

## Space distribution of *Pennisetum purpureum*, according to projections for climate change in Cuba

### Distribución espacial de *Pennisetum purpureum*, según las proyecciones de cambio climático para Cuba

A. Álvarez-Adán, G. Febles and J. M. Fernández

*Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana, Cuba*

*Email: adanalvarez@ica.co.cu*

In order to determine the future space distribution of *Pennisetum purpureum*, according to projections of climate change for Cuba, with the purpose of contributing to take proper decisions regarding future management of this species and to establish efficient regulations for its adaptation to the influence of climate change, a general methodology of analysis was designed that combined the information of mean annual temperature and precipitation, type of soil, pH, and irrigation with the implementation of space analysis operations: filtration and map superposition to achieve space distribution. Therefore, daily outputs of the General Circulation Model Echan4 were used with forcing of emission scenarios A2 and B2, for the analysis of future climates. It was confirmed that, according to soil potential, only 34% of Cuban territory may be used for the cultivation of the studied species. In addition, there was a tendency to decrease the areas with potential of precipitation-temperature, favorable for the development and growth of this species. A2 scenario was the most critical. Negative anomalies increased up to 64 and 59% for A2 and B2, respectively. It is concluded that integration of physical, climate and soil factors allowed the identification of potentially usable areas for cultivation and development of this species.

**Key words:** *future climates, Pennisetum purpureum, space distribution*

In the tropics, grasses are the main resource for cattle feeding. The lack of coarse feed for cattle during dry season leads to the increase of their production to raise livestock productivity. According to Suárez y Herrera (1986), the cultivation of these plants in Cuba shows its maximum productivity during rainy season (May-October), which basically decreases during dry period (November-April), in which only 30% of annual yield is reached (Herrera *et al.* 2014). In this season, temperature and solar radiation are low, and days are short compared to the months of rainy season. In addition, water scarcity is a climatic factor limiting production during this time.

Together with the above, climatic fluctuations recorded in various regions of Earth also affect Cuba and are the subject of study and concern by the national and international scientific community, because they affect food production. Added to this, nowadays, climate change scenarios are studied on the basis of assimilation and use of regional climate models integrated to the system of regional modeling

Para determinar la distribución espacial futura de la especie *Pennisetum purpureum*, según las proyecciones del cambio climático para Cuba, con el propósito de que contribuya a tomar decisiones adecuadas en cuanto al manejo futuro de la especie y al establecimiento de medidas eficaces para su adaptación ante la influencia del cambio climático, se diseñó una metodología general de análisis, que combinó la información de temperatura y precipitación media anual, tipo de suelo, pH y drenaje con la ejecución de las operaciones de análisis espacial: filtrado y superposición de mapas para lograr la distribución espacial. Se utilizó para ello salidas diarias del Modelo de Circulación General Echan4 con forzamiento de los escenarios de emisiones A2 y B2, para el análisis de los climas futuros. Se comprobó que, según el potencial de suelo, solo 34 % del territorio cubano se puede utilizar para el cultivo de la especie estudiada. Además, se observó tendencia a la disminución de las áreas con potencial de precipitación – temperatura, favorables para el desarrollo y crecimiento de esta especie. El escenario A2 fue el más crítico. Las anomalías negativas crecieron hasta 64 y 59 % para el A2 y el B2, respectivamente. Se concluye que la integración de los factores físicos, clima y suelo, permitió la identificación de las áreas potencialmente utilizables para el cultivo y desarrollo de la especie.

**Palabras clave:** *climas futuros, Pennisetum purpureum, distribución espacial.*

En el trópico, los pastos constituyen el recurso principal para la alimentación bovina. La falta de alimentos voluminosos para el ganado en la época poco lluviosa conduce a que sea necesario incrementar la producción de estos para elevar la productividad pecuaria. Según Suárez y Herrera (1986), el cultivo de estas plantas en Cuba presenta su máximo productivo en la época lluviosa (mayo-octubre), que disminuye básicamente durante el período de pocas lluvias (noviembre- abril), en el que se llega a producir solo 30 % del rendimiento anual (Herrera *et al.* 2014). En esta época, la temperatura y la radiación solar son bajas y los días cortos con respecto a los meses del período lluvioso. Además, en esta época la escasez de agua es un factor climático que limita la producción.

Unido a lo anterior, las fluctuaciones climáticas que se registran en diversas regiones de la Tierra afectan también a Cuba y son objeto de estudio y preocupación por parte de la comunidad científica nacional e internacional, debido a que afectan la producción de alimento. Unido a ello, en la actualidad se estudian escenarios de cambio climático sobre la base de la asimilación y empleo de

PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Study) (Jones 2004).

Currently, the genus *Pennisetum* is found in the tropical and subtropical areas, represented by many species and varieties. This genre, and specifically *P. purpureum*, stands out as forage plant in Cuba (Herrera 2005, García *et al.* 2014) and Latin America (Nava *et al.* 2013, Murillo *et al.* 2014) due to its energy value and high productive potential, in irrigation and drought.

Knowledge of the space distribution of pastures may be an effective tool for the management of the specific species and for the establishment of effective measures for adapting to future climate variations.

Given these conditions, the objective of this research was to determine the future space distribution of *P. purpureum*, according to projections of climate change for Cuba, so to take adequate decisions in the future management of this species and the establishment of effective adaptation measures in front of the influence of climate changes.

### Materials and Methods

To determine the potential of temperature-precipitation for the development of *P. purpureum*, data of temperature and average monthly precipitation was used, from 61 meteorological stations distributed throughout the country, belonging to the Meteorological Institute of Cuba (INSMET, initials in Spanish). A record of 30 years, from 1961 to 1990 period, was considered, and it was used as baseline. In order to know the potential of the soil, information about soil type, pH and irrigation soil map of Cuba, at a scale of 1: 250 000, was used and it was correlated to the New Genetic Classification of Soils from Cuba (Hernández *et al.* 2015).

For the space distribution of this species, considered as the delimitation of areas with the potential of precipitation-temperature and soil conditions for the development of this species, a general methodology of analysis (figure 1) was designed, which combined information of precipitation and annual mean temperature and type of soil, pH and drainage, integrated into an analytical Geographic Information System (GIS), and implementation of space analysis operations (filtering map of soil with variables of analysis soil type, pH and drainage, and reclassifying maps), according to edaphoclimatic requirements of this species reported by Paretas (1990) for *P. purpureum* (table 1 and 2), which took into account the natural conditions of regions, as well as the conditions of the studied crop and superposition of maps resulting from the previous operations.

With soil type information, three groups were formed: good, regular and poor, according to studies conducted by Paretas (1990) for this species (table 2), covering 20 soil types described in the New Genetic Classification

modelos climáticos regionales integrados al sistema de modelado regional PRECIS (del inglés Providing Regional ClimatesforImpactsStudy) (Jones 2004).

Actualmente, el género *Pennisetum* se encuentra en el trópico y subtropico, representado por gran número de especies y variedades. Este género, y específicamente la variedad *P. purpureum*, se destaca como planta forrajera en Cuba (Herrera 2005, García *et al.* 2014) y Latinoamérica (Nava *et al.* 2013, Murillo *et al.* 2014) por su valor energético y alto potencial productivo, en riego como en secano.

El conocimiento de la distribución espacial de los pastos puede ser una herramienta efectiva para el manejo de la especie de que se trate y para el establecimiento de medidas eficaces de adaptación ante futuras variaciones del clima.

Ante estas condicionantes, el objetivo de esta investigación fue determinar la distribución espacial futura de *P. purpureum*, según las proyecciones del cambio climático para Cuba, de modo que permita tomar decisiones adecuadas en el manejo futuro de la especie y en el establecimiento de medidas eficaces de adaptación ante la influencia de los cambios climáticos.

### Materiales y Métodos

Para la determinación del potencial de temperatura-precipitación para el desarrollo de la especie *P. purpureum*, se utilizaron los datos de temperatura y precipitación media mensual de 61 estaciones meteorológicas distribuidas por todo el país, pertenecientes al Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Se consideró el registro de 30 años, correspondiente al período 1961-1990, y se este se tomó como línea base. Para conocer el potencial del suelo, se utilizó la información tipo de suelo, pH y drenaje del mapa de suelos de Cuba, a escala 1:250 000 y se correlacionó con la Nueva Clasificación Genética de Suelos de Cuba de Hernández *et al.* (2015).

