

# AVANCES EN LOS CONOCIMIENTOS SOBRE LA INCIDENCIA DE LA VEGETACION SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACION EN PARAGUAY. I: ANÁLISIS CUALITATIVO DE AMBAS REGIONES NATURALES

[Advances in knowledge about the impact of vegetation on evapotranspiration in Paraguay. I: qualitative analysis of both natural regions]

JORGE ACUÑA<sup>1</sup>; MARCELO RUFFINELLI<sup>2</sup> & FÁTIMA MERELES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Innovación e Información Geográfica, (CIIG), Fundación Parque Tecnológico Itaipú, Paraguay

<sup>2,3</sup>Desarrollo Territorial, Fundación Parque Tecnológico Itaipú, Paraguay

<sup>1</sup>[jorge.acuna@pti.org.py](mailto:jorge.acuna@pti.org.py); <sup>2</sup>[marcelo.ruffinelli@pti.org.py](mailto:marcelo.ruffinelli@pti.org.py); <sup>3</sup>[fmereles@sce.cnc.una.py](mailto:fmereles@sce.cnc.una.py)

**RESUMEN:** Se analiza cualitativamente y se comparan los gradientes de evapotranspiración en ambas regiones naturales del Paraguay, tomando como base los tipos de formaciones vegetales existentes en base a las imágenes satelitales proveídas por el sensor MODIS/NASA, además de las variaciones intraestacionales según los meses del año y la presencia de la vegetación y se describen cualitativamente los Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), considerando algunos parámetros climáticos. La región Oriental presenta gradientes menos elevados que el Chaco, relacionados directamente con los tipos de formaciones vegetales presentes; igualmente se observan diferencias en la región Oriental debido a la deforestación y de formaciones vegetales con dominancia de herbazales, como lo son los humedales; los análisis intraestacionales demuestran resultados acordes con las características de la vegetación según el clima estacional y finalmente el análisis del NDVI corrobora las demás observaciones realizadas.

**Palabras clave:** evapotranspiración, formaciones vegetales, regiones naturales.

**SUMMARY:** Are analyzed qualitatively and are compared the gradients of evapotranspiration on both natural regions of Paraguay, taking as base the patterns of vegetal formations exist in base to satellite images provided by the sensor MODIS/NASA, furthermore the variations intra seasons depending of the months of year and the presence of vegetation and are described qualitatively the Normalized Differences Vegetation Index (NDVI), considering some climatic parameters. The Oriental region present gradients less high that in the Chaco, directly connected with the patterns of vegetation formations present, equally are observed differences in the Oriental region due to the deforestation and vegetation formations with dominance of herbals, as are the wetlands; the analysis intra seasons show results according with the features of the vegetation as the season climate and finally the NDVI corroborate the remainder observations made.

**Key work:** evapotranspiration, vegetal formations, natural regions .

*Manuscrito recibido: 13 de marzo de 2012.*

*Manuscrito aceptado: 8 de abril de 2012.*

## INTRODUCCIÓN

Se entiende por evapotranspiración a la transferencia total de agua desde la superficie terrestre con vegetación hacia la atmósfera; se trata de la conjunción de dos factores: la evaporación de las masas de agua (lagunas, estanques, lagos, otros) y la transpiración de los vegetales, que es el agua absorbida desde el suelo por las raíces de los mismos y que sale por medio de los aparatos estomáticos ubicados en las hojas, hacia la atmósfera. La dificultad de discriminar Evaporación y Transpiración en condiciones naturales, obligó a introducir el concepto de Evapotranspiración, por lo tanto este concepto se refiere a la transferencia total del agua desde una superficie con vegetación a la atmósfera; este proceso se encuentra muy relacionado a la energía radiactiva proveniente del sol, la que es usada para evaporar el agua y calentar las superficies: suelo y vegetación (Domingo *et al.*, 2003).

La evapotranspiración es un componente fundamental del balance hídrico y un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera; el estudio cuantitativo de la misma se hace imperativo cuando se trata de planificar y gestionar los recursos hídricos, estudios ambientales y ecológicos así como una gran variedad de especialidades científicas. Sin embargo es importante recalcar que los procesos de evapotranspiración son complejos y están ligados a: la disponibilidad de agua en la superficie del suelo, a las variables fisiológicas de la vegetación y por último a las variables meteorológicas desde la radiación espacial, por lo que siempre los valores son relativos en un punto y tiempo.

La importancia cuantitativa del proceso es tal que como promedio global el 57% de las precipitaciones son devueltas a la atmósfera por evapotranspiración, alcanzando valores entre 90 y 100% en zonas áridas y desérticas, (Sánchez-Toribio, 1992).

El Paraguay es un país mediterráneo que se encuentra en el centro de América del Sur, con aprox. 408.000 km<sup>2</sup> de superficie, dividida en dos regiones naturales muy características: la región Oriental, con unos 240.000 km<sup>2</sup> y la Occidental o Chaco con unos 260.000 km<sup>2</sup> de superficie, separadas por el río Paraguay.

Ambas regiones naturales presentan características climáticas similares en el área de influencia del mismo río a lo largo de su recorrido, pero a medida que las distancias hacia el Este y Oeste van en aumento, los valores de precipitación y temperaturas medias se hacen más específicos para cada región. Los valores climáticos son los que regulan los grandes tipos de formaciones vegetales presentes en cada una de las regiones naturales y las características de los suelos determinan las especies dominantes, frecuentes y abundantes para cada formación vegetal.

La superficie del Paraguay es bastante plana, con elevaciones poco relevantes que no superan los 1.000 m y que no tienen mucha continuidad. La falta de importantes accidentes orográficos sumado a un clima sub-tropical bastante benigno, hace que el país se convierta en una zona en donde convergen varios tipos de formaciones vegetales y se transforme en una gran zona ecotonal, Mereles (1998); en efecto y como un ejemplo, los bosques semi húmedos del Chaco más húmedo se constituyen en una gran formación de transición en donde el resultado del mismo es la convergencia de especies

que provienen de los bosques amazónicos, de las sabanas de cerrado, de los bosques húmedos y semi caducifolios de la región paranaense y de las formaciones más xerófitas y semi caducifolias del Chaco más seco. Igualmente, el complejo de la gran formación paranaense, denominado Bosque Atlántico del Alto Paraná *sensu lato*, es un mosaico de vegetación en donde convergen especies del cerrado y del bosque húmedo semi-caducifolio que penetra desde el Atlántico hacia el interior.

### **El clima en el Paraguay**

Se caracteriza por un clima sub-tropical a tropical hacia el norte y tropical templado hacia el sur, con una media de aproximadamente 21<sup>a</sup> a 23 °C y una precipitación media de unos 900 mm en promedio en la región Oriental y 700 mm en la región Occidental o Chaco; la región Oriental físicamente se presenta muy rica en cuencas y micro cuencas hidrográficas, con cursos de agua de caudales diferentes, en tanto que la Occidental se presenta muy plana, con una planicie descendente poco perceptible con dirección NO-SE, con lagunas y otro tipo de depresiones con aguas dulces y saladas, ríos temporarios de aguas salobres a saladas y dos cursos importantes para la planicie: el Pilcomayo y el Paraguay. Orográficamente, esta región presenta formaciones aisladas como las del Macizo cerro León y otras sobre la costa del río Paraguay, (complejo cerro Galván y los de la región de Olimpo); orográficamente, la región Oriental se presenta con ondulaciones y alturas que no superan los 1000 m s.n.m., alternadas con planicies, por lo que la diversidad vegetal se ve muy influenciada por la flora de otras provincias fitogeográficas y biomas regionales como la Amazonia, el Cerrado, la Mata Atlántica y la región pre-andina; si bien el territorio en general presenta algunas características comunes con otras ecorregiones, tiene sus propias peculiaridades cuando se trata ya de superficies más estrechas.

A los efectos de tener una idea acabada de las diferencias en los valores de evapotranspiración en el país, es necesario realizar una breve reseña de los grandes tipos de vegetación dominantes en cada una de las dos regiones naturales:

### **Los bosques**

Se denominan así en cuanto las especies que conforman estas formaciones superan los 5 m de altura; en su estructura vertical, aparecen escasamente estratificado, con no más de 3-4 estratos de vegetación, llegando el dosel primario o mayor a unos 25 m de altura como máximo y solamente en algunos remanentes; en la mayor parte de ellos, la altura de los árboles del primer dosel ya no sobrepasa los 15-18 m.

