

Distribution and abundance of mosquitoes in the world. Preliminary report.

Pepe, M.; Martínez, L. y Wehinger, J.

Huechulafquen Science Club, Junín de los Andes, Argentina

Teacher: Prieto, A.



Abstract:

Based on the data collected around the world by the GLOBE Program, an analysis was made of the distribution and abundance of larvae according to latitude, elevation, and type of habitats, comparing them with climatic conditions. Samplings were also carried out in the Patagonia region, with extreme climates for the development of mosquitoes. The GLOBE mosquito protocol and the GLOBE Observer-Mosquito application were used. Habitats were recorded and larvae were identified. The statistical treatment was performed ANOVA and the Tukey test of difference of means. Landsat 8 images were analyzed from the calculation of NDVI and NDWI indexes in the Junín de los Andes area. The greatest abundance of mosquito larvae was found in latitudes and low elevations, coinciding with high temperatures, abundant rainfall and high humidity. The largest number of larvae was recorded in artificial containers thrown as garbage, which would indicate that human behaviors influence the abundance of mosquitoes. In the Patagonian region there is less abundance of mosquitoes than in low latitudes due to low temperatures and the dry season in summer and autumn.

Table of Contents:

Distribution and abundance of mosquitoes in the world. Preliminary report. 1

Abstract: 1

Introduction..... 2

Research Questions and Hypothesis: 9

Materials and Method: 9

Data Summary: 12

Analysis and Results: 19

Conclusions: 19

Discussion: 20

Acknowledgements: 20

References/Bibliography: 20

Introduction

According to the World Health Organization, mosquitoes cause millions of deaths every year around the world, due to their ability to transmit and spread diseases to humans. For ex. In 2017, it is estimated that 219 million cases of malaria (also called malaria) occurred in the world. For this reason (Weetman, et al., 2015, Blasberg, et al., 2016, Bissinger, et al., 2014 and others) called it the most dangerous animal in the world.

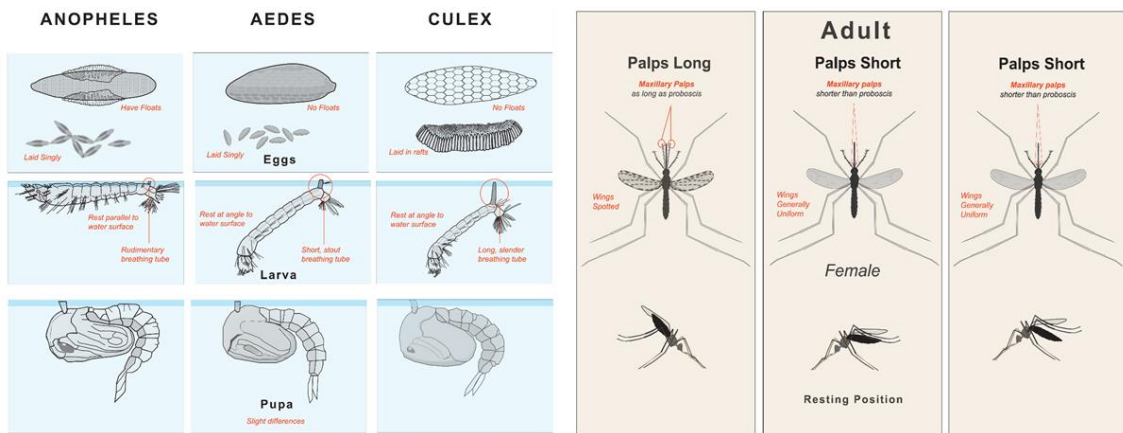


Fig. 1. Main differences between mosquito genera. Source: The GLOBE Program

Mosquitoes are vectors of viruses, bacteria or parasites that cause diseases. The global incidence of dengue has multiplied by 30 in the last 30 years (Lam, et al., 2012), and more countries are reporting their first outbreaks of the disease. Zika, dengue, chikungunya and yellow fever are transmitted to humans by the Aedes aegypti mosquito. More than half of the world's population lives in areas where this species of mosquito is present.

Mosquito life cycle

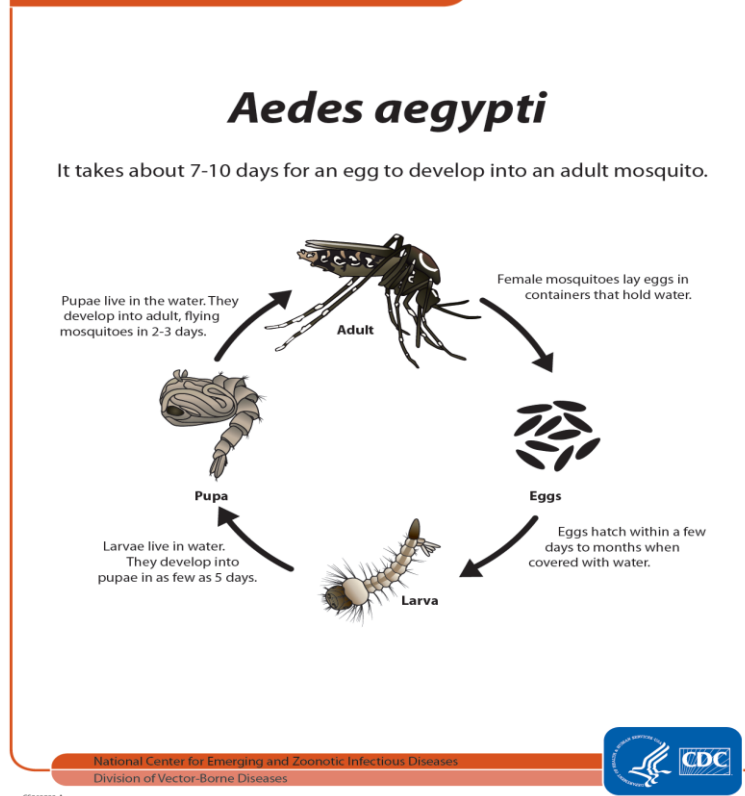


Fig. 2. Mosquito life cycle. Source: CDC

Table 1. Main diseases transmitted by mosquitoes

Genus of mosquitoes	Transmitted diseases
<i>Aedes</i>	Chikungunya Dengue Lymphatic filariasis Rift Valley fever Yellow fever Zika Dirofilaria immitis Fever of the Ross River Barmah Forest virus La Crosse encephalitis Keystone virus
<i>Anopheles</i>	Malaria or Malaria Lymphatic filariasis Dirofilaria immitis
<i>Culex</i>	Japanese encephalitis Lymphatic filariasis West Nile fever Dirofilaria immitis Encephalitis of Saint Louis Western equine encephalitis virus Fever of the Ross River Barmah Forest virus
<i>Psorophora</i>	Dirofilaria immitis
<i>Mansonia</i>	Dirofilaria immitis
<i>Culiseta</i>	Western equine encephalitis virus Eastern equine encephalitis virus

Although mosquitoes are distributed around the world, in areas where there is higher temperature and humidity, we can find more mosquitoes and species diversity.

The geographical distribution of mosquitoes is influenced by two major factors: a) modification of habitats and b) active dispersion. The latter is the displacement made by the mosquito in search of suitable breeding sites (some species could fly up to one kilometer) (Forattini, 1962). In terms of habitat modification, it covers more factors for which the mosquito is distributed; These are the climatic causes and anthropic intervention.

Referred to the first factor, they are classified as:

- Intervals: Thermal (increase or decrease of temperatures), Humidity, Rains (provoking floods) or by solar radiation (increase in temperature);
- Global warming (Climate change), producing the displacement of the isotherms due to the increase in temperature, and generating a variation in the frequency and amount of rainfall
- Phenomena, such as El Niño and La Niña, whose consequences require, further investigation due to the great variability that it presents.

In relation to the modification of the environment by human action, the following factors interfere in mosquito populations:

- Human Behaviors, such as discarding solid waste that accumulates water (jars, cans).
- Urbanization. It offers new habitats due to pollution in cities, the accumulation of water in artificial containers, etc.
- Transportation, dispersing moquitos by sea, land or air. For example, the entry of *Aedes aegypti* from Africa and Asia into America by sea (PAHO, 1987);
- Production. Eg deforestation of forests for cultivation, flooding of fields for rice crops, among others.
- Control of mosquito populations, through insecticides causing the transfer to other areas.

Mosquito breeding habitats can be:

a) Natural:

- Overflow puddles
- Rainfall accumulations
- Estero and lagoons
- Streams of soft current
- Springs
- Animal tracks
- Stagnant water

b) Micro-habitats



Fig. 3. Immature mosquito microhabitats: 1) decaying fruit husks, 2) fresh fruit husks, 3) tree holes, 4) puddles, 5) tires, 6) rocks-holes, 7) storage containers, 8) discarded containers and 9) bamboo holes) in Kédougou from June – December 2010. (Diallo, D. et al., 2012)

c) Artificial:

Table 2. Types of artificial habitats.