Para la distribución espacial de la especie, entendida como la delimitación de áreas mediante el potencial precipitación-temperatura y las condiciones de suelo para el desarrollo de la especie, se diseñó una metodología general de análisis (figura 1), que combinó la información de precipitación y temperatura media anual y el tipo de suelo, pH y drenaje, integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) analítico, y la ejecución de operaciones de análisis espacial (filtrado del mapa de suelo por las variables de análisis tipo de suelo, pH y drenaje, reclasificación de los mapas), de acuerdo con los requerimientos edafoclimáticos de la especie informados por Paretas (1990) para *P. purpureum* (tabla 1 y 2), en los que se tuvieron en cuenta las condiciones naturales de las regiones, así como las condiciones del cultivo en estudio y la superposición de los mapas resultantes de las operaciones anteriores.

Con la información tipo de suelo se conformaron tres grupos: buenos, regulares y malos, según los estudios realizados por Paretas (1990) para esta especie (tabla 2), que abarcaron 20 tipos de suelo descritos en la Nueva Clasificación Genética de los Suelos de Cuba

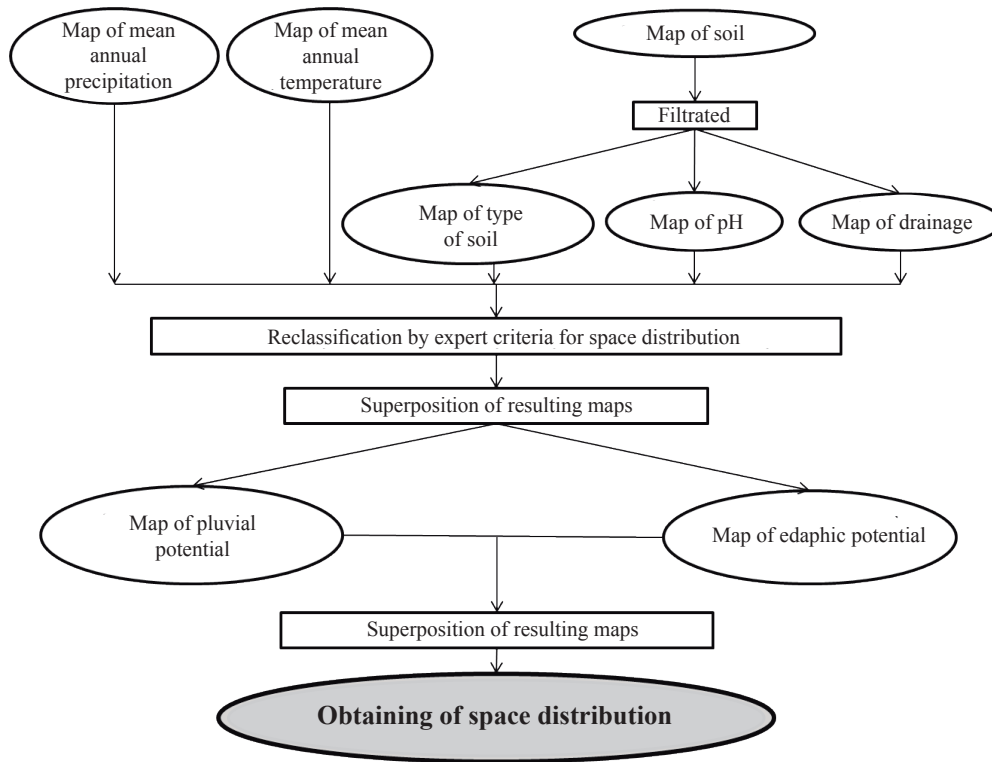


Figure 1: General methodological scheme for space distribution of crops, using a combination of techniques of space analysis in an analytic GIS. Adapted from Garea *et al.* (2007)

Table 1: Requirements of *P. purpureum* for space distribution. Taken from Paretas (1990).

	Classification		
	Not advisable	Acceptable	Good
Climate			
Precipitation (mm)	< 800	800 – 1000	≥ 1000
Temperature (oC)	< 18 >30	18 – 24 26 - 30	24 – 26
Soil			
pH	< 5.5 >7.5	-	5.5 – 7.5
Drainage	Bad drainage	-	Good drainage

Table 2: Classification of types of soil according to their potential for the development of *P. purpureum*. Adapted from Paretas (1990)

Group	Types of soil	Classification
1.	Arenosol / Protorendzina / Latosol	Bad
2.	Red ferrallitic / Red Ferrallic / Humic Calcimorphic / Rendzina / Fluvisol	Regular
3.	Low Clay Activity (LCA) Yellow Clay / Low Clay Activity (LCA) Yellow Red/ Yellow Clay High Activity / Yellow Ferrallitic/ Lixiviaded Yellow Ferrallitic / Lixiviaded Red Yellow Ferrallitic / Lixiviaded Red Ferrallitic / Brown Red Fersialitic / Lixiviaded Red Fersialitic / Yellow Fersialitic / Sialitic Brown / Brown Gray /	Good

of Soils of Cuba (Hernandez *et al.* 2015).

Temporary periods 2040, 2070 and 2099 were considered as limits of the three periods established for the analysis of future climates. Daily outputs of temperature and mean precipitations of General Circulation Models (GCM) Echan4 were used, with space resolution of 25 km and A2 and B2 emission

(Hernández *et al.* 2015).

Se consideraron los horizontes temporales 2040, 2070 y 2099 como límites de los tres períodos establecidos para el análisis de los climas futuros. Se usaron salidas diarias de temperatura y precipitación medias de los Modelos de Circulación General (MCG) Echan4, con resolución espacial de 25 km y se utilizó el forzamiento

scenarios (SRES) were used, proposed by Houghton and IPCC (2001). Both scenarios propose a situation in which the world does not follow a globalizing pattern. Nevertheless, A2 indicates that local identities are preserved and population will grow at a medium rhythm. Economic and technological development will be fragmented and slower than in other scenarios. Therefore, a less favorable scenario will be considered, regarding greenhouse effect gases emissions. In scenario B2, local solutions for social, economic and environmental problems will be very important. Technological evolution will be less fast but more diverse than in the rest of scenarios. It will be oriented to environment protection and social equality, at local or regional level. A more favorable scenario will be considered.

This selection of scenarios was confirmed by Bárcena (2010) and Bárcena *et al.* (2014), because it is considered that conditions of Latin America and the Caribbean will be determined by economic development, with new clean technologies, mainly at regional or local level. In addition, this model, according to criteria of Jones (2004) and Campbell *et al.* (2011), is one of the available models and represent, properly, the general circulation of the atmosphere in the Caribbean.

It is important to point out that the function of climate is well documented as a soil forming factor so there is a relationship among temperature, precipitation and physical properties of soil. However, there are no current studies on the effects of climate change on soil properties. Hernández *et al.* (2008), for example, refer that combination of temperature and humidity conditions determine the rate of creation and decomposition of organic matter, as well as the speed and character of weathering processes. Likewise, changes of precipitations and temperatures create different conditions of the type of formation of clay minerals in the soil, which contribute to important changes in their physical and chemical properties. Among other effects, the increase of global temperature may also accelerate carbon losses of soils, which increases the concentration of carbon dioxide in the atmosphere. Equally, changes of rain patterns may contribute to the increase of erosion in vulnerable soils that usually experience a low content of organic matter, as in the case of those occupying grasses in Cuba.

Nevertheless, in Cuba, some precise studies on soil use changes and erosion have been conducted. In this last case, there is a very specific study of Febles *et al.* (2014), stating that red ferrallitic soils from Mayabeque and Artemisa provinces will experiment losses of 50 % towards 2050, due to the erosions provoked by the increase of the frequency of hurricanes of high intensity in the area.

de los escenarios de emisiones (SRES, según sus siglas en inglés) A2 y B2 propuestos por Houghton y IPCC (2001). Ambos escenarios proponen una situación en la que el mundo no sigue un patrón globalizante. No obstante, el A2 indica que se conservarán las identidades locales y la población crecerá a un ritmo medio. El desarrollo económico y tecnológico será fragmentado y más lento que en otros escenarios. Por tanto, se considerará un escenario menos favorable, en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). En el escenario B2 primarán las soluciones locales para problemáticas sociales, económicas y ambientales. La evolución tecnológica será menos rápida, pero más diversa que en el resto de los escenarios. Estará orientado a la protección del ambiente y a la igualdad social, a nivel local o regional. Se considerará un escenario más favorable.