**Bosques sub-húmedos y semi caducifolios:** se desarrollan con una precipitación que no superan los 1700 mm de precipitación, sobre suelos francos a franco-arenosos y pierden sus hojas en forma parcial o a veces total, a los efectos de la floración; se estima que más del 50% de las especies leñosas pierden sus hojas al menos una vez en el año; poseen entre 3 a 4 estratos de vegetación, con lianas y epífitas en su interior. Aparecen en el centro de la región Oriental. Especies preponderantes: *Albizia niopoides* (ibyrá jhú), *Allophylus edulis* (cocú), *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (curupa'y curú), *Apuleia leiocarpa* (ibyrá peré), *Astronium balansae* (urunde'y), *Chloroleucon*

*tenuiflorus* (tataré), *Cordia glabrata* (petereby morotí), *Copaifera langdorsfii* (cupa'y), *Eugenia uniflora* (ñangapiry), *Guarea kunthiana* (yrupé rupá), *Jacaratia spinosa* (jacarati'á), *Patagonula americana* (guayaybí), *Peltophorum dubium* (ibyrá pytá), *Protium heptaphyllum* (ibyrá ysy), *Sorocea bonplandii* (ñandypa'í), *Handroanthus heptaphyllus* (lapacho, tajy), *Xylopia brasiliensis* (ibyrá catú).

Los bosques sub-húmedos y semi-caducifolios también se desarrollan en la región Occidental o Chaco, a lo largo del litoral del río Paraguay hacia el Este y en la mesopotamia del río Paraguay con el Pilcomayo, con precipitaciones que llegan hasta 1400 mm en el área de inundación del río Paraguay; el sustrato es completamente diferente, dominando el arcilloso; HOLDRIDGE (2000) denomina a esta formación “bosque templado seco”; Morello & Adamoli (1974) como “bosque denso monoespecífico” y Spichiger *et al.*, (1991) como “bosque xeromesófilo”.

Este bosque es muy conocido con el nombre vernacular de “quebrachal con quebracho colorado” aludiendo a la presencia dominante de *Schinopsis balansae* (quebracho colorado). Los bosques mencionados se encuentran ubicados en los barrancos altos en la margen derecha del río Paraguay desde la localidad de Bahía Negra hasta aproximadamente Villa Hayes y se extiende hacia el Oeste.

Los árboles en este bosque llegan a unos 25 m de altura, bastante denso y con abundantes lianas, con un sotobosque a veces anegable por lluvias o inundables por las crecidas de algunos ríos que riegan la zona. Esta formación es una transición entre aquellas xeromorfás del Chaco más seco y los bosques más húmedos de la región Oriental (Mereles, 1998). Especies preponderantes: *Astronium urundeuva* (urunde'y), *Caesalpinia paraguariensis* (guayacán), *Diplokeleba floribunda* (palo piedra), *Enterolobium contortisiliquum* (timbó), *Gleditsia amorphoides* (espina de corona), *Microlobius foetidus* spp *paraguensis* (ibyrá né), *Cordia americana* (guajaybí), *Peltophorum dubium* (ybyrá pytá), *Phyllostylon rhamnoides* (palo lanza), *Schinopsis balansae* (quebracho colorado), *Syagrus romanzoffiana* (pindó), *Handroanthus heptaphyllus* (lapacho, tajy).

**Bosques húmedos y semi caducifolios:** son aquellos que se desarrollan entre 1700 y 2000 mm de precipitación media anual; son los denominados “bosques paranaenses” y que forman parte del complejo del “bosque Atlántico del Alto Paraná” en la región Oriental. Se caracterizan por tener entre 4-5 estratos de vegetación, con abundantes lianas y epífitas, muy similar a los bosques sub-húmedos, pero con una mayor densidad de la vegetación y donde aproximadamente el 30% de las especies leñosas son deciduas. Ambos bosques mencionados comparten especies leñosas características, tales como: *Alsophilla cuspidata* (chachí), *Balfourodendron riedelianum* (guatambú), *Cedrela tubiflora* (cedro), *Cordia trichotoma* (peterevy), *Chrysophyllum gonocarpum* (agua'í), *Didimopanax morototoni* (amba'y guasú), *Euterpe edulis* (palmito), *Holocalyx balansae* (ibyrá pepé), *Machaerium stipitatum* (ysapu morotí), *Miltonia flavescens* (ca'í pacobá), *Myrocarpus frondosus* (inciense), *Ocotea puberula* (laurel guaycá), *Oncidium*

*pumilum* (orquidea), *Syagrus romanzoffiana* (pindó), *Handroanthus heptaphyllus* (lapacho, taji).

**Bosques higrófilos ribereños y bosques anegables:** son formaciones ligadas al agua, sea de las inundaciones o de las lluvias. Según el caso, se desarrollan a lo largo de los grandes ríos, (Paraná, Paraguay), otros ríos de menor caudal, arroyos y otros cuerpos de agua, permanentes o temporarios como las lagunas, los riachos y aguadas. En algunos casos, como en el Chaco, los bosques anegables por lluvias se ubican en las depresiones del terreno, con suelos por lo general muy ricos en arcillas; entre estos se encuentran a los que se los denomina comúnmente con los nombres de: “palo bobales” con dominancia de “palo bobo” (*Tessaria integrifolia*), “chañarales”, con dominancia del “chañar” (*Geoffroea decorticans*), “labonales”, con dominancia del “labón” (*Tabebuia nodosa*) entre otros (Mereles, 2004). Las depresiones con estas formaciones particulares se encuentran distribuidas en casi todo el territorio chaqueño. Las especies se caracterizan porque soportan cierto grado de asfixia en los suelos, originados por las inundaciones temporales a las que se encuentran sometidas. Algunas especies son plásticas y comunes en ambas regiones naturales, en tanto que otras tienen preferencia marcada por algún tipo de sustrato, como los que se encuentran en la región Occidental.

Especies preponderantes: *Albizia inundata* (timbo'y), *Aporosella chacoensis*, *Calycophyllum multiflorum* (palo blanco), *Celtis pubescens* (yuasy'y), *Crataeva tapia* (payaguá naranja, yacaré pito), *Chloroleucon tenuiflorus* (tataré), *Chrysophyllum marginatum* (picasú rembi'ú), *Croton urucurana* (sangre de drago), *Cynometra bauhinifolia*, *Enterolobium contortisiliquum* (timbó), *Eritrina crista-galli* (ceibo), *Geoffroea decorticans* (chañar), *Geoffroea spinosa*, *Inga verna* spp *affinis*, *Inga uruguensis* (ingá), *Ocotea dyospirifolia* (laurel), *Phyllostylon rhamnoides* (palo lanza), *Prosopis ruscifolia* (vinal, viñal), *Salix humboldtiana* var. *martiana* (sauce criollo), *Senna scabriuscula*, *Tabebuia nodosa* (labón), *Tessaria integrifolia* (palo bobo), *Sapium haematospermum* (curupica'y), *Vitex megapotamica* (tarumá), *Vochysia tucanorum* (cuati'y).

**Bosques xeromorfos:** se desarrollan únicamente en la región Occidental o Chaco, con precipitaciones cuyo rango variable va entre los 500 a 800 mm o más de precipitación anual, sobre suelos arcillosos, muy duros y estructurados en seco. La estructura vertical es la de un bosque con 3-4 especies en el dosel superior, las que llegan a alcanzar unos 20 m de altura y que se disponen en forma muy aislada, bastante abierto, al igual que el segundo estrato, más rico en especies, igualmente con una disposición aislada y conocido vulgarmente con el nombre de “matorral”, el que llega a unos 10-12 m como máximo y donde se concentran las especies típicas de bosque xeromorfo del Chaco.