Genus of mosquito	Artificial habitat material.
<i>Aedes</i>	Rubber, Cement, Ceramic, metal, plastic, glass
<i>Anopheles</i>	Cement, rubber
<i>Culex</i>	Rubber, cement, ceramic, marble, metal, plastic, glass
<i>Limatus</i>	Rubber
<i>Lutzia</i>	Rubber, plastic, glass
<i>Psorophora</i>	Plastic
<i>Toxorhynchites</i>	Rubber, plastic, glass

Risk maps of mosquito-borne diseases are used to show the spatial heterogeneity and the probability of transmission on a global scale.

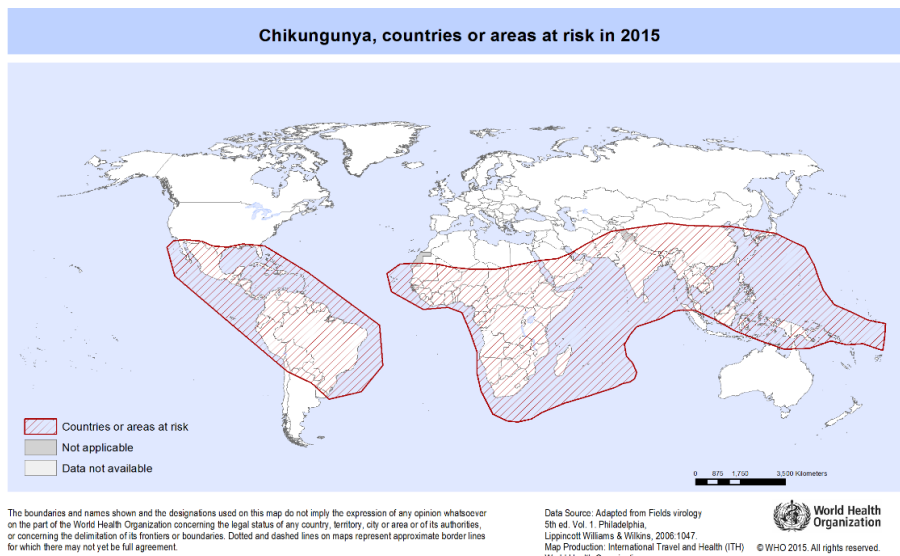


Fig. 4. Chikungunya risk areas. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

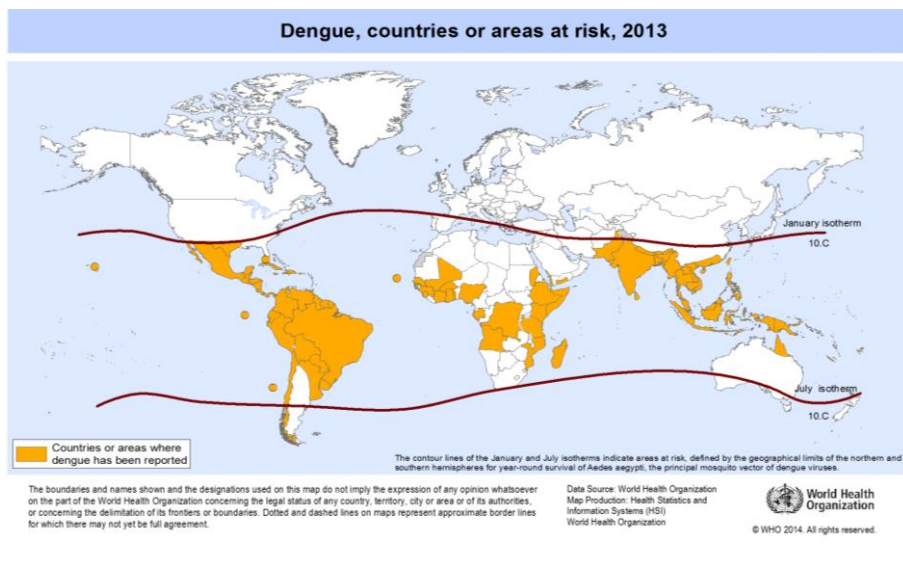


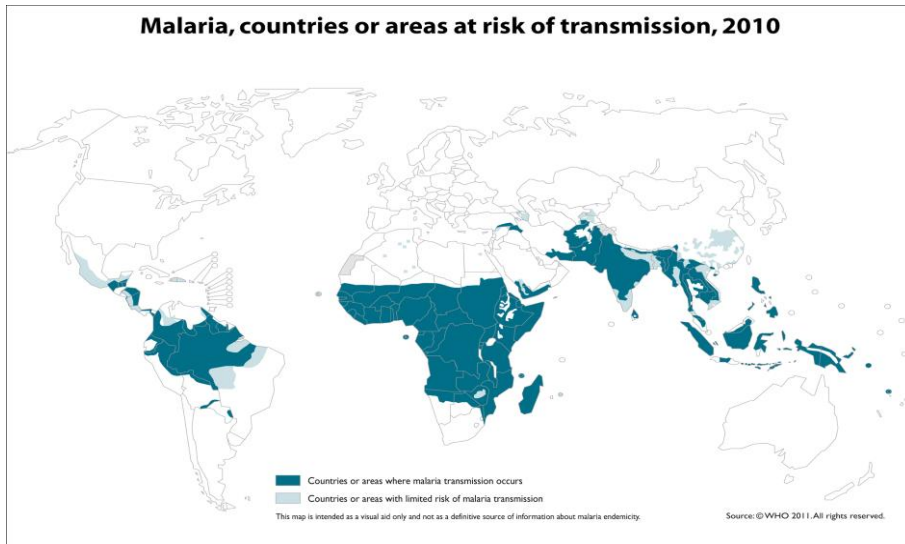
Fig. 5. Dengue risk areas. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

Japanese encephalitis, countries or areas at risk



Fig. 6. Countries at risk of Japanese encephalitis. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

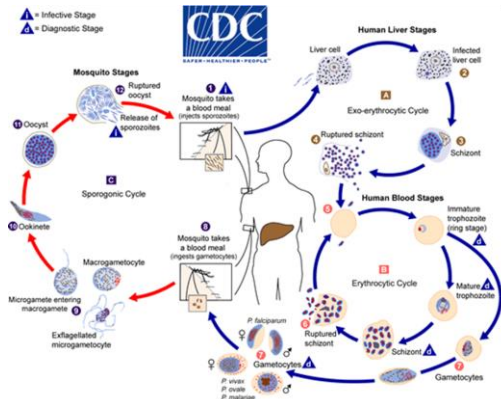
Malaria, countries or areas at risk of transmission, 2010



The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the World Health Organization concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. Dotted lines on maps represent approximate border lines for which there may not yet be full agreement.



Fig. 7. Malaria risk areas. Source: <https://www.who.int/ith/en/>



The malaria parasite life cycle involves two hosts. During a blood meal, a malaria-infected female *Anopheles* mosquito inoculates sporozoites into the human host (1). Sporozoites infect liver cells (2) and mature into schizonts (3), which rupture and release merozoites (4). After this initial replication in the liver (exo-erythrocytic schizogony (A)), the parasites undergo asexual multiplication in the erythrocytes (erythrocytic schizogony (B)). Merozoites infect red blood cells (5). The ring stage trophozoites mature into schizonts, which rupture releasing merozoites (6). Some parasites differentiate into sexual erythrocytic stages (gametocytes) (7). Blood stage parasites are responsible for the clinical manifestations of the disease. The gametocytes, male (microgametocytes) and female (macrogametocytes), are ingested by an *Anopheles* mosquito during a blood meal (8). The parasites' multiplication in the mosquito is known as the sporogonic cycle (C). While in the mosquito's stomach, the microgametes penetrate the macrogametes generating zygotes (9). The zygotes in turn become motile and elongated (ookinetes) (10) which invade the midgut wall of the mosquito where they develop into oocysts (11). The oocysts grow, rupture, and release sporozoites (12), which make their way to the mosquito's salivary glands. Inoculation of the sporozoites (1) into a new human host perpetuates the malaria life cycle.

Fig. 8. Life cycle of the malaria parasite.

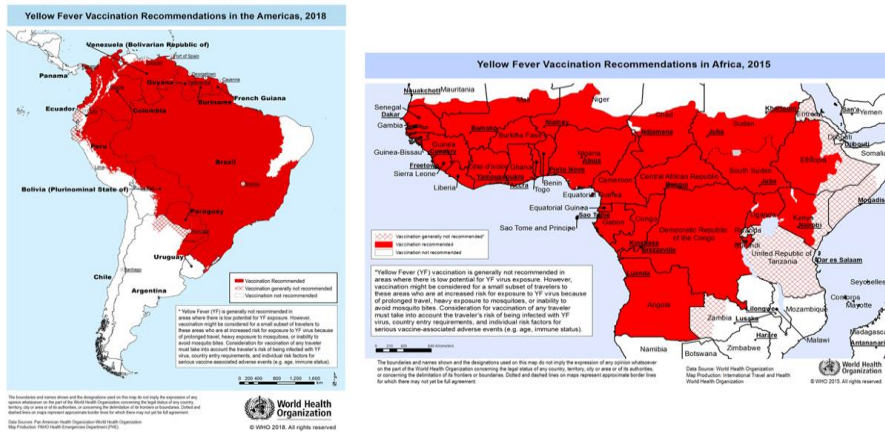


Fig. 9. Areas of risk of yellow fever. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