Esta selección de los escenarios fue ratificada por Bárcena (2010) y Bárcena *et al.* (2014), ya que considera que las condiciones de América Latina y el Caribe seguirán determinadas por el desarrollo económico, con nuevas tecnologías “limpias”, principalmente a nivel de regiones o localidades. Además, este modelo que se utiliza, según criterios de Jones (2004) y Campbell *et al.* (2011), se encuentra entre los disponibles y representa, en forma más adecuada, la circulación general de la atmósfera en el Caribe.

Es bueno señalar que, si bien está documentada la función del clima como factor formador del suelo, y de aquí la relación que existe entre temperatura, precipitación y propiedades físicas del suelo, en Cuba no existen actualmente estudios acerca de los efectos del cambio climático en las propiedades del suelo. Hernández *et al.* (2008), por ejemplo, refieren que la combinación de las condiciones de temperatura y humedad determinan el ritmo de creación y descomposición de la materia orgánica, así como la velocidad y carácter de los procesos de interperismo. Asimismo, los cambios de las precipitaciones y las temperaturas crean diferentes condiciones del tipo de formación de minerales arcillosos en el suelo, que contribuyen a cambios importante en sus propiedades físico químicas. Entre otros efectos, el aumento de temperatura global también puede acelerar la pérdida de carbono de los suelos, lo que eleva la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Igualmente, los cambios en los patrones de lluvia pueden contribuir al aumento de la erosión en suelos vulnerables que a menudo experimentan bajo contenido de materia orgánica, como es el caso de los que ocupan los pastos en Cuba.

No obstante a lo anterior, en Cuba solo se han hecho algunos estudios muy puntuales del cambio de uso de suelo y la erosión. En este último caso existe un estudio muy concreto de Febles *et al.* (2014), que plantea que los suelos ferralíticos rojos de las provincias Mayabeque y Artemisa, experimentarán pérdidas del 50 % hacia el año 2050, debido a la erosión que provoca el aumento en la frecuencia de huracanes de alta intensidad en el área.



## Results and Discussion

For conducting any predictive study, it is important to know the available potentialities, in this case, climatic ones. They may be known from temperature, mean monthly precipitations and soil indicators, from the type of soil, pH and drainage to cover the needs of crops under analysis that will be used in the space distribution.

The analysis of the potential of precipitation-temperature from 1961 to 1990 reported the formation of four categories, depending on the combination of the criteria of experts for climatic elements (table 1) that allowed the space distribution of this species:

- Not advisable: areas with precipitations lower than 800 mm and temperature inferior to 18 °C or superior to 30 °C.

- Acceptable: areas with mean annual temperatures between 18 and 24 °C or superior (26-30 °C) and acceptable precipitations between 800 and 1000 mm.

- Moderately good: areas with incidence of proper temperatures (24- 26 °C) and acceptable precipitations or with another combination of high temperatures with proper precipitations, superior to 1,000 mm.

- Good: areas with values of precipitation superior to 1000 mm and temperatures range between 24 and 26 °C.

According to data of table 3, it can be stated that Cuban climate, at baseline, shows high potential for the development of this species. It means that 100% of national territory has climatic conditions for fulfilling the requirements of this species. An amount of 93.2 % of its areas is included into the categories of moderately acceptable and good. This condition indicates that the space distribution has homogeneous conditions, which means high vulnerability of the territory to future

## Resultados y Discusión

Para comenzar cualquier estudio predictivo, se necesita conocer las potencialidades de que se dispone, en este caso, climáticas. Estas se pueden saber a partir de los indicadores temperatura y precipitación medias mensuales y de suelo, a partir del tipo de suelo, pH y drenaje para cubrir las necesidades del cultivo que se analizan y que se utilizarán en la distribución espacial.

El análisis del potencial de precipitación-temperatura para el período 1961-1990 informó la formación de cuatro categorías, según la combinación de los criterios de expertos para los elementos climáticos (tabla 1) que permitieron la distribución espacial de la especie:

- No recomendables: áreas donde existen precipitaciones inferiores a los 800 mm y temperatura inferior a 18 °C o superiores a 30 °C.

- Aceptable: áreas con temperaturas medias anuales entre 18 y 24 °C o altas (26-30 °C) y precipitaciones aceptables entre 800 y 1000 mm.

- Medianamente bueno: áreas con incidencia de temperaturas adecuadas (24- 26 °C) y precipitaciones aceptables o con otra combinación de temperaturas altas con precipitaciones adecuadas, superiores a los 1000 mm.

- Bueno: áreas donde los valores de precipitación superan los 1000mm y las temperaturas se encuentran entre los 24 y 26°C.

Según los datos de la tabla 3, se puede aseverar que el clima cubano, en la línea base, presenta alta potencialidad para el desarrollo de la especie. Es decir, 100 % del territorio nacional presenta condiciones climáticas capaces de satisfacer los requerimientos de la especie. El 93.2 % de sus áreas se califican con las categorías de medianamente aceptable y bueno. Esta condición indica que la distribución espacial posee condiciones

Table 3. Distribution of percentage of occupied areas by categories according to climate requirements of *P. purpureum* at the baseline between 1961 and 1990

	Not Advisable	Acceptable	Moderately good	Good	Usable Total
Category distribution (%)	-	6.9	42.1	51.1	100

variations of regional climate.

After a joint analysis of the requirements of *P. purpureum*, in order to determine the soil potential from the criteria stated in tables 1 and 2, it was confirmed that only 35,603.62 km<sup>2</sup> (34 %) of national territory (distributed into the categories of acceptable and good) can be used for cultivating this species. The first category included the areas where the type of soil was qualified as regular, with acceptable conditions of pH and drainage. Second category corresponded to areas where the type of soil was considered as good, with proper drainage and accepted values of pH for *P. purpureum* (figure 2). This means that the reported percentage corresponds to areas with acceptable

homogéneas, lo que es signo de la alta vulnerabilidad del territorio ante variaciones futuras del clima regional.

Al realizar un análisis conjunto de los requerimientos de *P. purpureum*, para determinar el potencial de suelo a partir de los criterios señalados en las tablas 1 y 2, se comprobó que solo 35603.62 km<sup>2</sup> (34 %) del territorio nacional (distribuido en las categorías de aceptable y bueno) se puede utilizar para el cultivo de esta especie. La primera categoría abarcó las áreas donde el tipo de suelo se calificó como regular, con condiciones de pH y drenaje aceptables. La segunda se correspondió con áreas donde el tipo de suelo se categorizó como bueno, con adecuado drenaje y valores de pH aceptados para el cultivo del *P. purpureum* (figura 2). Esto significa que el porcentaje informado

conditions of type of soil, pH and drainage for the development of this crop. However, this does not

corresponde a las áreas con las condiciones de tipo de suelo, pH y drenaje, definidas como aceptables para el desarrollo

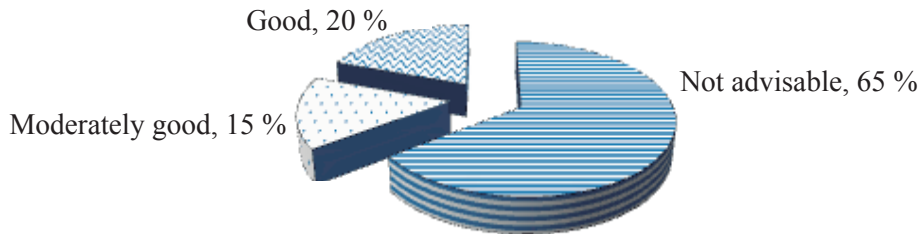


Figure 2. Percentage distribution of areas occupied by categories, according to the edaphic requirements of *P. purpureum* during the period 1961 – 1990

indicate that this species is exclusive for these areas. Nowadays, it may be found in several ecosystems from Cuban territory, although, as it happens with the cultivar Cuba CT-115, it does not reach all its productive potential, even though it is used for animal feeding during dry period, as its technology recommends (Martínez and Herrera 2015).

del cultivo. Sin embargo, esto no indica que esta especie sea exclusiva de estas áreas. Hoy se puede encontrar en diversos agroecosistemas del territorio cubano, aunque, como sucede con el cultivar Cuba CT-115, no logre expresar todo su potencial productivo, aun cuando se utilice para la alimentación animal en el período poco lluvioso, como lo recomienda su tecnología (Martínez y Herrera 2015).

It is important to state that space distribution of *P. purpureum* at the baseline presented the same categories and percentages that showed the space distribution of soil potential.

