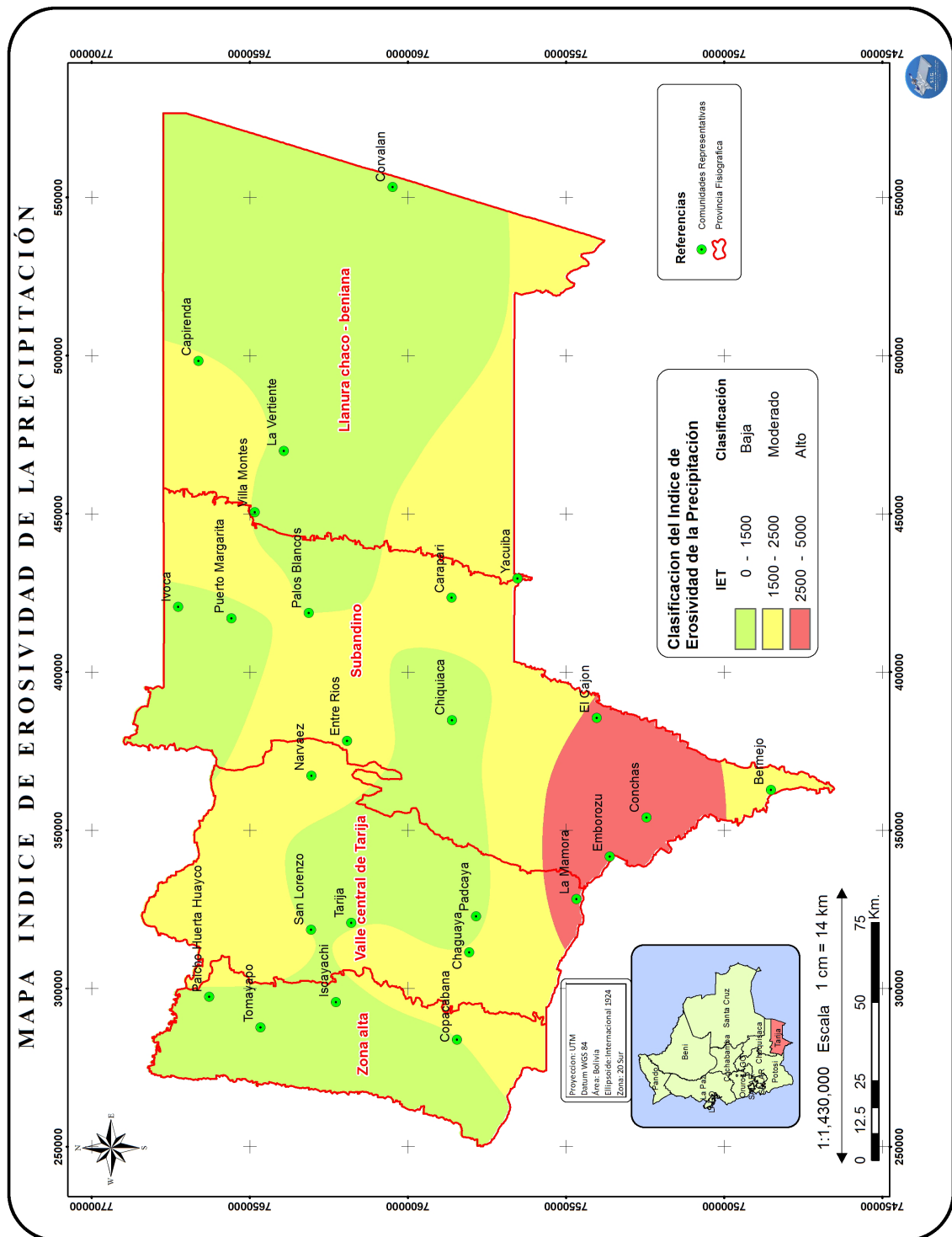


Figura 4. Índice de Erosividad de la precipitación

Índice de Erosividad Total (IET).