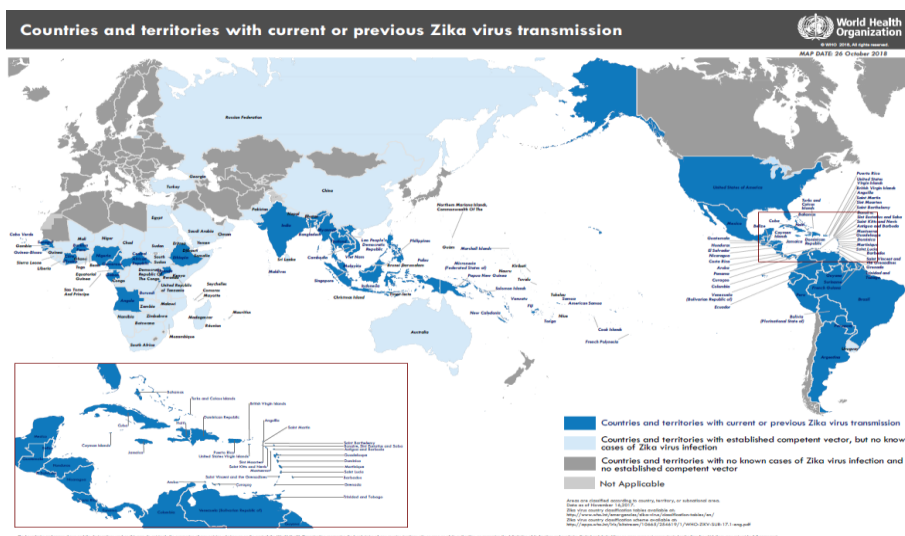


Fig. 10. Countries with risk of Zika. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

Some mosquito eggs can resist desiccation and extreme temperatures for months or up to a year. These characteristics allow them to take advantage of human transport (Figs 11 and 12) for passive dispersion over long distances.

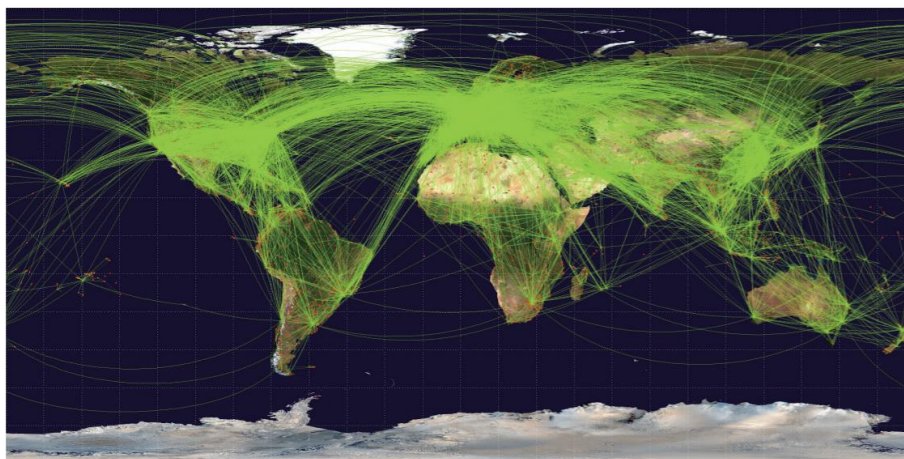


Fig. 11. Global map of air transportation routes. (Lim, et al., 2016).



Fig. 12. Main shipping routes and strategic locations. Rodrigue, J. P. (2017)

Climatic conditions, particularly temperature, humidity and precipitation, affect reproduction rates and survival of mosquitoes, as well as the availability of habitats, affect their distribution and abundance.

The equatorial zone between the tropics has higher temperatures, precipitation and humidity than the middle and high latitudes. The same happens with the altitude, as we ascend, the temperature decreases. Other factors also influence, such as the proximity to the ocean, continental development, etc.

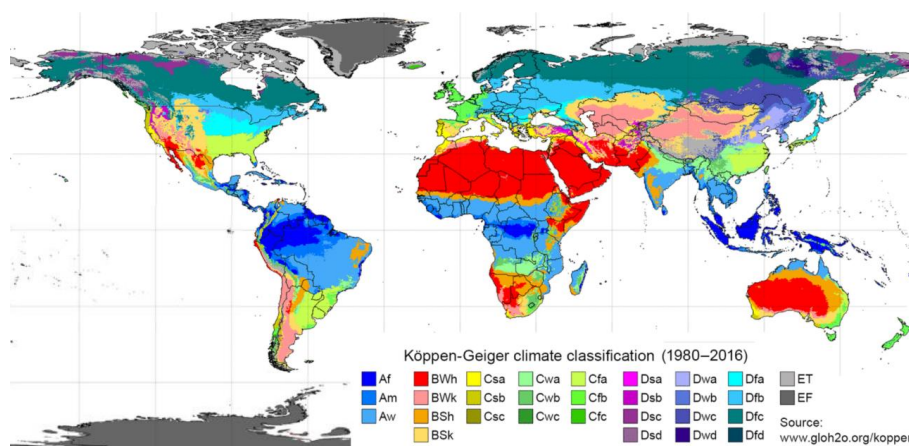


Fig. 13. Climate on Earth. A = Tropical, B = Dry, C = Temperate (Oceanic, Subtropical and Mediterranean), D = Continental, E = Cold.

In the last century, there has been an increase in the global average temperature, as well as loss of sea ice, thinning and loss of glaciers in the poles and in high mountain areas that are causing changes in the weather patterns of different regions. In some places there are changes in temperature and precipitation, higher frequencies of extreme events, changes in the flora and fauna of ecosystems and other effects.

These changes can affect the distribution and abundance of insects such as mosquitoes or the pathogens they transmit. Temperature can affect the distribution of a disease by affecting the life

cycle of the mosquito. They need a certain temperature range to survive and develop. For example, maximum temperature of 22-23 ° C and minimum of 25-26 ° C are the two thresholds for the development of mosquitoes that transmit the Japanese Encephalitis Virus (Mellor and Leake, 2000). Excessive heat can increase the mortality rates of some pathogens. For example, the development of the malaria parasite (*Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax*) ceases when the temperature exceeds 33 ° C - 39 ° C (Patz, et al., 1996). In addition, the increase in temperature can influence the reproduction and the incubation period. For example, *P. falciparum* reduces its incubation from 26 days at 20 ° C to 13 days at 25 ° C (Bunyavanich, et al., 2003).

As the temperature continues to rise as a result of climate change, insects in low latitude regions can find new habitats in the mid- or high-latitude regions and in high-altitude areas, leading to geographic expansion or change of areas with risk of diseases. (Wu, et al., 2016). Recent studies have found that some human infectious diseases transmitted by vectors, such as malaria, yellow fever and dengue, have been distributed to a wider range (for example, Harvell et al., 2002).

Research Questions and Hypothesis:

Considering the foregoing, we formulate the following research questions: 1) At what latitudes and altitudes will a greater number of mosquito larvae be found? 2) What habitat preferences do mosquito females have to lay their eggs? 3) How does human behavior influence the distribution and abundance of mosquitoes in the world? 4) Which species are more abundant in the world? 5) Why are there no mosquitoes in some places? 5) With climate change will changes in temperature, humidity and rainfall patterns occur, will they influence the abundance and distribution of mosquitoes?

Hypothesis:

H₁: In the warmer zones near Ecuador 10 ° Lat N and 10 ° Lat S and at low elevations, there is greater abundance and diversity of mosquito species in the world.

H₂: Mosquito females prefer natural habitats.

H₃: The human behavior of generating new habitats (eg flooded environments to produce rice), plastic containers thrown as garbage that collect water, transport of people and goods can increase the abundance and dispersion of mosquitoes to new areas.

H₄: Low temperatures and lack of humidity restrict the distribution of mosquitoes.

H₅: Climate change will be a factor that helps in the dispersion of mosquitoes towards higher latitudes and altitudes.

Materials and Method:

The GLOBE Program data, taken in a large part of the world by students, teachers, scientists and citizen scientists from the following available periods, were used: a) Mosquito Larvae (2015/10/04 to 2018/11/26), 465 sites sampled. b) Mosquito habitat mapper (2017-05-29 to 2019-04-03), with 3792 sites sampled. (NASA-GLOBE, 2017).

To analyze the data of mosquito larvae, they were divided into ranges from 0 to 600 larvae and greater than 600 because of the great variability in abundance in some regions.

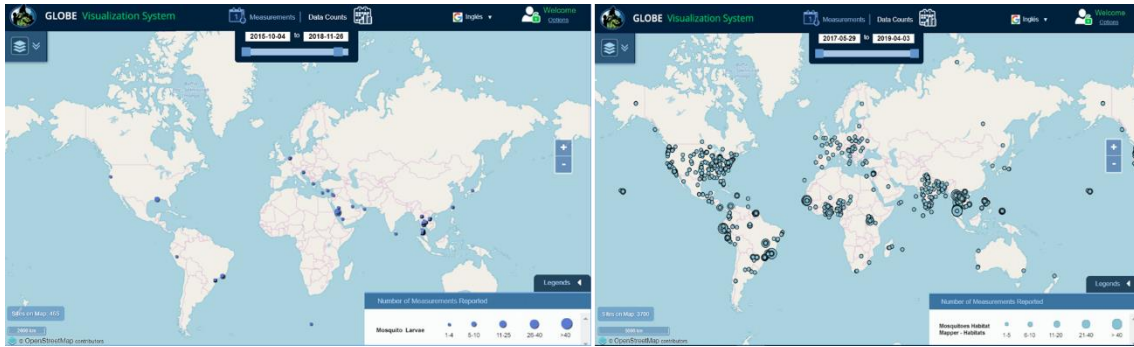


Fig. 14. Data visualizations in the GLOBE Program. Source: The GLOBE Program.