Se debe destacar que la distribución espacial de *P. purpureum* en la línea base presentó las mismas categorías y porcentajes que mostró la distribución espacial del potencial de suelo.

*Projected scenarios.* Mean superficial temperature of air, projected up to 2099 for Cuba, should present a tendency to increase with high variability between

*Escenarios proyectados.* La temperatura media superficial del aire que se proyecta hasta 2099 para Cuba debe manifestar tendencia al aumento con alta variabilidad

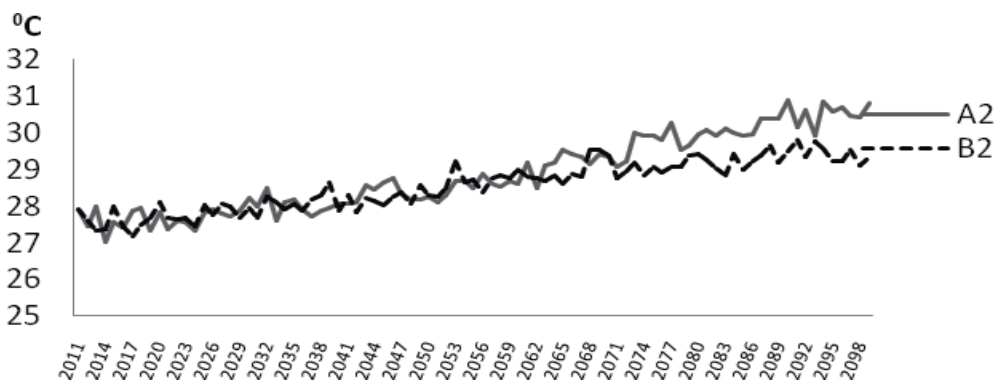


Figure 3. Variability and tendency of annual mean temperature, projected up to 2099

years (figure 3) and possibilities to reach maximum values of 30.1 °C for scenario A2, and 29.3 °C for B2 in the temporary period 2071-2099. These values depend on increases between 2.7 and 5.0 °C of scenario A2 versus 2.7 and 4.2 °C of B2. Regarding tendency, it is highlighted that, up to 2070, there will be a marked differentiation between scenarios.

interanual (figura 3) y posibilidades de alcanzar valores máximos de 30.1 °C para el escenario A2, y de 29.3 °C para el B2 en el horizonte temporal 2071-2099. Estos valores están supeditados a incrementos entre 2.7 y 5.0 °C del escenario A2 contra 2.7 y 4.2 °C del B2. En cuanto a la tendencia, se destaca que solo hasta 2070 se comenzará a observar diferenciación marcada entre escenarios.

Although it is predicted a constant increase of temperature, mean annual values will be close to the established limits for the good performance of this species. With this statement, it could be assumed that this species will experience a gradual adaptation process, which will minimize the possible effects of these increases on physiological processes of this plant. However, from a more critical vision, the increase

Aunque se prevé en las proyecciones aumento sostenido de la temperatura, los valores medios anuales se encontrarán cercanos a los límites establecidos para el buen desempeño de la especie. Con esta acotación, se podría suponer que la especie experimentará un proceso de adaptación gradual, lo que minimizaría los posibles efectos de estos aumentos en los procesos fisiológicos de la planta. Sin embargo, desde una visión más crítica, el

of temperature over the optimal value may suppose effects on growth reduction due to the decrease of photosynthetic activity by enzymatic inactivation and to the increase of respiratory demand (respiration and photo-respiration) (Herrera 2006). There will also be expected effects on grass quality (Herrera and Ramos 2015).

Del Pozo (2002) states that one of the structural mechanisms for grasses to reduce stress effects due to high temperatures is the increase of cell wall content, mainly in lignin, which reduces their digestibility and quality. In addition, it is known that, during rainy season, when temperatures are high and transpiration reaches superior values, quality of grasses is negatively altered, which mostly may be measured with leaf percentage.

Unlike the adequate coherence among the future estimations of air temperature, results of precipitations showed higher dispersion and variability of values in both scenarios (figure 4a). It is important to highlight that the three temporary periods to be analyzed (2011-2040, 2041-2070 and 2071-2099) should show negative anomalies, which supposes increase of water deficiencies for this crop (figure 4b).

In a general sense, performance of water deficit indicates a slight recovery towards period 2041-2070 and a later decrease. Simulation of scenario B2 reveals a tendency to recovery, despite that, in 2099, there will be no superior values to those of the first temporary period and it will not reach values of precipitation reported for the baseline. It means

aumento de la temperatura por encima del valor óptimo podría suponer efectos en la reducción del crecimiento, debido a la disminución de la actividad fotosintética por inactivación enzimática y al incremento de la demanda respiratoria (respiración y fotorespiración) (Herrera 2006). También se podría esperar efectos en la calidad del pasto (Herrera y Ramos 2015).

Del Pozo (2002) plantea que uno de los mecanismos estructurales utilizados por los pastos para reducir los efectos de estrés por altas temperaturas es el aumento del contenido de la pared celular, fundamentalmente en lignina, lo que reduce de forma muy marcada la digestibilidad y la calidad de estos. Además, se sabe que durante la época lluviosa, cuando las temperaturas son elevadas, y la transpiración alcanza valores superiores, se altera de forma negativa la calidad de los pastos que, en la mayoría de los casos, se puede medir por el porcentaje de hojas.

A diferencia de la elevada adecuada coherencia que existe entre las estimaciones futuras de la temperatura del aire, los resultados de la precipitación mostraron mayor dispersión y variabilidad de sus valores en ambos escenarios (figura 4a). Se debe subrayar que los tres horizontes temporales que se analizan (2011 – 2040, 2041 – 2070 y 2071 – 2099) deben mostrar anomalías negativas, lo que supone aumento de las deficiencias hídricas para el cultivo (figura 4b).

En sentido general, el comportamiento del déficit hídrico indica una recuperación ligera hacia el período 2041 – 2070 para después declinar. La simulación del escenario B2 revela una tendencia a la recuperación, a pesar de que en el 2099 no logrará mostrar valores superiores

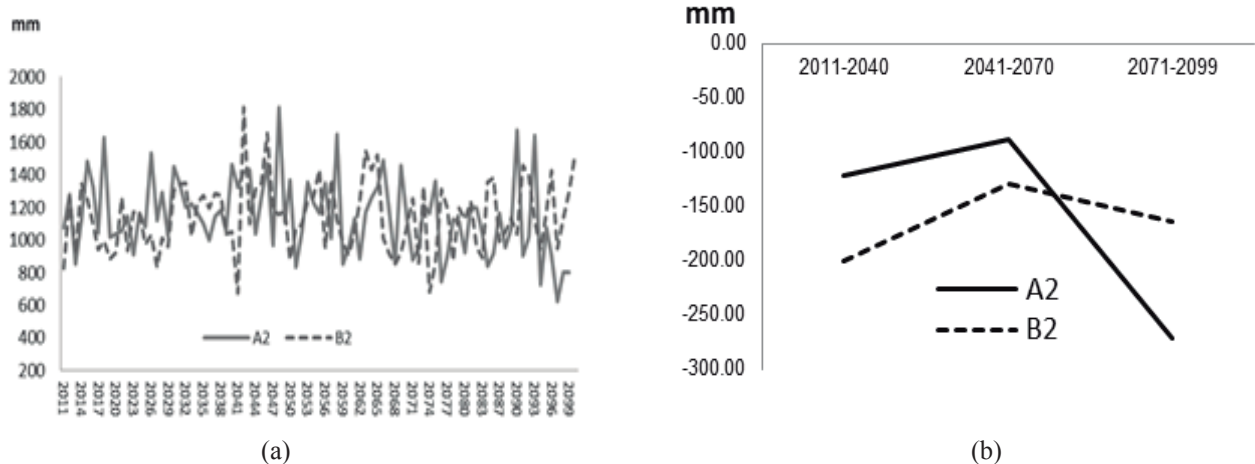


Figure 4. Variability of mean annual precipitation (a) and tendency to anomalies (b) projected up to 2099.

that values of anomalies will range between -15 and -13 %. Scenario A2 will show the highest water deficit, with a tendency to intensification for the last period of analysis and its values of anomalies will vary from -10 a -21 %.

Stress due to droughts, common in tropical regions, intensified from projections of precipitations established for Cuba, may affect the physiological and morphological

los valores de precipitación informados para la línea base. Es decir, los valores de anomalías oscilarán entre -15 a -13 %. El escenario A2 mostrará el mayor déficit hídrico, con tendencia a su agudización para el último período de análisis y sus valores anomalías variarán de -10 a -21 %.