Las especies preponderantes en el dosel superior, son: *Ceiba insignis* (samu'hú), *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco) y *Schinopsis quebrachocolorado* (quebracho coronillo); por debajo se desarrolla un segundo estrato, con preponderancia de algunas especies suculentas y muy espinosas: *Acanthosyris falcata*

(yvá he'ê), *Achatocarpus praecox*, *Bougainvillea campanulata*, *Bumelia obtusifolia* (palo negro), *Caesalpinia paraguarienses* (guayacán), *Capparis retusa* (poroto de monte), *Capparis salicifolia* (payaguá naranja), *Capparis speciosa* (falsa sandía, sachá sandía), *Capparis tweediana* (duraznillo), *Castela coccinea*, *Ceiba insignis*, *Cercidium praecox* (verde olivo, brea), *Cnidoscolus vitifolius*, *Cordia bordasi* (rosa del Chaco), *Jacaratia corumbensis* (yvy'á), *Mimosa detinens*, *Mimoziganthus carinatus*, *Prosopis kuntzei*, *Quiabentia pflanzii* (tuna), *Ruprechtia triflora* (guaimí piré), *Schinopsis quebracho colorado* (quebracho colorado), *Stetsonia coryne* (cardón), *Trithrinax schyzophylla* (carandilla), *Ziziphus mistol* (mistol, mbocayá'í), entre otras.

Con los cambios en los suelos, de muy impermeables a más francos y profundos hacia el Este, van apareciendo otras especies propias de esos sitios, con la disminución sustancial de las suculentas; prácticamente desaparecen algunas especies, aparecen otras y algunas permanecen, evidenciando su plasticidad y al mismo tiempo tornándose más denso a medida que la formación se acerca al río Paraguay, con mayores rangos de precipitación. Las especies preponderantes, son las siguientes: *Acosmium cardenasii*, *Aloysia virgata*, *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (curupa'y), *Anadenanthera peregrina* (curupa'y curú), *Amburana cearensis* (trébol), *Aspidosperma triternatum*, *Athyana weimannifolia*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cassearia gossypiosperma*, *Chloroleucon chacoense* (pata de buey'í), *Cochlospermum tetraporum*, *Helietta apiculata*, *Luehea divaricata* (ca'á ovetí), *Philodendron undulatum* (guembé), *Pisonia zapallo*, *Pseudobombax argentinum*, *Schinus fasciculata*, *Tabebuia impetiginosa* (lapacho colorado) y *Terminalia argentea*, entre otras.

Es importante señalar, a los efectos de la evapotranspiración que las especies leñosas de los bosques en el Paraguay son en su mayoría semi caducifolias, en muchos casos a los efectos de la floración como el caso de *Handroanthus heptaphyllus*; esta característica afecta en la región Occidental al menos al 65% de las especies del bosque xeromorfo, Mereles & Degen (1993), si bien no se conocen datos cuantitativos para la región Oriental, probablemente la proporción sea idéntica.

### Los cerrados

Constituyen formaciones vegetales de tipo sabanoideo, que se desarrollan sobre suelos muy sueltos, arenosos, ácidos, con isletas de árboles que se agrupan cada tanto, dejando grandes espacios ocupados por hierbas, por lo general rizomatozas, sufruticasas y frecuentemente también algunas palmeras, acaules o no, propias de este tipo de formación. Las islas de árboles y arbustos, que no sobrepasan los 3-4 m de altura sino excepcionalmente, pueden ser más densas, conformando los denominados “cerradones” o cerrados transicionales con las formaciones boscosas, en donde la vegetación arbórea domina sobre los campos; o pueden ser más abiertas, conformando los denominados “campos cerrados”, en donde los campos con herbazales dominan sobre la vegetación leñosa.

Estas formaciones se presentan en el Noreste de la región Oriental y el Norte de la Occidental.

Las especies preponderantes son las siguientes: *Allagoptera leucocalyx* (yata'í poñy), *Anacardium humile* (caju'ra), *Annona amambayensis* (aratiku guasu), *Annona dioica* (araticú ñu), *Butia paraguayensis* (jata'í), *Calliandra brevicaulis* (niño azoté), *Caryocar brasiliense* (aguará yu'á), *Cochlospermum regium* (mandyjú sayjú), *Commiphora leptophloeos*, *Eriotheca gracilipes*, *Gomphrena macrocephala* (rosa del campo), *Helicteres guazumaefolia*, *Hymenaea coubaril*, *Jacaranda decurrens* (carová'í), *Magonia pubescens*, *Mandevilla polaina*, *Macrosiphonia petraea* (eiruzú ka'á), *Mimosa dolens*, *Pavonia edouardii*, *Pseudobombax tomentosum*, *Riedeliella graciliflora*, *Senna paradyction*, *Sida cerradoensis*, *Simira sampaioana*, *Sterculia striata*, *Syagrus petraea* (coquillo), *Tabebuia ochracea* (tajy say'yú), *Taccarum weddelianum*, *Viguiera linearifolia* (árnica del campo, falsa árnica), *Zeyheria tuberculosa*, *Zornia crinita*, entre otras.

### Las sabanas

Son formaciones muy frecuentes en Paraguay y de hecho, las formaciones de “cerrados” son consideradas sabanas. Constituyen grandes superficies de herbazales con leñosas agrupadas en islas o leñosas aisladas; se desarrollan en ambas regiones naturales del país; según los tipos de suelos imperantes y la intervención antrópica, las sabanas pueden ser: palmares, (con suelos hidromórficos o no), de espartillares, sabana parque, entre las comunes.

**Sabanas sobre médanos:** se desarrollan hacia el Noroeste del Chaco, en el área denominada “ de los médanos”, ubicadas al Noroeste de la región Occidental, en el Departamento de Alto Paraguay, donde la morfología predominante del terreno es la de los médanos, con crestas de varios metros de altura, típicos de la zona y formados por arenas eólicas provenientes de los ríos Grande y Parapití, en Bolivia; son suelos típicamente arenosos, siendo la precipitación en esta área, una de las más bajas del país: 400 mm/año. Se trata de una formación caducifolia donde las especies no pasan los 5 m de altura, constituyendo una cobertura muy discontinua, (Mereles, 2005). El Parque Nacional “Médanos del Chaco” posee las formaciones representativas de este tipo de vegetación. Especies preponderantes: *Acacia aroma* (aromita), *Agonandra excelsa*, *Aspidosperma pyriformis*, *Bauhinia argentinensis* (pata de buey), *Caesalpinia coluteifolia*, *Caesalpinia stuckertii*, *Gymnocalycium megatae*, *Heliotropium dunaense*, *Jacaranda mimosifolia* (jacarandá, caroba), *Opuntia quimilo* (quimilo, tuna), *Chloroleucon chacoense*, *Schinopsis corneta* (quebracho colorado), *Senna chlorochlada*, *Sacoila argentina*, *Stachytarpheta sp.*, *Ximena americana*.

**Sabanas de espartillares:** se desarrollan sobre los sedimentos aluviales (arenas y arcillas) que se encuentran en los paleocauces colmatados del Chaco, especialmente en el centro de la región Occidental; su fisonomía es la de una sabana con árboles aislados

sobre un tapiz dominado por el “espartillar” y otras especies de herbáceas, caracterizadas por ser rizomatosas, a veces con xilopodios y hojas coriáceas o pubescentes. Especies preponderantes: *Elionurus muticus* (espartillo), *Astronium fraxinifolium* (urunde'y), *Cnidoscolus albomaculatus*, *Craniolaria integrifolia*, *Evolvulus sericeus*, *Jacaranda mimosifolia* (jacarandá, caroba), *Lobelia xalepensis*, *Mimosa chacoensis*, *Pterogyne nitens* (yvapovó), *Schinopsis corneta* (quebracho), *Tabebuia aurea* (paratodo), *Waltheria indica*, *Zornia gemella*.

**Sabanas palmares:** constituyen ambientes ya modificados antropicamente y muy típicos del centro de la región Oriental y cuyos suelos friables, muy sueltos, muy arenosos y ácidos, ya han sido utilizados por el hombre (Mereles, 2004). Consta de un solo estrato de vegetación superior, acompañado de herbáceas propias de suelos modificados, con abundantes gramíneas. Especies preponderantes: *Acrocomia aculeata* (mbocayá), *Buddleja stachyoides*, *Chloris polydactyla*, *Cyperus diffusus*, *Fimbristylis complanata*, *Hyptis mutabilis*, *Rhynchelitrum repens*, *Schyzachyrium condensatum* (capi'i), *Senecio grisebachii* (agosto poty), *Setaria parvifolia* (pasto), *Solanum sisymbriifolium* (ñuatí pytá).