Samples were taken in the surroundings of the city of Junín de los Andes, Argentina in different places, where there were small bodies of standing water parallel to the Chimehuin River. (Fig. 15) during the period from 2019/26/02 to 2019/11/03.

Traps for mosquitoes were also placed in order that the females place their eggs there.

For the sampling and identification methodology, the GLOBE Program Mosquito protocol and the GLOBE Observer application (NASA-GLOBE, 2017) were used.

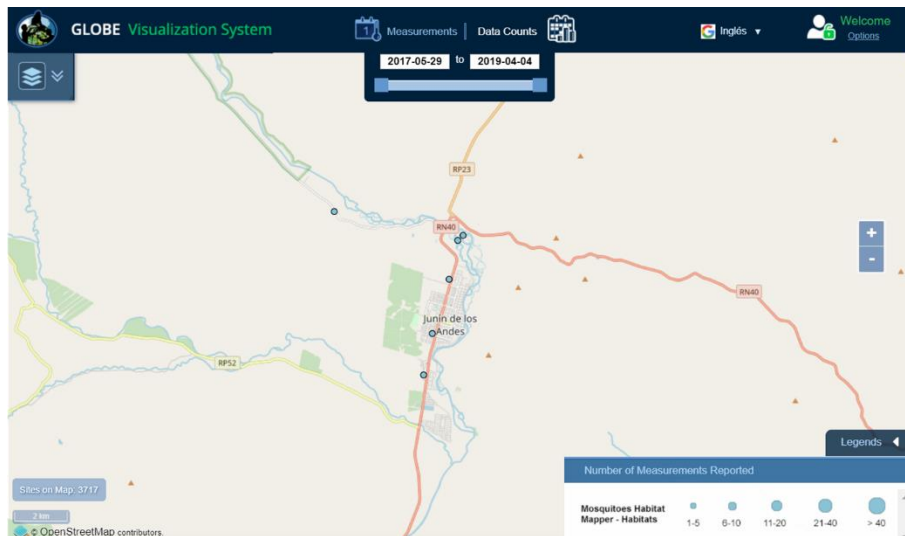


Fig. 15. Location of habitat sampling sites and mosquito larvae.

The samples were processed to perform the mosquito count and identify the genus. Some pupae were preserved until the adults emerged to identify them and make a photographic record.



Fig. 16. Sampling of mosquitoes in natural environments (1) and (2). Samples obtained (3). Mosquito trap (4).



Fig. 17. Identification of mosquito larvae and pupae. (1) Photographic record. (2) Head of the larva of the genus *Culex* sp. (3) Siphon and anal segment larva of the genus *Culex* sp. (4) Pupa. (5) Larvae and pupa breathing on the surface of the water. (6) Empty pupario after the adult emerged. (7) Respiratory trumpet of pupa of the genus *Culex* sp.



Fig. 18. Adult mosquito (1) and (3) Male. (2) and (4) Female.

Statistical analysis was performed with STATISTICA software. (StatSoft, Inc., 2007). To test for normality, we used the tests (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors), then the analysis of variance (ANOVA) was applied, homogeneity of the variance was checked with the Levene test and comparison of means was performed by applying The Tukey Test.

The historical climatic data of Junín de los Andes and the meteorological data of the sampling period were obtained from the Meteoblue website. (Meteoblue, 2019).

The Landsat 8 OLI satellite images from the Junín de los Andes area were obtained from the EarthExplorer database (USGS, 2019) and processed with the QGIS software. The indices were calculated: a) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and b) Normalized Difference Water Index (NDWI) using the following equations (Mushore, et al., 2017):

Equations

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Calculation with Landsat 8

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 6}{Band\ 5 + Band\ 6}$$

References:

NIR=Near Infrared Red
SWIR=Short Wave InfraRed

Data Summary:

In the world data analyzed (Fig. 14) it is observed that the largest number of mosquito larvae are found in artificial containers (Fig. 19 and 20).

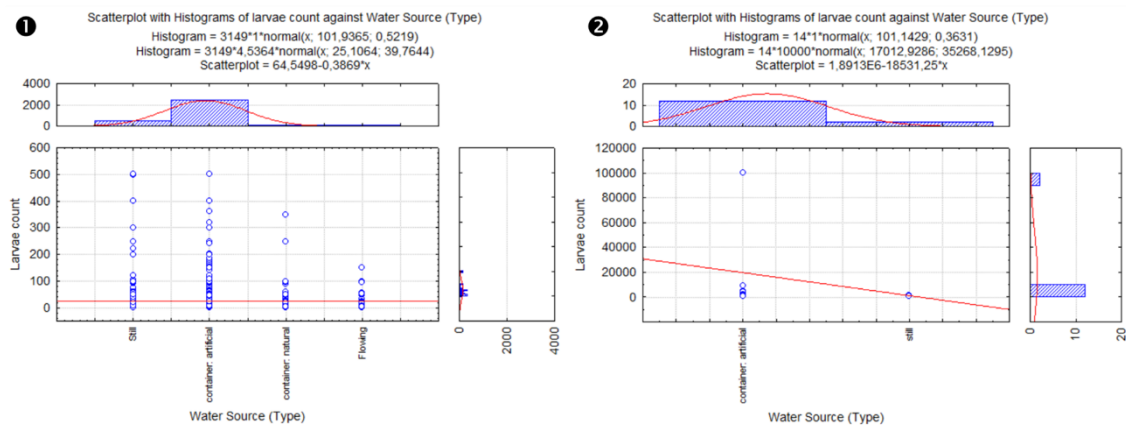


Fig. 19. Type of source where larvae were found. (1) Range from 0 to 600 larvae. (2) More than 600 larvae.

If the larvae found in all natural environments are added and compared with artificial containers, they are still more abundant in the latter (Fig. 20), even in cases where larvae were found in very high numbers.

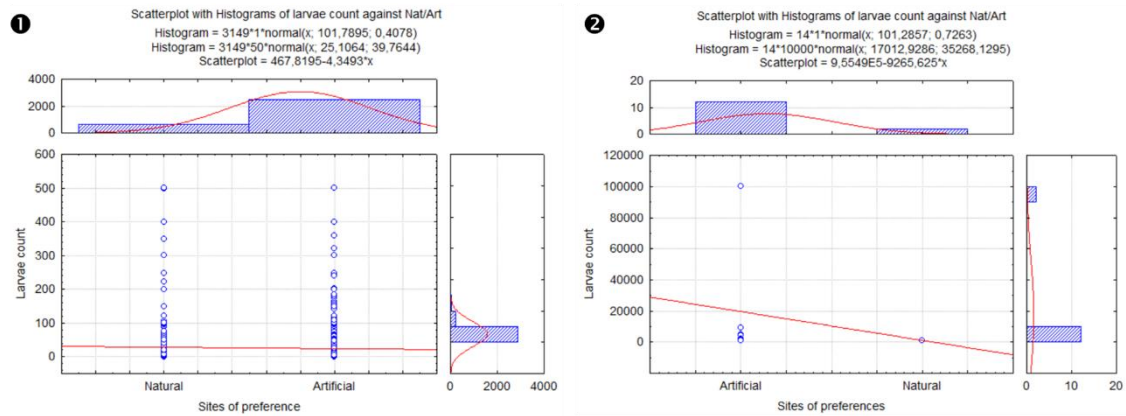


Fig. 20. Preferential sites. (1) Range from 0 to 600 larvae. (2) More than 600 larvae.

The greatest number of larvae was found in low latitudes (Fig. 21), coinciding with humid tropical climates (Fig. 13) and with distribution maps of mosquito-borne diseases. (Figs 4, 5, 6, 7, 9 and 10)

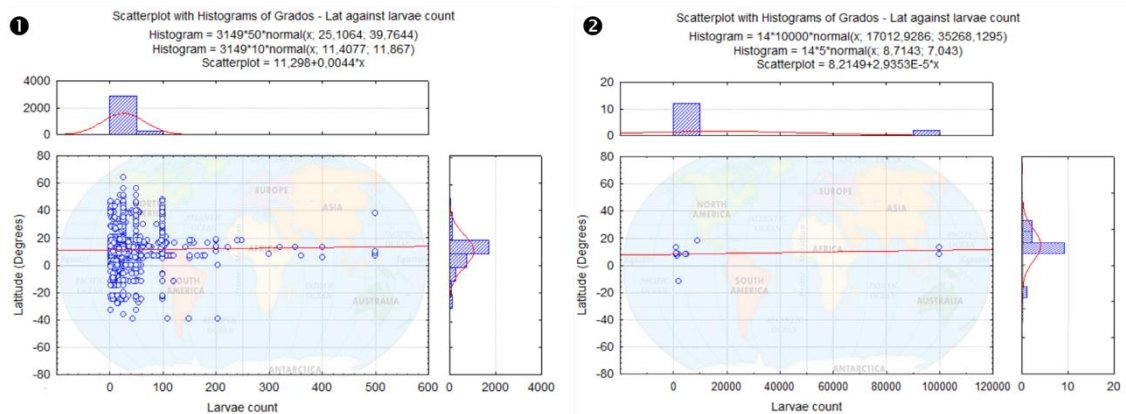


Fig. 21. Abundance of mosquito larvae according to latitude. (1) Range from 0 to 600 larvae. (2) More than 600 larvae.