El estrés por sequía, fenómeno común en las regiones tropicales, que se agudiza a partir de las proyecciones de precipitación establecidas para Cuba podrá afectar el

performance of the plant, depending on intensity, and growth and development state of the plants. Among the most sensitive effects, there is a reduction of cell expansion, motivated by decrease of turgency, stoma closure, transpiration and photosynthesis. In addition, water deficit modifies the relationship of biomass between the aerial and radicular part of the plant (Coraza and Quintero 1991, Hernández *et al.* 2008).

These results agree with reports of Centella *et al.* (2001), Solano *et al.* (2005) and Planos *et al.* (2013), which indicate an increase of temperature that, in the most adverse scenario (A2), could increase up to 4 °C for 2100. The uncertain performance of precipitations, with dispersion of values in magnitude and in sign, may decrease in 20%, as well as the increase of evaporation due to increase of temperature that will favor aridity of Cuban territory.

In order to talk about expected impacts on future space distribution of *P. purpureum*, it is necessary to perform an integral analysis of the projections of each factor: temperature, mean annual precipitation, type of soil, pH and drainage. In addition, relations among cited factors should be established in order to have an idea, close as possible, of the wanted result.

From the temporary point of view, there was a tendency to decrease the areas with potential for precipitation and temperature, favorable for biomass production of this species. Scenario A2 was the most critical. Negative anomalies will increase, from the first to the last temporary period, from 5.7 to 64.1 % for A2 and from 6 up to 58.5 % in B2, according to table 4. In addition, for both scenarios, the areas within the not advisable category will increase during the last thirty years of the century. It is also observed the disappearance of areas with the combination of temperatures between 24 and 26 °C and precipitations superior to 1,000 mm, considered as good, from 2041 to 2070.

The previous result is spatially confirmed (figure 5) and it is foreseen that this species will occupy almost all the territory during the first two periods

comportamiento fisiológico y morfológico de las plantas, en dependencia de la intensidad, el estado de crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre los efectos más sensibles se destaca la reducción de la expansión celular, motivada por la disminución de la turgencia, el cierre estomático, la transpiración y la fotosíntesis. Además, el déficit hídrico modifica la relación de la biomasa entre la parte aérea y la radicular de la planta (Coraza y Quintero 1991, Hernández *et al.* 2008).

Los resultados expuestos hasta aquí concuerdan con los informes de Centella *et al.* (2001), Solano *et al.* (2005) y Planos *et al.* (2013), que indican incremento de la temperatura que, en el escenario más adverso (A2), pudiera aumentar hasta 4 °C para 2100. El comportamiento incierto de las precipitaciones, con dispersión de valores en magnitud como en signo, puede disminuir en 20 %, así como el aumento de la evaporación, debido al incremento de la temperatura que favorecerá la aridez del territorio cubano.

Para hablar de los impactos esperados en la distribución espacial futura de *P. purpureum* es necesario realizar el análisis integral de las proyecciones de cada uno de los factores que intervienen: temperatura, precipitación media anual y tipo de suelo, pH y drenaje. Además, se deben establecer las relaciones entre los factores citados para tener una idea, lo más cercana posible, del resultado que se quiere.

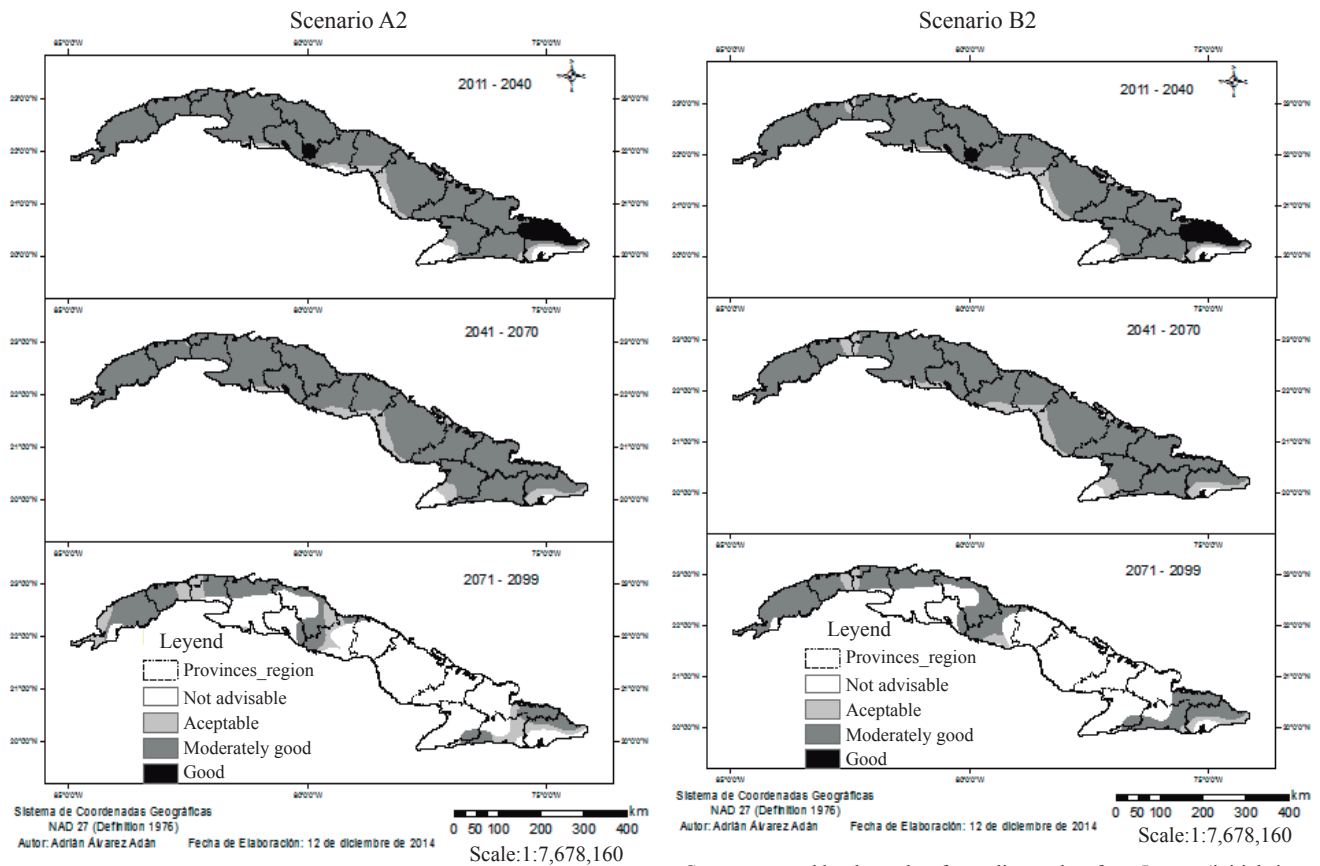
Desde el punto de vista temporal, hubo una tendencia a la disminución de las áreas con potencial de precipitación y temperatura favorable para la producción de biomasa de la especie. El escenario A2 fue el más crítico. Las anomalías negativas ascenderán del primero al último horizonte temporal desde 5.7 a 64.1 % para el A2 y de 6 hasta 58.5 % en el B2, según la tabla 4. Además, para ambos escenarios aumentarán las áreas que se hallan en la categoría no recomendable en el último trenteno de siglo. Se observa también la desaparición de las áreas con la combinación de temperaturas entre 24 y 26 °C y precipitación superior a los 1000 mm, categorizadas como buenas, a partir del período 2041 – 2070.

Espacialmente se confirma el resultado anterior (figura 5) y se prevé que la especie pase de ocupar casi la

Table 4. Percentage of areas occupied per categories, according to requirements of precipitation-temperature of *P. purpureum*, for emission scenarios A2 and B2

	Categories				Usable area	
	Not advisable	Acceptable	Moderately good	Good	Total	Anomaly
Scenario A2						
2011 – 2040	5.7	6.0	83.2	5.1	94.3	- 5.7
2041 – 2070	2.0	8.6	89.4	-	98.0	- 2.0
2071 – 2099	58.0	11.3	24.5	-	35.9	- 64.1
Scenario B2						
2011 – 2040	6.0	7.3	81.4	5.3	94.0	- 6.0
2041 – 2070	2.0	11.0	87.0	-	98.0	- 2.0
2071 – 2099	58.5	4.5	37.0	-	41.5	- 58.5





Source: created by the author from climate data from Insmet (initials in Spanish) and the map of soils of Cuba according to Nueva Clasificación Genética (1999)

Source: created by the author from climate data from Insmet (initials in Spanish) and the map of soils of Cuba according to Nueva Clasificación Genética (1999)

Figure 5: Potential of precipitation-temperature for the development of *P. purpureum* in the emission scenarios A2 and B2

(2011 – 2070), up to 36 and 42 % in scenarios A2 and B2, respectively.