**Sabanas hidromórficas de caranda'y:** se desarrollan sobre suelos muy estructurados y duros en seco, arcillosos, anegables, inundables y salobres, siendo los periodos de inundación muy variables. La especie leñosa y única en el estrato superior, a condición de que no hubiera modificación antropica, es la palmera *Copernicia alba*, (carandá'y), acompañada de un rico estrato herbáceo, con especies que pueden soportar asfixia en los suelos por un periodo corto. Son propias del bajo Chaco o Chaco húmedo y todo el litoral del río Paraguay, sobre ambas márgenes, aunque en algunas áreas de la región Oriental aún permanecen, como formaciones relictuales, debido a las modificaciones hechas por el hombre. Especies preponderantes: en el estrato herbáceo: *Canna glauca* (achira), *Cleome spinosa*, *Diodia kuntzei*, *Eleocharis elegans*, *E. montana*, *Pfaffia glomerata*, *Phyla reptans*, *Rhynchospora scutellata*, *Setaria geniculata*, *Solanum spinosum*.

**Sabanas de saladares:** los salares son propios del territorio del Chaco y afloran especialmente en el centro-este de la región, en los Departamentos de Boquerón y Presidente Hayes (Mereles, 2004); probablemente tengan un origen endorreico; sus suelos son bastante blandos cuando húmedos, caracterizado por la presencia de abundante sal en el suelo, la que a veces forma una costra de 1-2 cm de espesor. Los salares por lo general constituyen áreas de inundación temporaria y se encuentran cerca de algún cuerpo de agua; su vegetación está constituida por un matorral que no supera los 2.5 m de altura, bastante achaparrado y con especies caracterizadas por tener hojas carnosas y caedizas, que soportan el contenido alto de sal, el que a su vez se halla sujeto a las precipitaciones zonales. Especies preponderantes: *Cyclolepis genistoides* (palo azul), *Grabowskia duplicata*, *Heterostachys ritteriana*, *Heliotropium procumbens*, *Holmbergia tweedii*, *Lophocarpinia aculiatifolia*, *Lycium cuneatum*, *Maytenus vitis-*



*idaea* (lengua yuky), *Sarcocornia perennis*, *Sesuvium portulacastrum*, *Tillandsia merelei*, entre otras.

### Los humedales

Son ecosistemas sumamente dinámicos, caracterizados por la presencia de agua, estancada o corriente y con límites difíciles de definir. Para el Paraguay, ya han sido abordadas diferentes descripciones para los tipos de vegetación (Mereles, 2004), los cuales tienen relación con el tipo de aguas, (lóticas o lénticas). Los tipos de vegetación son:

**Vegetación de los esteros y los saltos de agua:** están relacionadas directamente con el agua como sustrato único y las especies características no pueden prescindir del agua para sobrevivir; las mismas pueden tener varios hábitos de vida: flotantes sobre la masa de agua, radicantes y con agua cubriendo la base del vegetal, inmersa dentro del cuerpo de agua, etc. Las especies que se encuentran debajo de los saltos o “cataratas”, se caracterizan por tener sus raíces fotosintéticas, (siempre verdes), sus hojas siempre aplanadas semejantes a musgos o hepáticas, con los tallos casi siempre muy cortos y fuertemente adheridos a las rocas, frecuentemente formando cojines, muy variables morfológicamente.

Algunas de las especies de los ambientes mencionados, son las siguientes: *Apinagia guairaensis*, *Begonia cucullata* var. *cucullata* (agríal), *Callitriche deflexa*, *Canna glauca* (achira de agua), *Ceratopteris pteridoides* (lechuga de agua), *Costus arabicus* (caña brava), *Cyperus giganteus* (pirí), *Drosera communis* (mbororé), *Eichhornia azurea*, *Eichhornia crassipes* (camalote, aguapé puru'á), *Eleocharis montana* (junquillo), *Eryngium floribundum* (caraguata'i), *Heteranthera limosa* (aguapé miri), *Heteranthera reniformis* (aguapé'i), *Heteranthera zosterifolia* (aguapé cinta), *Hydrocleys modesta*, *Hydrocleys nymphoides*, *Laurembergia tetrandra*, *Lemna minor* (lenteja de agua), *Limnocharis flava*, *Mayaca sellowiana* (tatú py'a), *Mourera aspera*, *Muehlenbeckia sagittifolia* (juapecá pytá), *Myriophyllum aquaticum* (mil hojas), *Nymphaea gardneriana* (ninfea), *Nymphoides humboldtiana*, *Pistia stratiotes* (repollito de agua), *Podostemum atrichum*, *Podostemum undulatum*, *Polygonum punctatum* (ka'a tai), *Polygonum stelligerum* (ka'a tai guasú), *Pontederia cordata* var. *cordata* (aguapé apó), *Pontederia subovata* (aguapé aysy), *Potamogeton striatus* (guembé'y mí), *Rhynchospora globosa* (capi'i kysé), *Rumex obovatus*, *Schoenoplectus californicus* (pirí), *Thalia geniculata* (peguajhó), *Thalia multiflora* (peguajhó), *Tibouchina gracilis* (tataré'i), *Tristicha trifaria*, *Typha domingensis* (totora), *Typha latifolia* (totora), *Utricularia foliosa*, *Victoria cruziana* (yacaré yrupé), *Xyris jupicai* (membyveí'ja).

El objetivo del presente trabajo ha sido analizar cualitativamente las condiciones de evapotranspiración para el Paraguay, en base a mapas temáticos de evapotranspiración basados en sensores remotos. Para ello, se describe de manera general las características de la evapotranspiración en ambas regiones naturales del Paraguay; se analizan las variaciones intra estacionales según los meses del año y la presencia de la vegetación, en ambas regiones naturales; se describen cualitativamente los gradientes de

evapotranspiración en ambas regiones naturales del país, en base a los modelos de análisis de los sensores remotos; y los Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), considerando algunos parámetros climáticos

## MÉTODO

Los diferentes modelos de evapotranspiración se realizaron en base a las comparaciones de las imágenes satelitales según los datos del sensor MODIS/NASA.

Las imágenes fueron examinadas cada tres meses, en los siguientes meses: a) marzo, b) junio, c) setiembre y d) diciembre, coincidiendo esto con el cambio de estaciones climáticas y que corresponden en el hemisferio Sur a: a) la entrada del otoño b) la entrada del invierno c) la entrada de la primavera d) la entrada del verano.

Los rangos de evaporación obtenidos fueron relacionados no solo con el comportamiento del clima que responde a los diferentes meses del año sino también a los tipos diferentes de vegetación.

Los datos de las formaciones vegetales del país con sus características, fueron sacadas de la literatura.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

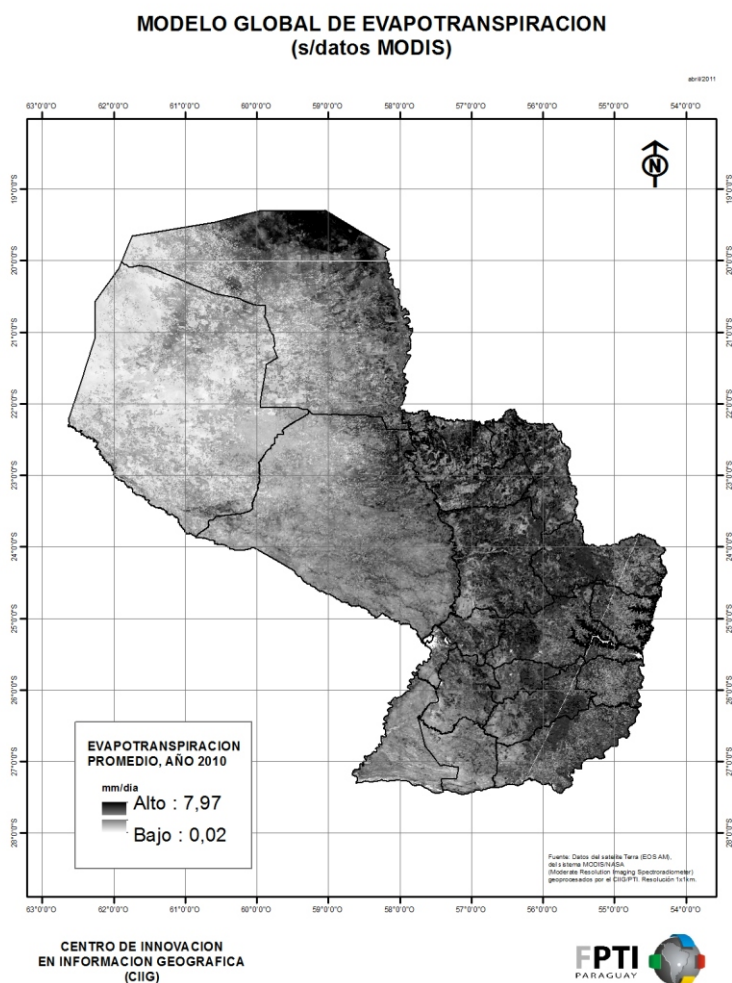
Analizando la imagen de un promedio general del año 2010, se observa que la evapotranspiración en la región Oriental es mucho mayor que en la Occidental o Chaco, en donde los valores disminuyen considerablemente en esta región desde el Centro hacia el Oeste; se observa también que en el extremo Norte de la misma hay un aumento de la evapotranspiración, al igual que las áreas aledañas al curso del río Paraguay, muy especialmente desde el Centro hacia el Norte (**Fig. 1**).