The number of mosquito larvae decreases with altitude. In the lower areas there is the greatest abundance. (Fig. 22)

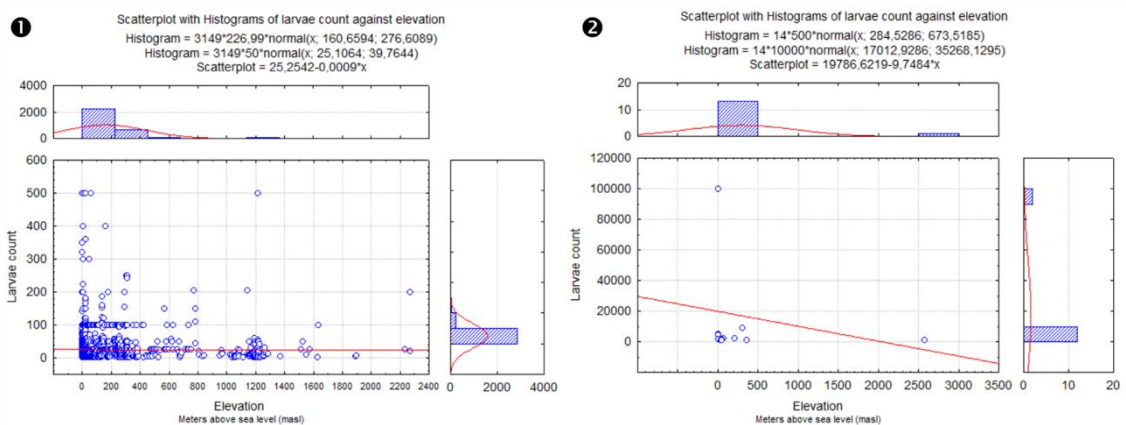


Fig. 22. Abundance of mosquito larvae according to elevation. (1) Range from 0 to 600 larvae. (2) More than 600 larvae.

The Anopheles genus is the one with the highest abundance of larvae in the samplings carried out.

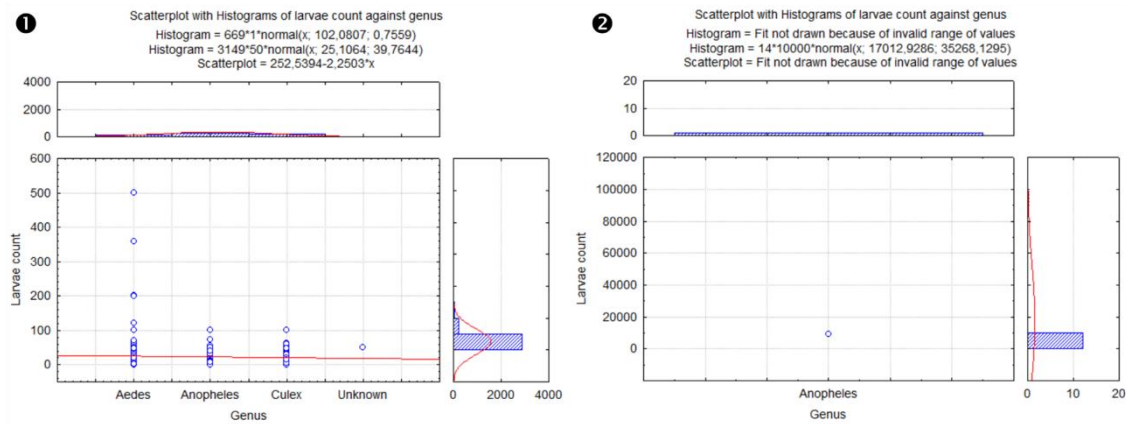


Fig. 23. Abundance of larvae according to genus. (1) Range from 0 to 600 larvae. (2) More than 600 larvae.

16% of the habitats sampled in the world by the participants of the GLOBE Program did not contain mosquito larvae.

In the area sampled near Junín de los Andes (Fig. 15), the climate is cold and dry. It is a transition zone between the forest and the Patagonian steppe. The rains are concentrated at the end of autumn and winter, coinciding with the minimum temperatures. In summer only some days record temperatures higher than 25 ° C. (Fig. 24)

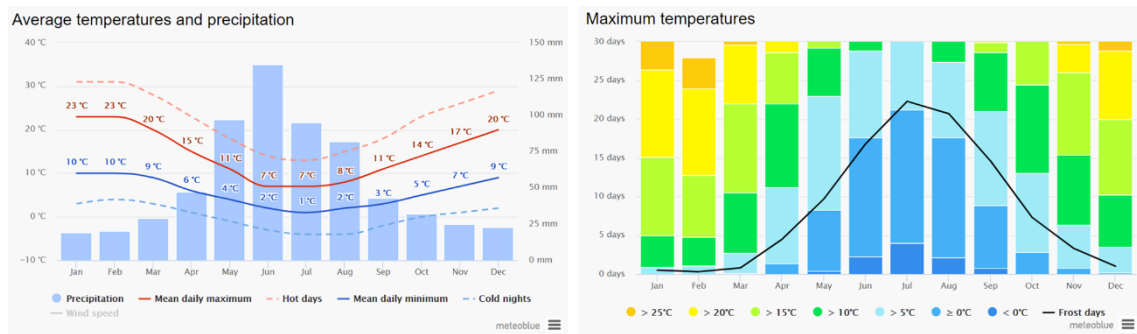


Fig. 24. Temperatures and rainfall in Junín de los Andes. Source: Meteoblue

The highest cloud cover is concentrated in winter coinciding with precipitation, but during the rest of the year, total and partial cloudiness is present.

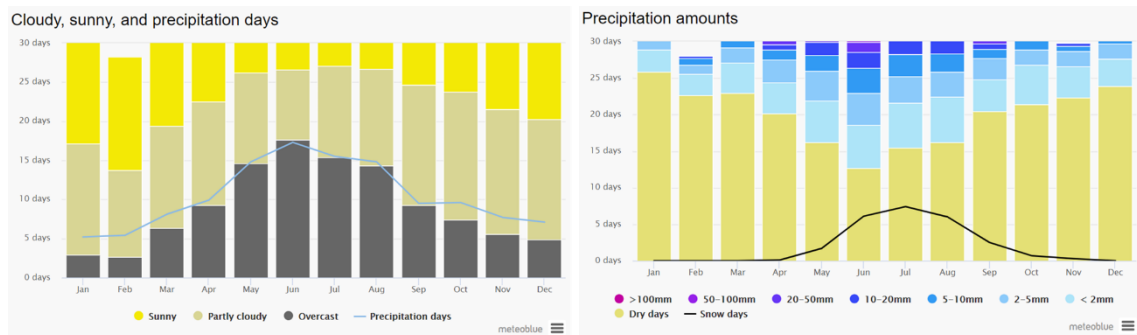


Fig. 25. Cloudy, sunny days and accumulated rainfall in Junín de los Andes. Source: Meteoblue

It is a windy area, mainly in the months of August to December where the wind gusts exceed 38 km / h. At the end of winter and the beginning of spring, there are gusts greater than 50 km / h. The predominant direction of the wind is from the West.

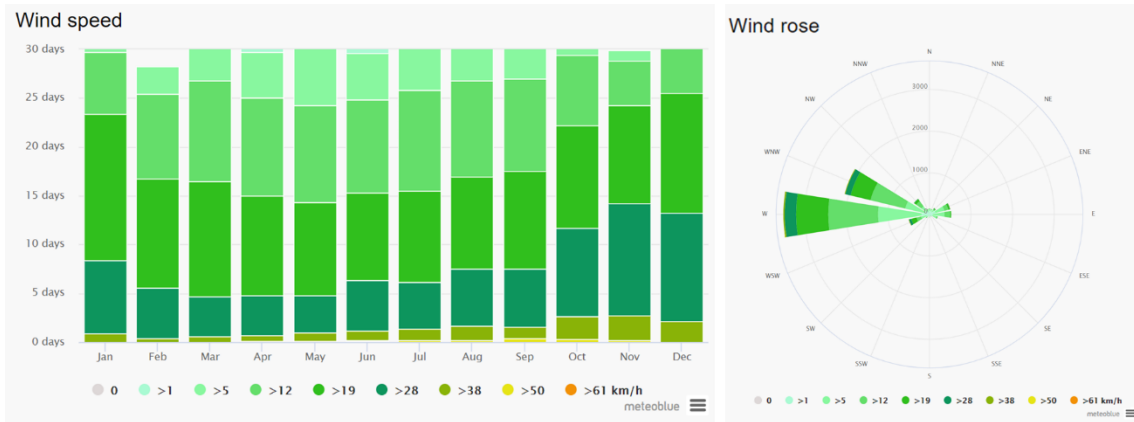


Fig. 26. Wind speed and direction in Junín de los Andes. Source: Meteoblue

In the fall of 2018, the NDVI index shows areas of active vegetation in forest areas, in some wetlands (locally called "mallines") and in irrigated areas near urbanizations. The NDWI shows very few areas with humidity. (Fig. 26)