A first interpretation of this analysis may be that these projected scenarios of increase of mean annual temperature will be notably determining the space pattern of potentialities of precipitation-temperature for the development of this species. A second interpretation will be that, up to 2070, there will be a homogenization of distribution towards all the country of moderately good category, which will substitute the good category existing at the baseline of occidental region and some areas of central region. From 2071, climate will be potentially favorable only for some regions of the country. The most affected areas will be those from the central region.

Space distribution of this species also shows a similar performance to that of the potential of precipitation-temperature. Temporarily (table 5), although anomalies will be negative as time passes, there will be a slight increase of potential areas for its development during 2041-2070, with very close values to those of baseline, so the category of good will be potentiated. From that moment, it will show a radical decrease, reaching between 19.7 (scenario B2) and 21.7 % (scenario A2) of the territory towards the end of the century, regarding the baseline. The areas under the not advisable categories will present the highest values, which will range between

totalidad del territorio durante los dos primeros períodos (2011 – 2070) hasta el 36 y 42 % en los escenarios A2 y B2, respectivamente. Una primera lectura de este análisis pudiera ser que los escenarios proyectados de aumento de la temperatura media anual estarán determinando notablemente el patrón espacial de las potencialidades de precipitación - temperatura para el desarrollo de la especie. Una segunda lectura sería que, en primera instancia, hasta el 2070, se homogenizará la distribución hacia todo el país de la categoría medianamente buena, que suplementará la de buena que existe en la línea base en la región occidental y algunas zonas de la región central. A partir de 2071, el clima será potencialmente favorable solo en algunas regiones del país. Las áreas más afectadas serán las de la región central.

La distribución espacial de la especie también muestra un comportamiento similar al del potencial de precipitación-temperatura. Temporalmente (tabla 5), aunque las anomalías serán negativas con el curso del tiempo, se observará ligero aumento de las áreas potenciales para el desarrollo de la misma durante 2041-2070, con valores muy cercanos a los de la línea base, por lo que se potenciará la categoría de bueno. A partir de entonces, podrá mostrar la disminución brusca hasta llegar entre 19.7 (escenario B2) y 21.7 % (escenario A2) del territorio hacia finales de siglo con respecto a la línea base. Las áreas bajo la categoría de no recomendable

67 % for period 2011 – 2040 and 87 % for 2099, for the most critical scenario (A2), with a difference of two percentage units more than B2, at the same time. It is important to state that, in the projected scenarios, there will be no information about areas with acceptable category. This idea comes from the analysis carried out between 1961 and 1990.

manifestarán los mayores valores, que oscilarán entre 67 % para el horizonte 2011 – 2040 y 87 % hacia 2099, para el escenario más crítico (A2), con diferencia de dos unidades porcentuales más que el B2, en igual tiempo. Se debe destacar que en los escenarios proyectados no se informarán áreas con categoría de aceptable, idea que proviene del análisis realizado para 1961-1990.

Table 5. Percentage of areas occupied per categories, according to space distribution of *P. purpureum*, for emission scenarios A2 and B2

	Categories				Usable area	
	Not advisable	Acceptable	Moderately good	Good	Total	Anomaly
Scenario A2						
2011 – 2040	67.1	-	31.4	1.5	32.9	- 1.0
2041 – 2070	66.0	-	12.5	21.5	34.0	+ 0.1
2071 – 2099	87.8	-	6.7	5.5	12.2	- 21.7
Scenario B2						
2011 – 2040	67.0	-	31.3	1.7	33.0	- 0.9
2041 – 2070	66.1	-	12.7	21.1	33.8	- 0.1
2071 – 2099	85.8	-	14.2	-	14.2	- 19.7

The analysis of space distribution (figure 6) shows that, despite projections of potentially usable areas are low, they are represented by one category or another all over the country. It will only be affected in the last studied temporary period, in which three well defined regions are observed. One of great extension will include some areas of Pinar del Río province, as well as Artemisa, La Habana, Mayabeque and the North part of Matanzas province. The second is smaller, and includes limiting areas of Villa Clara and Sancti Spiritus provinces. The third is more disperse, with small cores within Santiago de Cuba, Guantánamo and Holguín provinces.

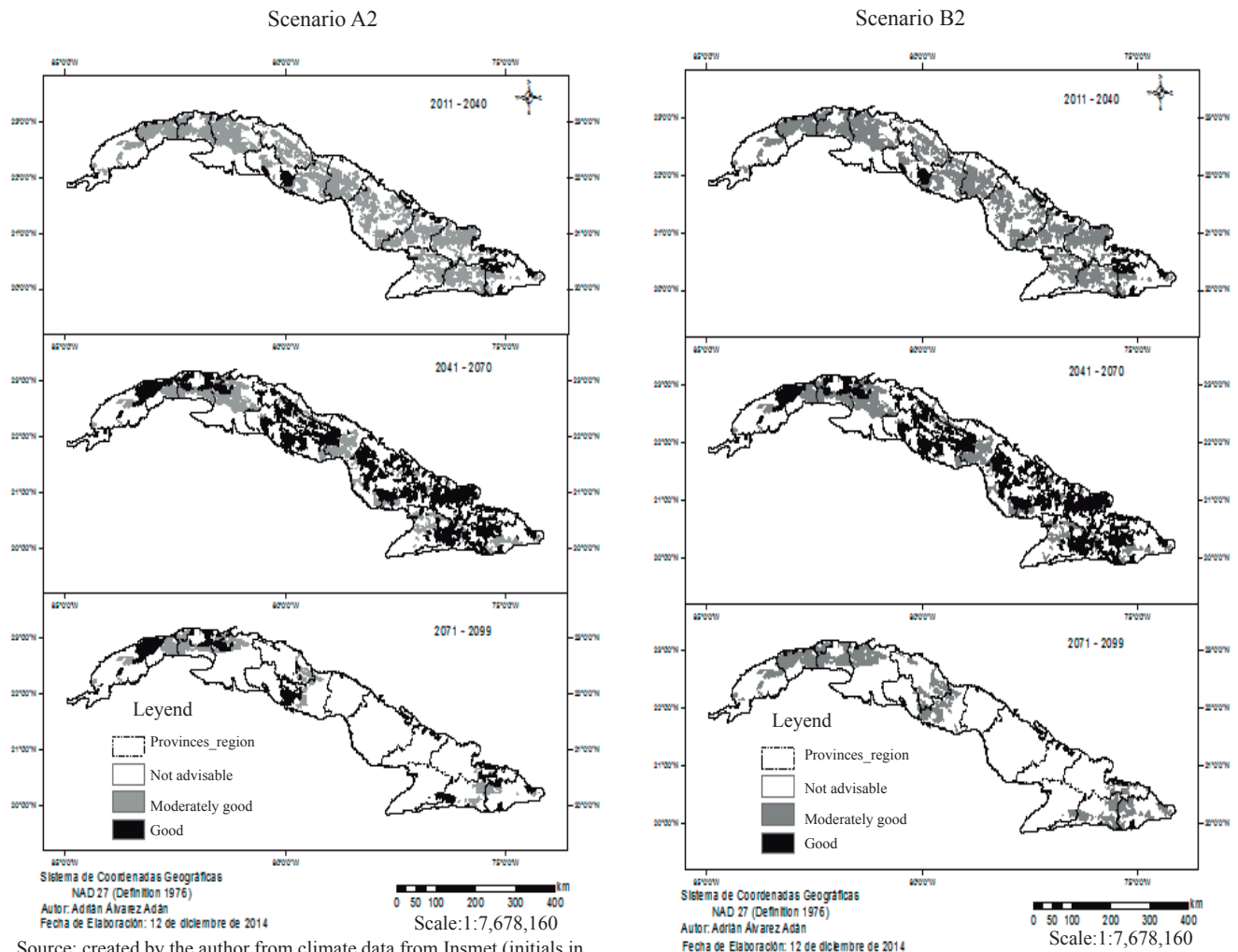
This performance of the decrease of future potentially usable areas of *P. purpureum* agrees with studies carried out for other species of commercial interest like oaks (*Quercus spp.*) (Mascot *et al.* 2015), plum (*Spondias spp.*) (Arce *et al.* 2015 ) and others (Monterroso *et al.* 2015) developed in Mexico, and with those of potato (Veneros *et al.* 2015) conducted in Peru. It also coincides with results of researches by Gavazov *et al.*(2013), who studied dynamics of forage production in mountain areas in Switzerland, according to projections of climate change. In addition, there are reports on the increase of areas for wheat in Yunnan province, in China (Lu *et al.* 2013).