El valor más elevado del promedio fue de 7.97 mm por día en tanto que el más bajo fue de 0.02 mm/día en dicho año; en la **Fig. 1** se observa claramente que las zonas de promedio más bajo son las del extremo Oeste del Chaco (en Paraguay en las áreas de Fortín Esmeralda, zona de los médanos y Parque Nacional Médanos, las localidades de Pozo Hondo y Pedro P. Peña), por dos razones: la estructura de la vegetación, con las leñosas en general muy espaciadas entre sí, de naturaleza bastante achaparrada, la característica semi-caducifolia de dichas leñosas en los meses secos (junio a agosto), con un suelo muy ralo y expuesto a la radiación y el clima, dado que es la zona de mayor escasez de las lluvias (hasta 450 mm/año, en forma dispersa y en cantidades irregulares).

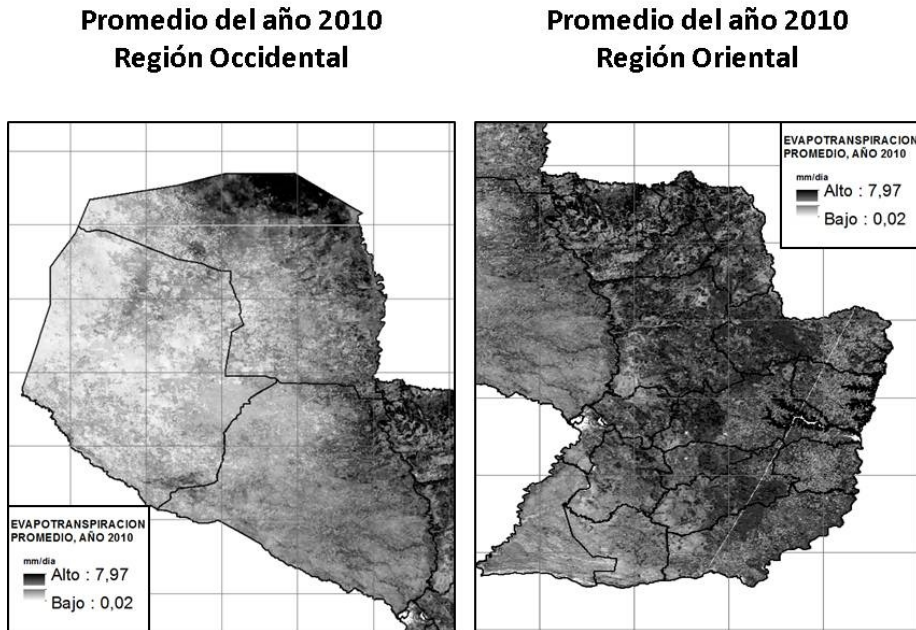
En la misma región se observa al extremo Norte y Noreste una de las zonas de mayor evapotranspiración de la región Occidental y que responde a la formación de los “cerradones”, que constituyen una transición entre la sabana clara arbolada en isletas (cerrados) y los bosques más importantes de la región, desde el punto de vista de la densidad, calidad de las especies y la abundancia de las mismas; los cerradones constituyen una formación típicamente edáfica. La franja de mayor evapotranspiración baja por el litoral del río Paraguay acompañando a las formaciones boscosas de “quebrachales”, a lo largo de este río.

En la región Oriental el promedio de menor evapotranspiración se verifica al extremo Este, en el área de los cultivos mecanizados y naturalmente en el Ñeembucú, al extremo Sur-Oeste, zona de los humedales.

Finalmente en la **Fig. 2** se resumen los resultados de los análisis de los gradientes de evapotranspiración en ambas regiones naturales, en donde las áreas que corresponden a la zona 2 denotan una menor evapotranspiración que las áreas que corresponden a la zona 1.



**Fig. 1:** Promedio de evaporación del año 2010



**Fig. 2:** Gradientes de evapotranspiración en ambas regiones naturales

Cada una de las regiones a su vez presenta sus rasgos particulares, según la concentración de la vegetación y su relación con las estaciones climáticas, (**Fig. 3.A-D**); se observa que en la región Oriental los valores más elevados se encuentran en las áreas de concentración de la vegetación con mayor densidad como ser: hacia el Norte, departamentos de Concepción y Amambay, hacia el Sur, en la serranía de San Rafael, en el centro, la Reserva de Biosfera del Bosque Mbaracayú y las reservas del Itaipú Binacional en el extremo centro Este.

Los meses más secos podrían caracterizarse entre marzo y setiembre, con picos entre junio a setiembre, reflejada en las dos primeras imágenes (**Fig. 3.A y 3.B**), en donde las áreas de cultivos mecanizados y la de las sabanas de humedales son muy notorios en cuanto a valores bajos de evapotranspiración (entre -0.1 a 14 mm/día, como medias mínimas con valores negativos y máximas). Los meses más húmedos se encuentran representados entre setiembre a marzo con picos entre noviembre y febrero (entre -0.2 y 13.1 mm/día como medias mínimas, también con valores negativos y máximas) y en donde las áreas antes mencionadas (cultivos mecanizados y sabanas de inundación), ya no reflejan los valores muy bajos de evapotranspiración, compensando la falta de vegetación con la mayor cantidad de lluvias caídas, lo que retribuye la humedad al medio.

En la región Occidental los valores de evapotranspiración disminuyen en tanto se avanza en la estación seca, llegando el pico en el mes de junio, con los valores mínimos de 0.2 mm/día, lo cual es muy notorio observando los colores de las imágenes de los

meses entre junio y setiembre; los valores muy bajos, especificados en forma cualitativa están dados porque el 65% de las leñosas pierden sus hojas durante la estación seca en la región, Mereles & Degen, (1993), dejando a la zona con escasa transpiración vegetal, muy disminuida y exponiendo el suelo prácticamente ralo a la radiación solar. Los valores de evapotranspiración aumentan paulatinamente entre noviembre y diciembre, con la aparición de las lluvias y las hojas nuevas de la vegetación leñosa; entre diciembre y marzo, los picos nuevamente bajan probablemente debido a las temperaturas elevadas y la radiación extrema, por lo que los valores son bastante bajos.