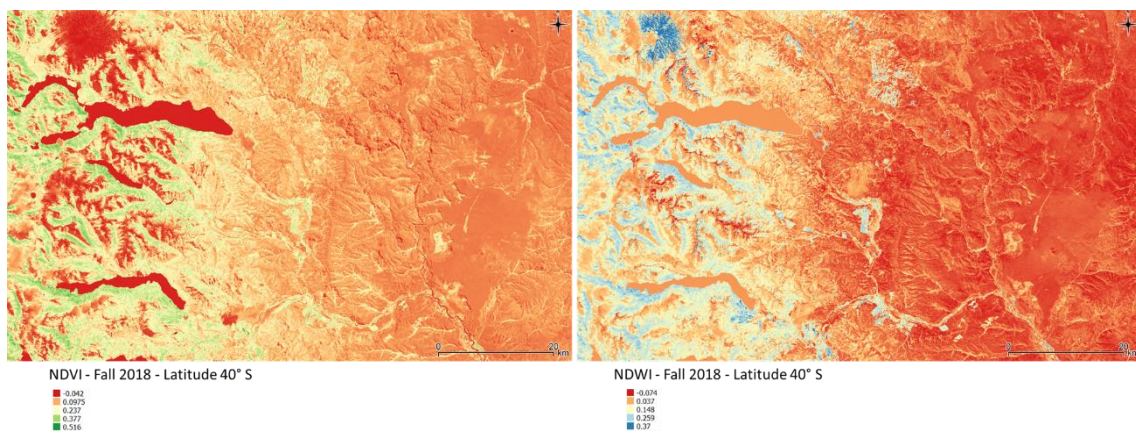


Fig. 27. NDVI and NDWI indexes, fall 2018, near of Junín de los Andes. Landsat 8 OLI images (USGS, 2019) processed with (QGIS, 2018)

In winter, rains begin, but low temperatures prevent the development of vegetation. In the only available winter image is cloudy over the forest, only the steppe area can be analyzed. The NDVI index shows very few green areas. The NDWI index shows the humidity in the area with clouds and in very few areas in the steppe zone.

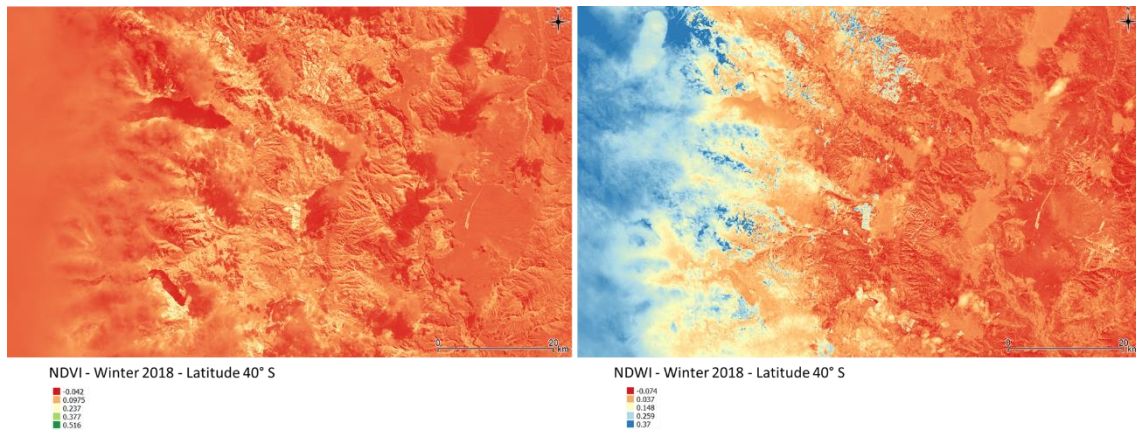


Fig. 28. NDVI and NDWI indexes, winter 2018, near Junín de los Andes. Landsat 8 OLI images (USGS, 2019) processed with (QGIS, 2018)

In spring, the NDVI shows an advance of the green, with respect to the previous images, more intense in the forest area and it extends in less intensity towards the East. The NDWI shows the humidity in the same areas. At the top left, you can see a blue spot corresponding to the Lanín volcano covered with snow

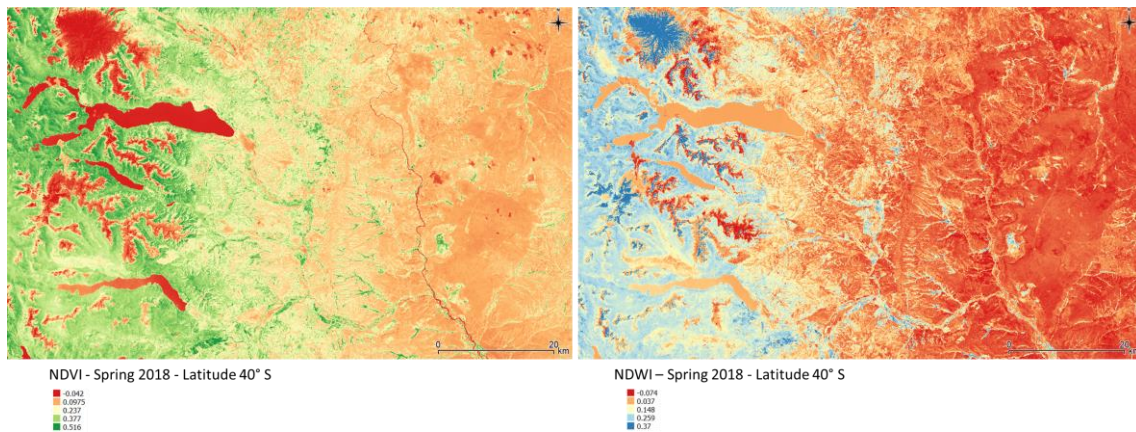


Fig. 29. NDVI and NDWI indexes, spring 2018, near Junín de los Andes. Landsat 8 OLI images (USGS, 2019) processed with (QGIS, 2018)

In the summer, the NDVI decreases with respect to spring, as does the NDWI. The amount of snow in the Lanín volcano also decreases.

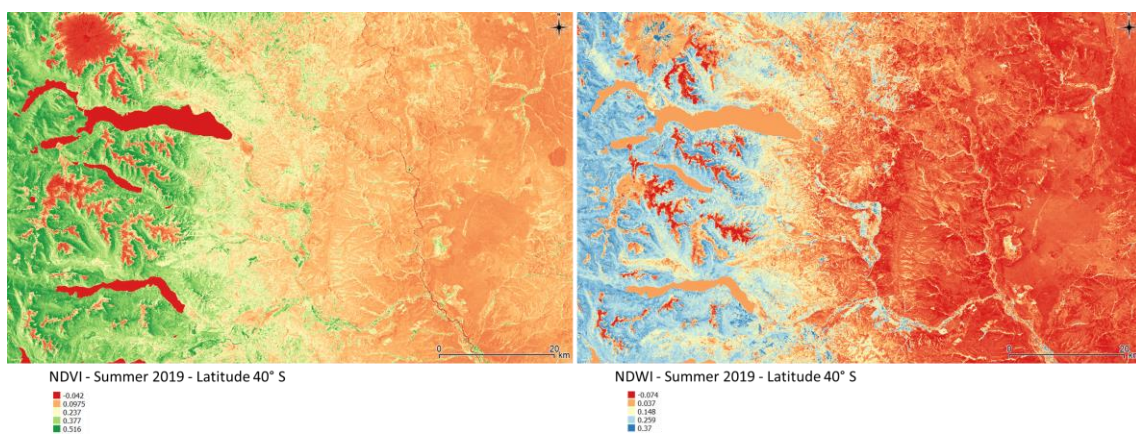


Fig. 30. NDVI and NDWI indexes, summer 2019, near Junín de los Andes. Landsat 8 OLI images (USGS, 2019) processed with (QGIS, 2018)

The NDVI and NDWI indices in the fall of 2019 are similar to 2018. It is the driest period of the year.