It is important to state that, although there are only representations of good and moderately good categories in this space distribution, as potentially usable areas, they could have important problems of floodings during intense rains and hurricanes. It means that, despite these categories include soils of good drainage, *P. purpureum* is very sensitive to prolonged floodings (Febles and Herrera 2015) for more than

El análisis de la distribución espacial (figura 6) revela que, a pesar de que las proyecciones de áreas potencialmente utilizables sean tan bajas, están representadas por una categoría u otra en todo el país. Solo se verá más afectada en el último horizonte temporal estudiado, en el que se observan tres regiones bien definidas. Una primera de gran extensión, que comprenderá algunas zonas de la provincia Pinar del Río, las provincias Artemisa, La Habana, Mayabeque y la porción norte de la provincia Matanzas. Otra más pequeña, que compacta en las zonas limítrofes de las provincias Villa Clara y Sancti Spiritus y la tercera, más dispersa, con pequeños núcleos en las provincias Santiago de Cuba, Guantánamo y Holguín.

Este comportamiento de la disminución de las áreas futuras potencialmente utilizables de *P. purpureum* concuerda con estudios que se realizaron para otras especies de plantas de interés comercial como los encinos (*Quercus spp.*) (Mascot *et al.* 2015), la ciruela (*Spondias spp.*) (Arce *et al.* 2015 ) y otros (Monterroso *et al.* 2015) desarrollados en México, y con los de la papa (Veneros *et al.* 2015) realizados en Perú. También coincide con los resultados de las investigaciones de Gavazov *et al.*(2013), quienes estudiaron la dinámica de la producción de forraje en zonas montañosas de Suiza, según las proyecciones de cambio climático. Además, se encuentran informes de aumento de área para el caso del trigo en la provincia Yunnan, en China (Lu *et al.* 2013).

Es oportuno señalar, que aunque solo aparecen representadas en esta distribución espacial las categorías de medianamente bueno y bueno, como áreas potencialmente utilizables, estas pudieran tener problemas puntuales de encharcamiento, cuando ocurran intensas lluvias y huracanes. Es decir, a pesar de que estas categorías llevan implícito suelos con buen drenaje, la



Source: created by the author from climate data from Insmet (initials in Spanish) and the map of soils of Cuba according to Nueva Clasificación Genética (1999)

Source: created by the author from climate data from Insmet (initials in Spanish) and the map of soils of Cuba according to Nueva Clasificación Genética (1999)

Figure 6. Space distribution of *P. purpureum* for emission scenarios A2 and B2.

two days, mainly provoked by these meteorological phenomena. Although it may be a local fact, it has adverse effects on development and growth of this plant and may cause its death due to lack of oxygen within the roots (Taiz and Zeiger 2006).

Results of this study are very important from a practical point of view, taking into consideration that the Ministry of Agriculture of Cuba recommends the generalization of this technology of biomass banks as an alternative for grazing during dry period in tropical areas with one of the varieties of this species (Cuba CT-115), because it presents better potentialities for this purpose, according to reports of Martínez and Herrera (2015). In addition, other varieties are included on the strategy such as OM-22 and CT-169, as well as varieties of sugar cane with similar requirements to those of Pennisetum.

### Conclusions

The potential precipitation- temperature for the development of *P. purpureum* in Cuba will be highly affected and will contribute to reduction of potential areas from 2071, between 59 (scenario B2) and 64 %

especie *P. purpureum* es muy sensible a encharcamientos prolongados (Febles y Herrera 2015) de más de dos días, sobre todo provocados por estos fenómenos meteorológicos antes mencionados. Aunque puede ser un hecho local, tiene efectos adversos sobre el desarrollo y crecimiento de la planta y llega a causar su muerte, debido a la falta de oxígeno en las raíces (Taiz y Zeiger 2006).

Los resultados de este estudio son de gran importancia desde el punto de vista práctico, si se toma en cuenta que el Ministerio de la Agricultura de Cuba recomienda la generalización de la tecnología de bancos de biomasa como alternativa de pastoreo para el período poco lluvioso en el trópico con una de las variedades de esta especie, la Cuba CT-115, que presenta mayores potencialidades para este fin, según lo informado por Martínez y Herrera (2015). Además, se incluyen en la estrategia otras variedades como el OM-22 y el CT-169, así como variedades de caña que tienen requerimientos similares a los Pennisetum.

### Conclusiones

El potencial precipitación- temperatura para el desarrollo de *P. purpureum* en Cuba se verá severamente afectado y contribuirá con la reducción las áreas

(scenario A2). The most affected areas will be those from central region. On the other hand, soil potential will determine 34 % of usable area.

Integration of physical factors (climate and soil) allowed to identify potentially usable areas (space distribution) for cultivating and developing this species, which will follow the model stated by the potential of precipitation-temperature. In this case, reduction of potential areas, according to edaphoclimatic requirements of this species, will be between 20 (B2) and 22 % (A2) for the temporary period 2071-2099.

This research may be used as pattern for planning an *in situ* and *ex situ* conservation strategy of genetic resources of *P. purpureum*, because the most suitable places for the establishment of *in vivo* germplasm banks of this phylogenetic resource may be predicted. It can be also used as a strategy for management of areas established with this species, as to allow to minimize the effects of climate change and reach a better adaptation to different productive systems.

potenciales a partir de 2071, entre el 59 (escenario B2) y el 64 % (escenario A2). Las áreas más afectadas serán las de la región central. Por su parte, el potencial de suelo determinará 34 % del área utilizable.

La integración de los factores físicos (clima y suelo) permitió la identificación de las áreas potencialmente utilizables (distribución espacial) para el cultivo y desarrollo de la especie, que seguirá las pautas marcadas por el potencial precipitación-temperatura. En este caso, la reducción en áreas potenciales según los requerimientos edafoclimáticos de la especie será entre 20 (B2) y el 22 % (A2) para el horizonte temporal 2071-2099.

Esta investigación puede servir como base para la planeación de una estrategia de conservación *in situ* y *ex situ* de los recursos genéticos de *P. purpureum*, debido a que se pueden predecir los lugares más apropiados para el establecimiento de los bancos de germoplasma *in vivo* de este recurso fitogenético. También puede servir como una estrategia para el manejo de las áreas establecidas con esta especie, de modo que permita minimizar los efectos del cambio climático y lograr mejor adaptación de los diferentes sistemas productivos.