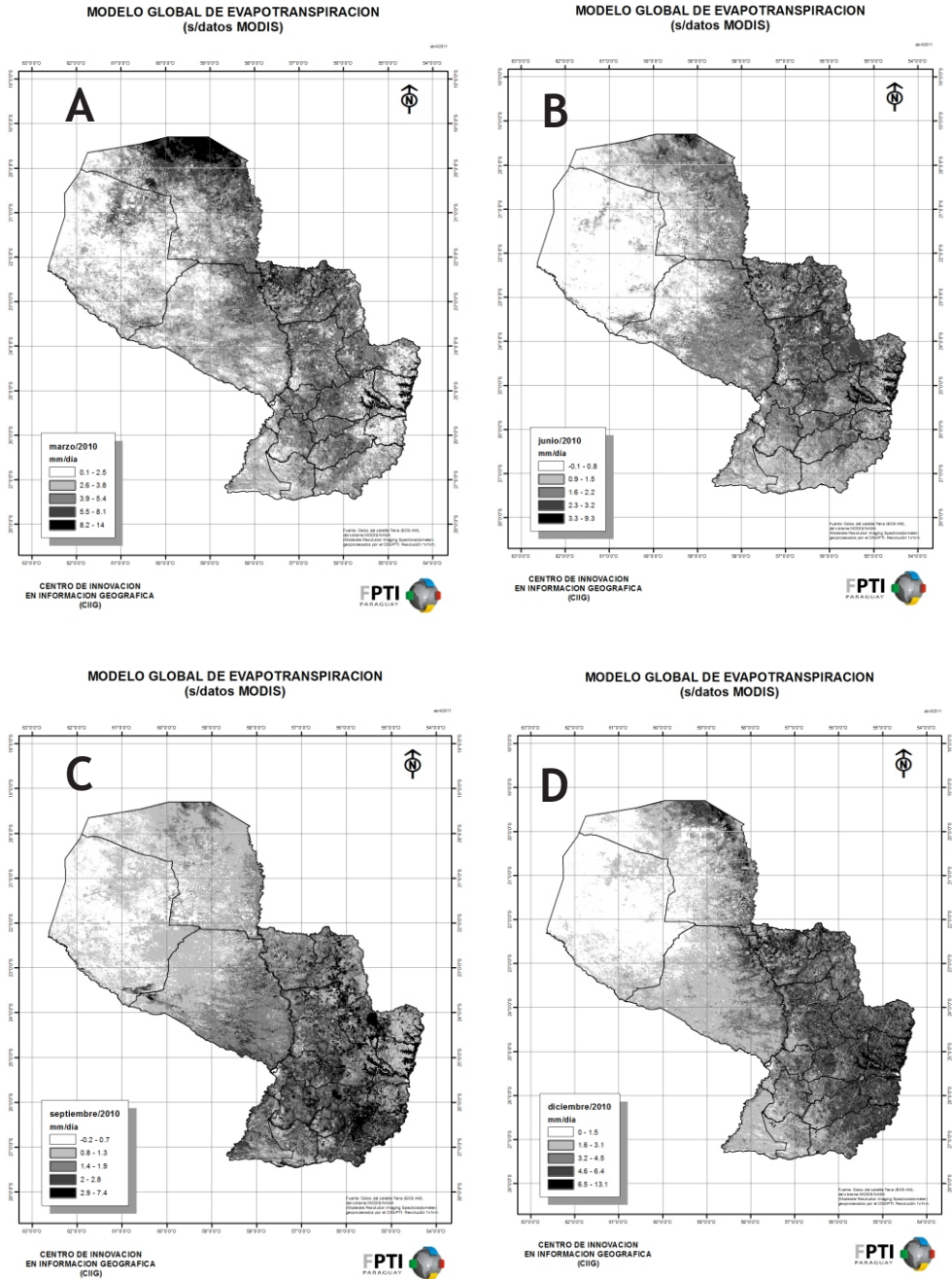
Observando la **Tabla 1**, es evidente que los menores valores caen en los meses secos, (marzo a setiembre), en donde se combinan los valores más bajos de precipitación con la pérdida de las hojas de la vegetación leñosa, muy particularmente en la Occidental; en el caso de la Oriental, la pérdida de las hojas es más efímera, a los efectos de la floración de algunas especies importantes como *Handroanthus heptaphyllus*.

Los valores más altos (entre 13.1 y 14 mm/día), aparecen en los meses con mayores precipitaciones, cuando la vegetación se encuentra en todo su esplendor, con la mayor concentración foliosa en ambas regiones naturales, por lo que se evidencian dichos valores.

Los valores de setiembre a diciembre evidencian en las imágenes un leve aumento de la evapotranspiración, aunque no así aún en el extremo Norte del Chaco, en donde la foto fue tomada probablemente antes de la llegada de las hojas de las leñosas; sin embargo, a partir del mes de diciembre se evidencia en la zona Nor-Este del Chaco un aumento notable en el área de los “cerrados” en donde probablemente la vegetación leñosa está cubierta de hojas.

Observando las imágenes de las variaciones en la evapotranspiración (**Fig. 4.A-C**) en tres cuatrimestres, se tiene cuanto sigue: en general, la zona de mayor varianza se presenta en aquellas áreas en donde la vegetación se encuentra muy discontinua o en donde la misma se encuentra dispersa, en ambas regiones naturales; en efecto, observando las **Fig. 4.A** y **4.B**, dentro de los dos primeros cuatrimestres, (marzo a setiembre) a la región Occidental, se evidencia una mayor varianza en la zona del Chaco central en dirección hacia el Sur-Oeste, Nor-Oeste y Sur, con énfasis en la zona del río Pilcomayo, (departamentos de Boquerón y Presidente Hayes); estas variaciones están en relación directa a la falta o disminución sustancial de la vegetación en los departamentos mencionados, sea por causas antrópicas o naturales; en el mismo periodo de tiempo y en la misma región, la estabilidad o menor varianza está reflejada en las zonas con mayor cobertura vegetal, en este caso los cerrados del extremo Norte de la región chaqueña y la zona del Pantanal en Paraguay, (**Fig. 4.B** y **4.C**).

En la región Oriental las áreas de mayor varianza están reflejadas en aquellas en donde la vegetación está muy dispersa, dominando las herbáceas sobre las leñosas como en la zona de los bañados del Ñeembucú, la de los campos de las Misiones, el área de los cultivos mecanizados en la cuenca paranaense en el Este; se agregan los bosques semi caducifolios del centro, bastante degradados y la Reserva de Biosfera del Bosque Mbaracayú, probablemente debido a que en esta última, una gran parte de las leñosas queda sin hojas durante la estación invernal, (**Fig. 4.B**).



**Fig. 3.** Variaciones en los valores de evapotranspiración según vegetación y clima. **A-** Valores entre marzo y junio. **B-** Valores entre junio y setiembre. **C-** Valores entre setiembre y diciembre. **D-** Valores entre diciembre y marzo

**TABLA 1:** Valores de evapotranspiración en mm/día

Marzo a Junio		Junio a Setiembre		Setiembre a Diciembre		Diciembre a Marzo	
0.1	2.5	-0.1	0.8	-0.2	0.7	0.0	1.5
2.6	3.8	0.9	1.5	0.8	1.3	1.6	3.1
3.9	5.4	1.6	2.2	1.4	1.9	3.2	4.5
5.5	8.1	2.3	3.2	2.0	2.8	4.6	6.4
8.2	14	3.3	9.3	2.9	7.4	6.5	13.1

Observando la **Fig. 4.C**, captada en el tercer cuatrimestre (entre setiembre y diciembre), se visualiza una mayor varianza en aquellas áreas en donde la vegetación en ambas regiones naturales es más exuberante, lo que podría deberse al inicio del periodo de lluvias en ambas regiones, lo que incide directamente sobre la evapotranspiración, por lo que dichas zonas se tornan bastante cambiantes.