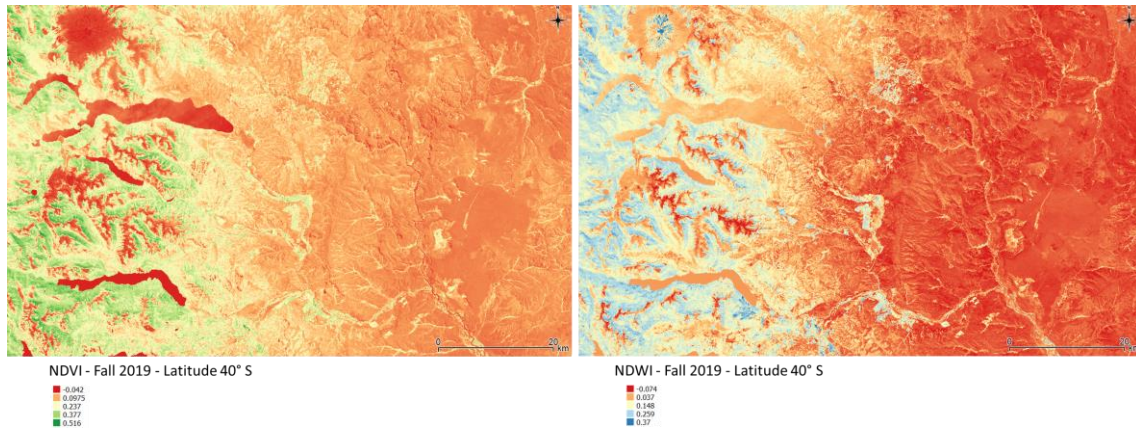


Fig. 31. NDVI and NDWI indexes fall 2019, near Junín de los Andes. Landsat 8 OLI images (USGS, 2019) processed with (QGIS, 2018)

During the sampling period the temperatures remained stable, as well as the relative humidity. Only a few days at the end of summer and early fall were negative temperatures. The precipitations were very little. The wind speed stayed between 0 and 35 km / h with some moments with gusts that exceeded 50 km / h. The predominant wind direction was from the West.

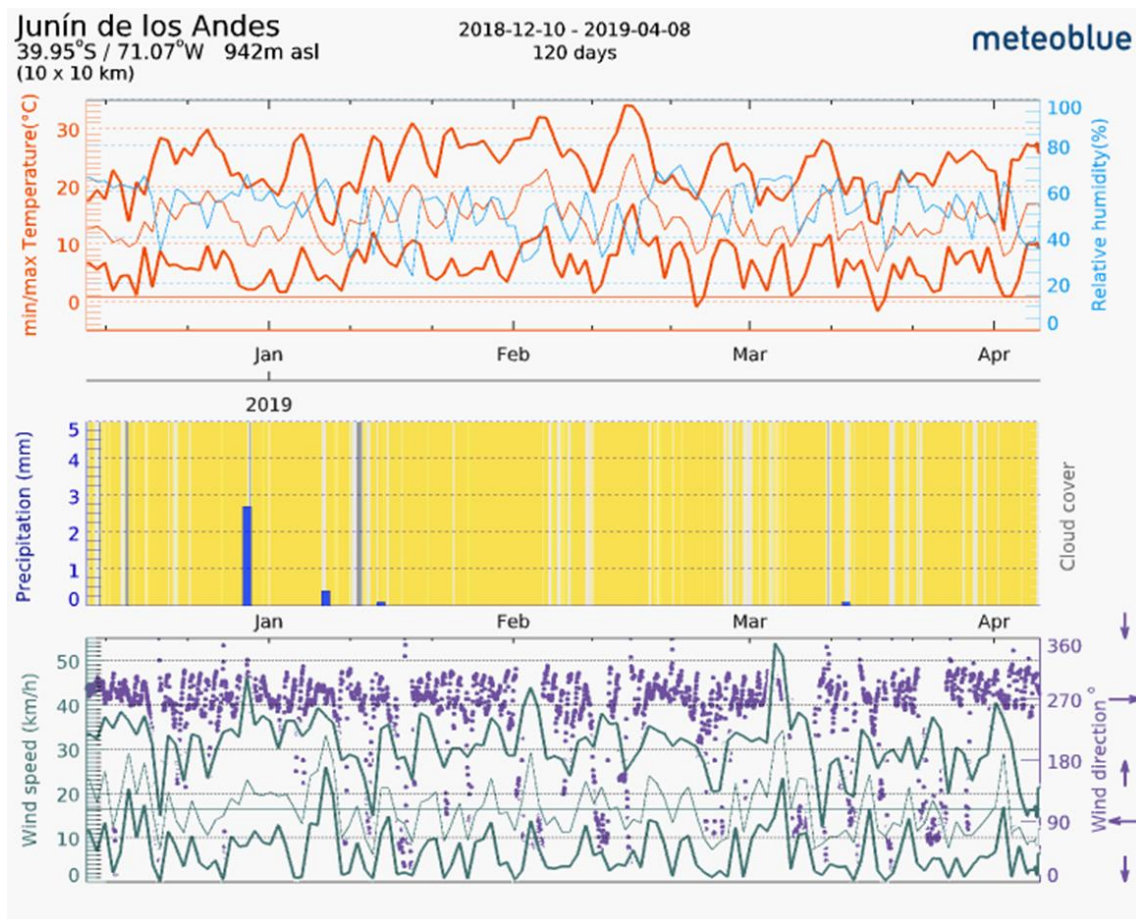


Fig. 32. Meteorological data during the sampling period.

In the clipping of the satellite images centered in the city of Junín de los Andes, it can be seen how the intensity of the NDVI decreases from summer to autumn. The NDWI shows a marked decrease in humidity on the banks of the Chimehuín River, coinciding with the finding of many possible habitats for mosquito larvae in the dry state. There was also no water in any artificial container (plastic, metal, tires, etc).

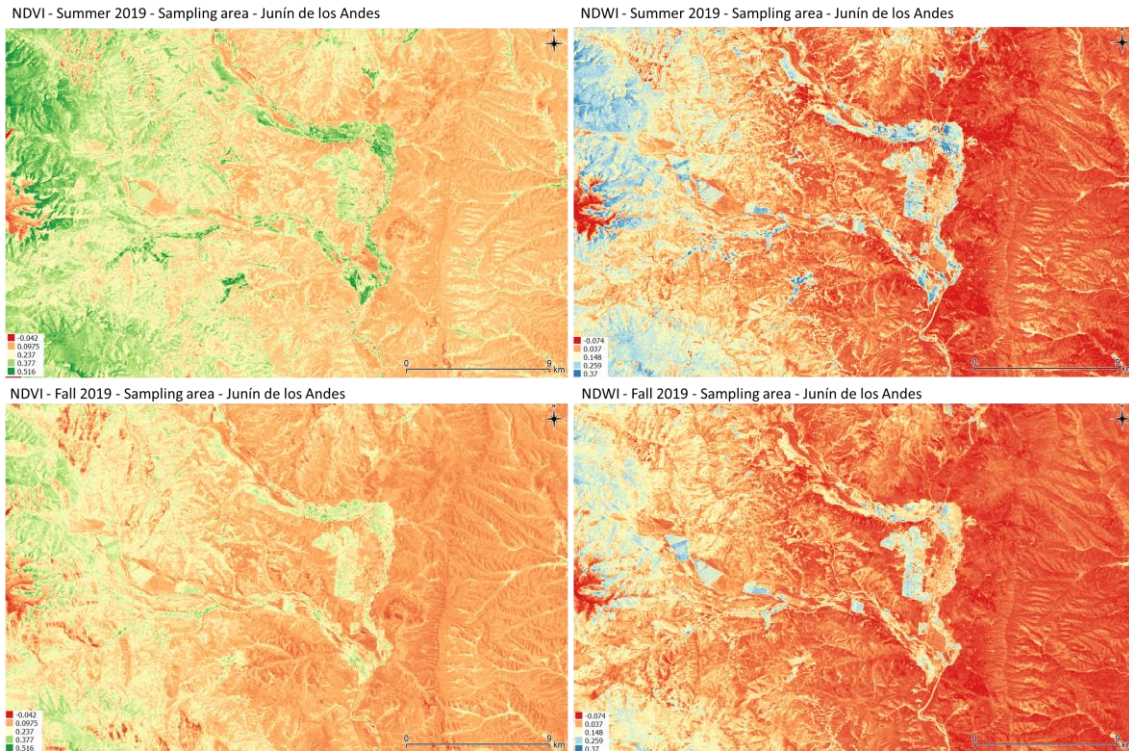


Fig. 33. NDVI and NDWI indices in the area and sampling period. Landsat 8 OLI images (USGS, 2019) processed with (QGIS, 2018)

In the samplings carried out, no larvae were detected in four sites of natural habitats with still water. Most of the possible habitats, both natural and artificial, were without water, due to the dry season. In the other sites, larvae of the *Culex* genus were detected in different amounts. All in natural environments. The presence of adult mosquitoes is also scarce.

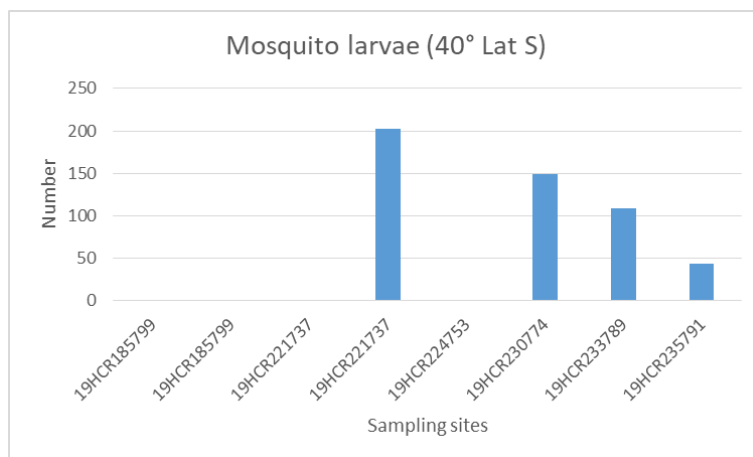


Fig. 34. Number of mosquito larvae of the genus *Culex* in the vicinity of Junín de los Andes. In 4 surveyed habitats no larvae were recorded.