## References

- Arce, A. R., Monterroso, R. A. I., Gómez, J. D. & Cruz, L. A. 2015. "Distribución potencial de ciruela (*Spondias* spp.) en México bajo escenarios de cambio climático". In: X Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 15 June, La Habana, Cuba: Agencia de Medio Ambiente, ISBN: 978-959-300-073-4, Available: <<https://drive.google.com/open?id=0B1biY1FzrBrQQ0dwY3dvlBwSEE>>, [Consulted: November 23, 2015].
- Bárcena, A. 2010. "Restricciones estructurales del desarrollo en América Latina y el Caribe: una reflexión postcrisis". *Revista de la CEPAL*, (100): 7–28, ISSN: 1682-0908.
- Bárcena, A., Prado, A., Samaniego, J. & Pérez, R. 2014. *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible.* (ser. Documentos de Proyectos, no. ser. LC/L.3895), Santiago de Chile: ONU-CEPAL, 76 p., Available: <[http://200.9.3.98/bitstream/handle/11362/37471/S1420763\\_es.pdf?sequence=1](http://200.9.3.98/bitstream/handle/11362/37471/S1420763_es.pdf?sequence=1)>, [Consulted: June 2, 2016].
- Campbell, J. D., Taylor, M. A., Stephenson, T. S., Watson, R. A. & Whyte, F. S. 2011. "Future climate of the Caribbean from a regional climate model". *International Journal of Climatology*, 31(12): 1866–1878, ISSN: 1097-0088, DOI: 10.1002/joc.2200.
- Centella, A., Llanes, J., Paz, L., López, C. & Limia, M. 2001. *Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.* La Habana, Cuba: Grupo Nacional de Cambio Climático-Instituto de Meteorología, 166 p., Available: <<http://ncsp.undp.org/sites/default/files/198.pdf>>, [Consulted: June 2, 2016].
- Coraza, R. & Quintero, E. 1991. *Agrometeorología.* Villa Clara, Cuba: Publicaciones CDICT, 390 p.
- Del Pozo, P. P. 2002. "Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales". *Pastos*, 32(2): 109–137, ISSN: 0210-1270.
- Febles, G. & Herrera, R. S. 2015. "Introducción y características botánicas". In: Herrera, R. S., *Producción de biomasa de variedades y clones de Pennisetum purpureum para la ganadería*, 1st ed., Mayabeque, Cuba: EDICA, p. 171, ISBN: 978-959-7171-67-6.
- Febles, G. J. M., Vega, C. M. B., Amaral, S. N. M. B., Tolón, B. A. & Lastra, B. X. B. 2014. "Soil loss from erosion in the next 50 years in karst regions of Mayabeque province, Cuba". *Land Degradation & Development*, 25(6): 573–580, ISSN: 10853278, DOI: 10.1002/ldr.2184.
- García, L. M., Mesa, A. R. & Hernández, M. 2014. "Potencial forrajero de cuatro cultivares de *Pennisetum purpureum* en un suelo Pardo de Las Tunas". *Pastos y Forrajes*, 37(4): 413–419, ISSN: 0864-0394.
- Garea, L. E., Soto, C. F. & Vantour, C. A. 2007. "Combinación de métodos de análisis espacial para la zonificación agroecológica de cultivos en condiciones de montaña". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 7: 38–46, ISSN: 1729-3790.
- Gavazov, K. S., Peringer, A., Buttler, A., Gillet, F. & Spiegelberger, T. 2013. "Dynamics of Forage Production in Pasture-woodlands of the Swiss Jura Mountains under Projected Climate Change Scenarios". *Ecology and Society*, 18(1): 38, ISSN: 1708-3087, DOI: 10.5751/ES-04974-180138.
- Hernández, A., Ascanio, M. O., Morales, M., Bojórquez, J. I., García, N. E. & García, J. D. 2008. *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo.* México: Universidad Autónoma de Nayarit, 264 p., ISBN: 978-968-833-072-2.
- Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D. & Castro, S. N. 2015. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015.* Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 93 p., ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Herrera, R. S. 2005. "Evaluación de gramíneas. Contribución del Instituto de Ciencia Animal". *Cuban Journal of Agricultural*



- Science, 39(3): 253–259, ISSN: 2079-3480.
- Herrera, R. S. 2006. “Fisiología, calidad y muestreos”. In: Herrera, R. S., Rodríguez, I. D. & Febles, G. J., Fisiología, producción de biomasa y sistemas silvopastoriles en pastos tropicales: abono orgánico y biogás, La Habana, Cuba: EDICA, ISBN: 978-959-7171-04-1, Available: <[https://books.google.com/cu/books/about/Fisiolog%C3%ADa\\_producci%C3%B3n\\_de\\_biomasa\\_y\\_sis.html?id=fVwbkgEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books/about/Fisiolog%C3%ADa_producci%C3%B3n_de_biomasa_y_sis.html?id=fVwbkgEACAAJ&redir_esc=y)>, [Consulted: June 2, 2016].
- Herrera, R. S., Martínez, R. O., Martínez, M., Tuero, R., Cruz, A. M. & Romero, A. 2014. “Frecuencia de corte en indicadores de calidad de variedades de Pennisetum y Saccharum durante el período poco lluvioso”. Cuban Journal of Agricultural Science, 48(2): 159–166, ISSN: 2079-3480.
- Herrera, R. S. & Ramos, N. 2015. “Factores que influyen en la producción de biomasa y la calidad”. In: Herrera, R. S., Producción de biomasa de variedades y clones de *Pennisetum purpureum* para la ganadería, 1st ed., Mayabeque, Cuba: EDICA, p. 171, ISBN: 978-959-7171-67-6.
- Houghton, J. T. & IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (eds.). 2001. Climate change 2001: the scientific basis: contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. call no. QC981.8.C5 C511345 2001, New York, USA: Cambridge University Press, 881 p., ISBN: 978-0-521-80767-8, Available: <[http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/pdf/wg1\\_tar-front.pdf](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/wg1_tar-front.pdf)>, [Consulted: June 2, 2016].
- Jones, R. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using precis. Met office, 39 p., ISBN: 978-0-86180-372-9, Available: <[https://books.google.com/cu/books/about/Generating\\_high\\_resolution\\_climate\\_chang.html?id=4d\\_TOWAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books/about/Generating_high_resolution_climate_chang.html?id=4d_TOWAACAAJ&redir_esc=y)>, [Consulted: June 2, 2016].
- Lu, Y., Cao, L., Zhang, Z. & Li, H. 2013. “Study on Eco-climate Type Regionalization of Wheat Growing Areas in Yunnan Province”. Asian Agricultural Research, 5(7): 38, ISSN: 1819-1894.
- Martínez, Z. R. O. & Herrera, R. S. 2015. “Empleo del Cuba CT-115 para solucionar el déficit de alimentos durante la seca”. In: Herrera, R. S., Producción de biomasa de variedades y clones de *Pennisetum purpureum* para la ganadería, 1st ed., Mayabeque, Cuba: EDICA, p. 171, ISBN: 978-959-7171-67-6.
- Mascot, E., Badano, E. I., Rivas, J. F. & Douterlunge, D. 2015. “Supervivencia de encinos (*Quercus spp.*) de ambientes templados ante posibles escenarios del cambio climático”. In: X Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 15 July, La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-300-073-4, Available: <<https://drive.google.com/open?id=0B1biY1FzrBrQQ0dwY3dvblBwSEE>>, [Consulted: November 23, 2015].
- Monterroso, R. A. I., Gómez, D. J. D., Arce, R. A. R. & Lechuga, G. L. M. 2015. “Aptitud para algunos cultivos en condiciones de cambio climático para México”. In: X Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 15 July, La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-300-073-4, Available: <<https://drive.google.com/open?id=0B1biY1FzrBrQQ0dwY3dvblBwSEE>>, [Consulted: November 23, 2015].
- Murillo, S. J., Barros, H. J. A., Roncallo, F. B. & Arrieta, P. G. 2014. “Requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte para uso eficiente del agua en el Caribe seco colombiano”. Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 15(1): 83–99, ISSN: 0122-8706.
- Nava, J. J., Gutiérrez, E., Zavala, F., Olivares, E., Treviño, E., Bernal, H. & Herrera, R. S. 2013. “Establecimiento del pasto ‘CT-115’ (*Pennisetum purpureum*) en una zona semiárida del noreste de México”. Revista Fitotecnia Mexicana, 36(3): 239–244, ISSN: 0187-7380.
- Paretas, J. J. 1990. Ecosistemas y regionalización de pastos en Cuba. La Habana, Cuba: Universidad de La Habana, 178 p.
- Planos, E. O., Vega, R. & Guevara, A. (eds.). 2013. Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología-Agencia de Medio Ambiente-Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 430 p.
- Solano, O., Vázquez, R., Menéndez, C., Menéndez, J. A. & Martín, M. E. 2005. “Evaluación de la Sequía Agrícola en Cuba”. Revista Cubana de Meteorología, 12(2): 3–14, ISSN: 0864-151X.
- Suárez, J. J. & Herrera, J. 1986. “El Clima de Cuba y la producción de pastos”. In: Los pastos en Cuba, 2nd ed., vol. 1, La Habana, Cuba: EDICA, p. 800.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. Castelló de la Plana: Universitat Jaume I, ISBN: 978-84-8021-601-2, OCLC: 803304985, Available: <[https://books.google.com/cu/books?id=7QIbYg-OC5AC&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books?id=7QIbYg-OC5AC&redir_esc=y)>, [Consulted: June 2, 2016].
- Veneros, J., Tonnang, H., Vela, A., Seminario, J., Veneros, M., García, M. & Estacio, M. 2015. “Potential effects of climate change on a potato tuber moth: distribution and number of generations”. In: X Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 15 July, La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-300-073-4, Available: <<https://drive.google.com/open?id=0B1biY1FzrBrQQ0dwY3dvblBwSEE>>, [Consulted: November 23, 2015].

Received: July 15, 2015