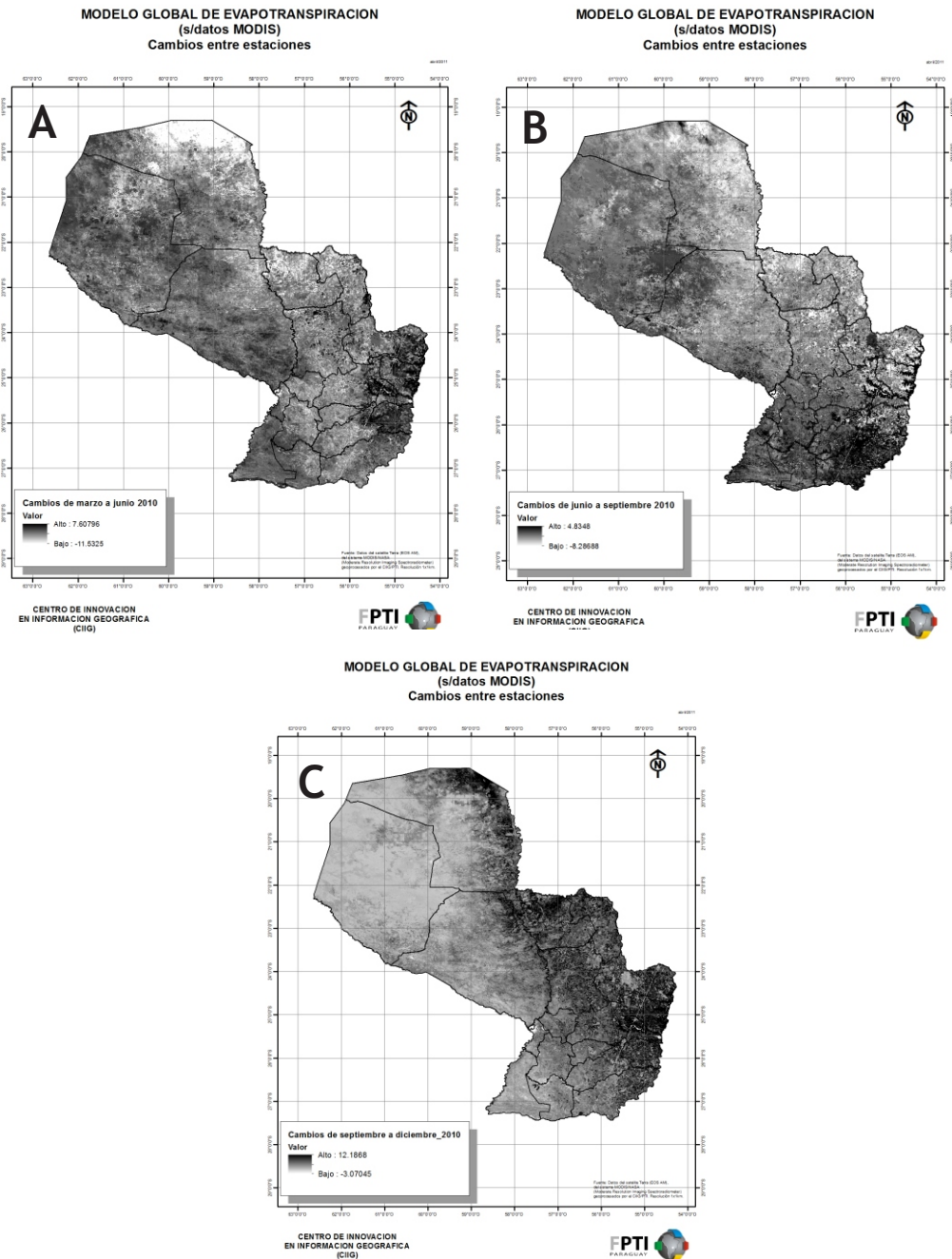
Finalmente se realiza el análisis del Índice de Vegetación Normalizada y Diferenciada (NDVI), como una herramienta para demostrar la calidad, cantidad y desarrollo de la vegetación en base a los sensores remotos, lo que de cierta manera corrobora el análisis realizado más arriba.

En efecto, si se analiza el NDVI en los 4 cuatrimestres (**Fig. 5 A-D**), no se observa gran variación en cuanto a las áreas con vegetación; por ejemplo, si se analizan los cuatrimestres entre marzo y agosto, se observa un descenso paulatino en los NDVI en el Chaco debido a la caída de las hojas de la vegetación leñosas, especialmente entre los meses de junio a agosto, en tanto que en el Norte se mantiene más o menos estable; en la región Oriental se evidencia las zonas de cultivo en el Este en donde en marzo y abril corresponde a los meses de cosecha de los productos mecanizados y cultivo de otros, por lo que aparenta el suelo desnudo.

Entre setiembre y marzo aumenta la foliación en las leñosas y las áreas de cultivos, especialmente en diciembre, están absolutamente cargadas de vegetación, habiendo sufrido una disminución en setiembre, lo que coincide con la cosecha de los cultivos de invierno.

## CONCLUSIONES

En general, los valores más elevados de evapotranspiración en la región Oriental se deben evidentemente a concentración de la vegetación más densa hacia el Norte de dicha región y que corresponde a los últimos relictos de bosques semi húmedos, cerrados y cerradones de los departamentos de Concepción y Amambay; igualmente los valores se mantienen más elevados en el centro, en el área de desarrollo de los relictos boscosos de los departamentos de San Pedro, hacia el Oeste y Norte del departamento de Canindeyú, (en donde se encuentra el bosque húmedo constituido en la Reserva de



**Fig. 4.** Análisis de las variaciones de la evapotranspiración entre estaciones. **A-** Primer cuatrimestre. **B-** Segundo cuatrimestre. **C-** Tercer cuatrimestre



Mbaracayú); otro de los sitios que se destaca por sus valores más elevados es el Sur de la región, en el departamento de Caazapá, (en donde confluyen en el corredor biológico de la Reserva para Parque Nacional Caazapá), el departamento de Guairá (con la presencia de los bosques ubicados en el corredor de las mesetas de la Cordillera del Ybyturuzú) y hacia el Sureste de la misma, en las inmediaciones de la cordillera de San Rafael, (Reserva para Parque Nacional San Rafael); la razón fundamental es la presencia de la vegetación leñosa la que mantiene la humedad de los suelos y al mismo tiempo produce la pérdida de agua de los vegetales a través de las hojas.

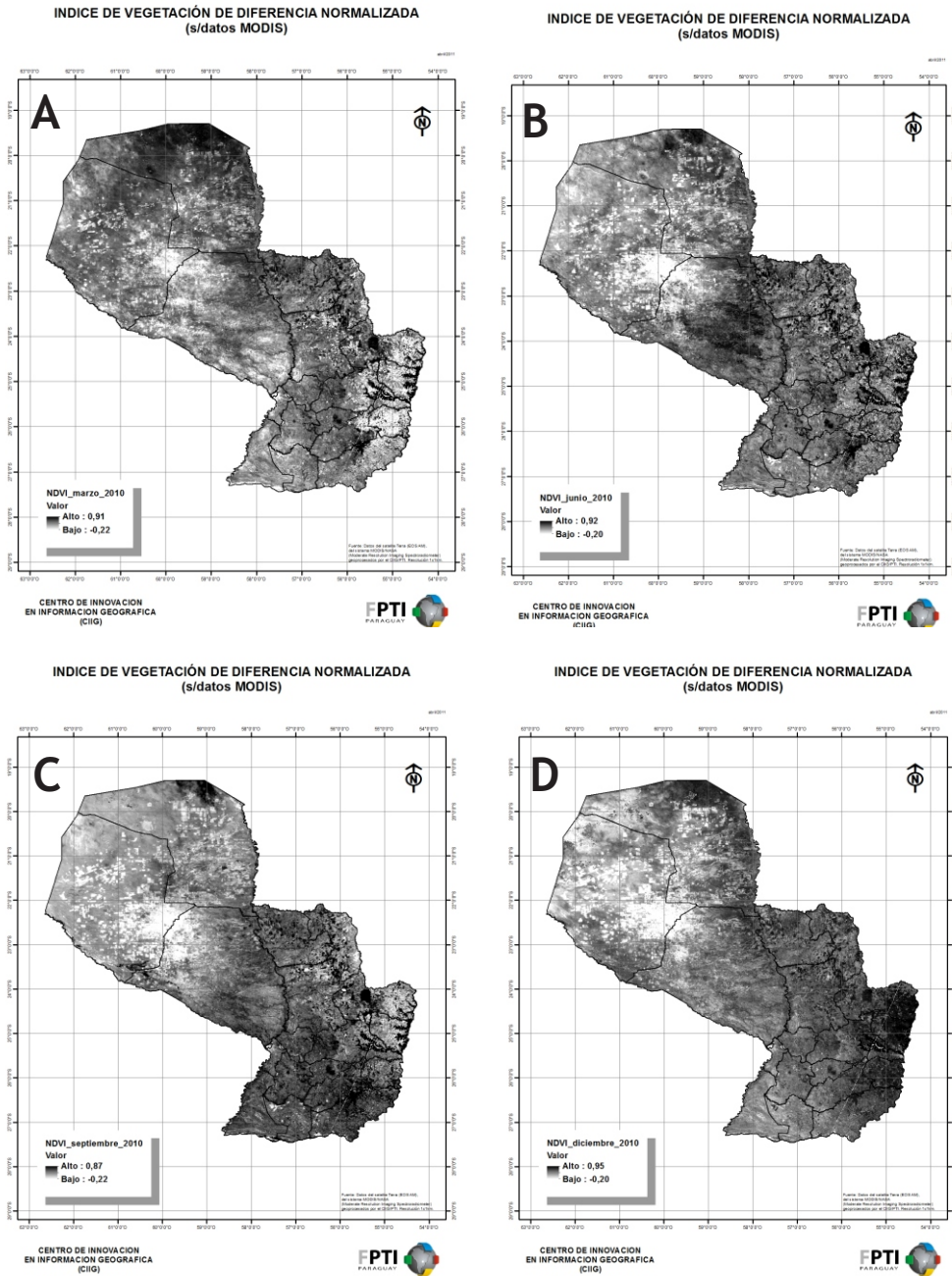
Los menores índices se encuentran hacia las áreas carentes prácticamente de vegetación leñosa como ser las sabanas de humedales del departamento de Ñeembucú excepto en la época de las lluvias y zonas vecinas, como lo son parte de los pastizales de la región misionera y las sabanas abiertas ya con suelos modificados del departamento de Paraguari.