La figura 4 resume el potencial erosivo de la precipitación, se puede observar que la erosividad es baja en la zona alta, gran parte del valle central y la llanura chaco-beniana; moderada en parte del Subandino y parte del valle central y el chaco. En la región sur del Subandino la erosividad de la lluvia es alta, en esta región se encuentra la reserva nacional de flora y fauna Tariquia.



Si bien la vegetación en la zona alta es del tipo pastizales, arbustos altoandinos y matorrales xerofíticos, es decir es vegetación rala, poco densa que dejan al descubierto gran parte de los suelos, la erosividad de la precipitación es baja, sin embargo es necesario realizar medidas de protección de suelos y repoblación de especies vegetales dado el riesgo por la erosividad de las precipitaciones.

La llanura chaqueña presenta un índice de erosividad bajo a moderado, en esta región domina un bosque extremadamente xerofítico, mayormente espinoso, ralo y bajo; con árboles emergentes en forma rala o en manchas.

La región del Subandino presenta un índice de erosividad en su mayor parte entre bajo y medio, en estas zonas la vegetación dominante corresponde por una parte al bosque del chaco serrano generalmente ralo, bajo y caducifolio, con un estrato arbustivo denso a ralo, y por otra parte presenta un bosque de subhúmedo de transición conformando una masa boscosa discontinua.

Al sur del Subandino la erosividad de la lluvia es alta, coincidiendo con que la mayor cantidad de lluvia acumulada anual en el departamento de Tarija se da en esta región, en promedio llueve 2 metros al año en Emborozú. La vegetación corresponde a bosque húmedo de la selva Tucumano-boliviana, los bosques generalmente son densos, mayormente siempre verdes, medio a altos de estructura compleja con dos a tres estratos.

CONCLUSIONES

- Los índices de agresividad climática pueden ser una buena alternativa para determinar zonas de riesgo de erosión dada la simplicidad de sus cálculos.
- En el departamento de Tarija se presentan todas las categorías de Aridez, pero la mayor parte corresponde a Se-

miárida que representa el 44% (16.273 Km²) de la superficie total. La zona hiperárida ocupa el 0,5% (183 km²) de la superficie total del departamento.

- La agresividad de la precipitación va de muy baja a baja en la zona alta; es baja a moderada en la parte central del valle central y gran parte del Chaco, siendo la precipitación muy agresiva en el Subandino especialmente en las regiones de Emborozú y Bermejo.
- La lluvia es moderadamente estacional en el valle central, Subandino y en el Chaco, es decir que se presentan 2 épocas bien diferenciadas, una época seca y otra con lluvias, que va de octubre a marzo normalmente.
- La erosividad de la precipitación es baja en la zona alta, gran parte del valle central y la llanura chaqueña; moderada en parte del Subandino y parte del valle central y el chaco. En la región sur del Subandino la erosividad de la lluvia es alta, en esta región se encuentra la reserva nacional de flora y fauna Tariquía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cepeda García M, 2015. Estimación del Índice de Agresividad Climática Bajo Escenarios de Cambio Climático y su Implicación en la Perdida de Suelo en la Cuenca Ubaté – Suárez, Tesis de Ingeniera Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.
2. Hämmerly R; Cristanchi M; Cristina, Ignacio M.; Basán N, 2018. Escenarios Hidrológicos Fluctuantes en una Región Húmeda y su Relación con la Disponibilidad de Agua. Buenos Aires: Aqua-LAC - Vol. 10 - N° 1 - Mar.

3. PHI. 2006. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de América Latina y El Caribe . Programa Hidrológico Internacional, UNESCO. Documento Técnico No. 3. La Serena, Chile.
4. UNESCO (2010): Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe.- Proyecto Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe, CAZALAC, Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25.
5. Vega, M. B. y J. M. Flebes, 2008. La agresividad de la lluvia en áreas rurales de la provincia de La Habana como factor de presión en la sostenibilidad agroambiental. España: II Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos, Sostenibilidad e Indicadores.
6. Velasco I, Cortés G, 2009. Índices de Fournier modificado y de concentración de la precipitación, como estimadores del factor de riesgo de la erosión, en Sinaloa, México