La región Occidental destaca en general un gran déficit en su evapotranspiración, especialmente en las áreas del centro, Oeste y Noroeste; por ejemplo, en el centro, el cambio de matriz boscosa existente hasta casi la década de 1980 y cambiada a suelos absolutamente antrópicos con cultivos mecanizados, han colaborado a disminuir estos valores ya de por sí bajos; por otra parte, es el área de vegetación con un bosque xerófito bastante abierto, que se agudiza a medida que se avanza hacia el Oeste, en donde los suelos impermeables ayudan a la xeroficidad y hacia el Noroeste en donde el bosque xerófito es suplantado por las sabanas abiertas de médanos y en donde los suelos extremadamente permeables no permiten la acumulación de la humedad.

En este punto se debe recordar que la evapotranspiración depende de varios factores pero muy especialmente en las áreas semi áridas como en el Chaco, las lluvias son escasas, las más escasas seguramente no alcanzan el suelo, por lo que dicha agua vuelve a la atmósfera en forma de evaporación, (Belmonte Serrato & Romero Díaz, 2006), salvo en las épocas de lluvias estivales, pero aún no son suficientes; los vientos son casi constantes, diarios, la temperatura es en general alta, por lo que las condiciones para la obtención de valores negativos en la evapotranspiración de la región, no debe extrañar; otra razón más sea probablemente la insolación propia de los meses más calurosos, que inciden directamente sobre los suelos prácticamente desnudos del territorio en estas áreas.

Es importante destacar que la presencia de la vegetación denota una mayor evapotranspiración que inclusive aquellas áreas con suelo descubierto pero con agua en superficie, como el caso de las sabanas de humedales del Ñeembucú, con mucha agua pero con escasa presencia de leñosas, denotando permanentemente déficit en la evapotranspiración.

A medida en que se avanza hacia el río Paraguay, hacia el Noreste, se notan los aumentos de evapotranspiración; es la zona que corresponde a la transición de los suelos más arcillosos a otros más francos que permiten dos cosas: una mayor acumulación de la humedad y también la instalación de un bosque transicional, (correspondiente con los suelos) de una formación vegetal más densa, más elevada en dosel (unos 25 m) y con una mayor riqueza de estratos y de especies leñosas que la del bosque xerófito típico; igualmente se perciben trazas de aumento en la evapotranspiración en aquellas áreas de



**Fig. 5.** Índice de Vegetación Normalizada y Diferenciada, (NDVI). A- Primer cuatrimestre. B- Segundo cuatrimestre. C- Tercer cuatrimestre. D- Cuarto cuatrimestre

la mesopotamia de los ríos Paraguay y Pilcomayo y que corresponde a las áreas en donde se desarrollan los bosques transicionales sub húmedos.

Con relación a las áreas de cultivos mecanizados en la región Oriental, la versatilidad en los valores probablemente esté en relación con los tiempos de cultivo y cosecha de los diferentes rubros; así, en el mes de diciembre coinciden los mayores valores de evapotranspiración con aquellos en donde los cultivos de turno se encuentran en su punto culminante; a partir del mes de enero se inicia el descenso, coincidente con los tiempos de cosecha, la que descende casi completamente hacia el mes de marzo, llegando los valores en algunos casos a cifras negativas, coincidiendo con las plantaciones de los rubros intermedios.

En síntesis, los índices de evapotranspiración no son fijos sino variables; las variaciones dependen de varios factores como las características de la cobertura vegetal presente en superficie, la estación climatológica cambiante, (en función de los cambios como la temperatura y las precipitaciones), de la foliación de la vegetación leñosa, los tipos de suelos dominantes así como la intervención antrópica.

Los cambios en la evapotranspiración y balance del agua en general pueden ser muy complejos, dependiendo esto de la heterogeneidad de la superficie en cuestión, (Domingo *et al.*, 2003), como es el caso del Paraguay en general, con grandes cambios en la superficie, (regiones naturales muy distintas y una de ellas muy afectada por los cultivos mecanizados), lo cual sería sin duda, una dificultad a la hora de cuantificar los valores de la evapotranspiración.

Los menores valores en evapotranspiración en la región Occidental deberían llamar la atención en cuanto a los cambios de uso de suelo en dicha región y la relación con el aumento de la desertificación; en efecto, una cosa registrada como común en los mapas es el hecho de que el centro del Chaco, otrora recubierta por bosques xerófitos y actualmente con cultivos mecanizados y/o áreas urbanizadas, aparecen con déficit en los valores de evapotranspiración; con los resultados percibidos sumado al aumento poblacional en dichas áreas, habrá que pensar en nuevos modelos de retención del agua natural o en nuevos modelos de incorporación del agua extra zona a dicho territorio, con los cuidados necesarios para el caso.

En general aquellas áreas con menor intervención antrópica en ambas regiones naturales son las que se conservan con un índice de evapotranspiración que varía únicamente en función a las variaciones del clima; el mencionado trabajo constituye apenas una aproximación al conocimiento de la variación en los valores de evapotranspiración; son necesarios estudios más puntuales y cuantitativos, para tener una visión más acertada de los valores máximos y mínimos en cada región natural, lo cual podría hacerse por micro cuencas, aportando datos a cada una de estas micro regiones.

Como parte de posteriores contribuciones se darían los cálculos de evapotranspiración potencial (ETP) como un elemento importante del Balance Hídrico utilizado en hidrología y climatología para intentar determinar las pérdidas de agua en condiciones definidas; estos cálculos son importantes para calcular la disponibilidad de agua en el suelo, utilizada por las plantas, para su crecimiento y producción.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Belmonte Serrato, F. & A. Romero Díaz. 2006. Medida de la evapotranspiración real en coberturas vegetales semi-áridas (cuenca de Mula, Murcia, España), según las variaciones de humedad del suelo medidas mediante el procedimiento (TDR). *Papeles de Geografía* 43: 5-17.
- Domingo, F., Villagarcía, L. & A. Were. 2003. Cómo se puede medir y estimar la evapotranspiración?. Estado actual y evolución. *Ecosistemas* 12(1): 1-15.
- Holdridge, L. R. 2000. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 5ta. Reimpresión. San José, Costa Rica, 216 pp.
- Mereles, F. 1998. Etude de la végétation de la mosaïque forêt-savane palmeraie dans le Chaco boreal (Paraguay). Tesis Doctoral N° 2999. Facultad de Ciencias, Universidad de Ginebra, Suiza.
- Mereles, F. & R. Degen. 1993. Aspectos fenológicos de árboles y arbustos del Chaco boreal, Paraguay. I. *Rojasiana* 1(2): 49-78.
- Mereles, F. 2004. Una contribución al conocimiento de las formaciones vegetales de dos cuencas en la región Oriental del Paraguay. Descripción y estado de conservación. *Rojasiana* 6 (1): 43-70
- Morello, J. y J. Adamoli. 1974. La vegetación de la República Argentina: las grandes unidades de vegetación y ambientes del Chaco argentino II: vegetación y ambiente en la Provincia del Chaco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Ser. Fitogeográfica 13: 40-45.
- Sánchez Toribio, M. I. 1992. Métodos para el estudio de la transpiración y la evapotranspiración. Geoforma Ediciones. 35 pp.
- Spichiger, R., Ramella, L., Palese, R. & F. Mereles. 1991. Proposición de leyenda para la cartografía de las formaciones vegetales del Chaco paraguayo. Contribución al estudio de la flora y la vegetación del Chaco. III. *Candollea* 46 (2): 541-564.