Analysis and Results:

The present work makes a preliminary analysis of the situation of mosquitoes in the world and around our city.

At low latitudes and low elevations, the greatest number of mosquito larvae was found. The Tukey test showed significant differences within each group $p < 0.05$. For this reason, I do not reject H_1 .¹ H_4 ² hypothesis could be partially tested, comparing with temperature and humidity data in the regions with the largest number of larvae, but these data were not available for each sampling site. The most frequently reported genera are Anopheles, but a very low percentage of the sampling sites did the identification of the larvae.

Human behaviors provide new habitats for mosquitoes. The Tukey test showed significant differences $p < 0.05$ with the number of larvae found in artificial habitats. Therefore we reject H_2 .³ The H_3 ⁴ hypothesis is not partially rejected, because with the available data it was not possible to verify the dispersion of mosquitoes towards new areas.

To corroborate hypothesis H_5 ⁵, a greater number of samplings is needed throughout the world over a prolonged period.

In some potential habitats there were no mosquito larvae, this finding could be useful for future research that identifies the limiting factors at certain sites.

In the surroundings of Junín de los Andes, in the Patagonia region, few larval habitats were found and with low numbers in each one. The causes can be the lack of humidity in the summer and autumn, which reduce the possible breeding sites. In addition, no water was found in artificial containers. The traps built were not used by mosquitoes. The study of mosquitoes in the case of the Patagonia region, where abundance is lower than in low latitudes, could help to improve the understanding of its ecology under extreme environmental conditions.

This work is a preliminary report because it is necessary to increase the sampling effort throughout the world to obtain more sites and continue monitoring scheduled at different times of the year in order to detect inter-annual variations. It is necessary to increase sampling at medium and high latitudes, as well as at different elevations, to better understand the current distribution, detect changes and limiting factors for the development of mosquitoes or the pathogens they transmit; as well as the effect of climate change.

Conclusions:

The greatest abundance of mosquito larvae was found in latitudes and low elevations, coinciding with high temperatures, abundant rainfall and high humidity. (Berón, et al., 2016; Diallo, et al., 2012; Mellor & Leake, 2000). These conditions are conducive to keeping their habitats stable. The analysis of environmental conditions through satellite images and specific indexes such as NDVI and NDWI could help to develop disease prediction models and increase the dissemination of prevention measures.

There seems to be a preference for female mosquitoes to use artificial containers to place their eggs. This aspect should be further investigated because it may be due to the effect of the mosquito sampling effort on the part of citizen students and scientists in the cities, but the abundance of garbage in urban areas is growing in much of the world. Human behavior, habitat

¹ H_1 : En las zonas más cálidas cercanas al Ecuador 10° Lat N y 10° Lat S y en bajas altitudes se encuentra mayor abundancia y diversidad de especies de mosquitos en el mundo.

² H_4 : Las temperaturas bajas y la falta de humedad restringen la distribución de los mosquitos.

³ H_2 : Las hembras de mosquito prefieren los hábitats naturales.

⁴ H_3 : El comportamiento humano de generar nuevos hábitats (ej. ambientes inundados para producir arroz), contenedores plásticos arrojados como basura que juntan agua, transporte de personas y mercancías puede aumentar la abundancia y dispersión de los mosquitos hacia nuevas áreas.

⁵ H_5 : El cambio climático será un factor que ayude en la dispersión de los mosquitos hacia latitudes y altitudes mayores.

modification and transport have been pointed out by several authors as factors that contribute to the spread of mosquitoes and diseases along with climate change. (Berón, et al., 2016; Blasberg, et al., 2016; Bunyavanich, et al., 2003; Harvell, et al., 2002; Kraemer, et al., 2019; Lam, et al., 2012; Nsoesie, et al., 2016; Patz, et al., 1996; WHO, 2019 and Wu, et al., 2016)

Citizen science programs not only help with monitoring, but can also contribute to the development of environmental awareness that allows modifying human behavior (eg improving the management of mosquito container waste).

Discussion:

Because it is a preliminary report in future investigations, it is important to deepen the investigation to corroborate the conclusions obtained. For a better knowledge of the ecology of each genus of mosquitoes in different parts of the world, a systematic monitoring is suggested, at least once in each station in similar coordinates. This would allow knowing the impact of climate change and human behavior. It would also help to develop better predictive models of disease outbreaks.

In areas where mosquitoes are scarce or with extreme climatic conditions such as in latitudes and medium and high elevations it would be interesting to expand the sampling effort to know the limiting factors and the adaptations of the species to extreme climatic conditions of temperature, desiccation, survival of the eggs, and others. This knowledge could contribute to improve management plans and prepare to mitigate the effects of climate change on the transmission of mosquito diseases.

Acknowledgements:

We thank the GLOBE program and the citizen science program GLOBE Mission Mosquito for generating a database that allowed us to study the situation of the distribution of mosquito larvae on a global scale. We also thank the developers of the GLOBE Observer: Mosquito application that allowed the collection of a large amount of data by registering them in a simple way.

We thank Dr. Rusty Low for the webinars that allowed us to know different aspects of the ecology of mosquitoes. Finally, we also thank our mentor, Dr. Ricardo Chrobak, for the Doctorate in Teaching of Exact and Natural Sciences for helping us in the preparation of the research report.

References/Bibliography:

Berón, C. M., Campos, R. E., Díaz Nieto, L., Schweigmann, N., Salomón, O. D., & Gleiser, R. M. (Ed). (2016). Investigaciones sobre mosquitos de Argentina. 1a ed. - Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Bissinger, B. W., Schmidt, J. P., Owens, J. J., Mitchell, S. M., & Kennedy, M. K. (2014). Performance of the plant-based repellent TT-4302 against mosquitoes in the laboratory and field and comparative efficacy to 16 mosquito repellents against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology*, 51(2), 392-399.

Blasberg, M., Goos, H., & Hackenbroch, V. (2016). *Aedes Aegypti* Mosquito Is World's Most Dangerous Animal. *SPIEGEL ONLINE*.

Bunyavanich, S., Landrigan, C. P., McMichael, A. J., & Epstein, P. R. (2003). The impact of climate change on child health. *Ambulatory pediatrics*, 3(1), 44-52.

Diallo, D., Diagne, C. T., Hanley, K. A., Sall, A. A., Buenemann, M., Ba, Yamar, B., Ibrahima, D., Scott, W. & Diallo, M. (2012). Larval ecology of mosquitoes in sylvatic arbovirus foci in southeastern Senegal. *Parasites & vectors*, 5(1), 286.

Forattini O. P. (1962). *Entomología Médica*. Vol. I. Parte general, Diptera, Anophelini. Fac. Hig. 1a ed. Saude Publ. Dep. Parasitol, Sao Paulo, 622 pp.

- Harvell, C. D., Mitchell, C. E., Ward, J. R., Altizer, S., Dobson, A. P., Ostfeld, R. S., & Samuel, M. D. (2002). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296(5576), 2158-2162.
- Kraemer, M. U., Reiner, R. C., Brady, O. J., Messina, J. P., Gilbert, M., Pigott, D. M. & Shirude, S. (2019). Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Nature microbiology*, 1.
- Lam, S. K., Burke, D., Gubler, D., Méndez-Gálvan, J., & Thomas, L. (2012). Call for a world dengue day. *The Lancet*, 379(9814), 411-412.
- Lim, S. K., Lee, Y. S., Namkung, S., Lim, J. K., & Yoon, I. K. (2016). Prospects for dengue vaccines for travelers. *Clinical and experimental vaccine research*, 5(2), 89-100.
- Mellor, P. S., & Leake, C. J. (2000). Climatic and geographic influences on arboviral infections and vectors. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 19(1), 41-48.
- Meteoblue. (2019). Climate Junín de los Andes. Available from <https://bit.ly/2OX0UfO>
- Mushore, T. D., Mutanga, O., Odindi, J., & Dube, T. (2017). Assessing the potential of integrated Landsat 8 thermal bands, with the traditional reflective bands and derived vegetation indices in classifying urban landscapes. *Geocarto international*, 32(8), 886-899.
- National Aeronautics and Space Administration. (2017) The Globe Program. GLOBE Observer: Mosquito hábitat mapper. Available from <https://observer.globe.gov/toolkit/mosquito-habitat-mapper-toolkit>.
- National Aeronautics and Space Administration. (2017) The Globe Program. Mosquito protocol. Available from <https://bit.ly/2Vv1QdQ>
- Nsoesie, E. O., Kraemer, M. U., Golding, N., Pigott, D. M., Brady, O. J., Moyes, C. L. & Hay, S. I. (2016). Global distribution and environmental suitability for chikungunya virus, 1952 to 2015. *Euro surveillance: bulletin Europeen sur les maladies transmissibles= European communicable disease bulletin*, 21(20).
- Patz, J. A., Epstein, P. R., Burke, T. A., & Balbus, J. M. (1996). Global climate change and emerging infectious diseases. *Jama*, 275(3), 217-223.
- QGIS Development Team. (2018) QGIS, version 2.18.20
- Rodrigue, J. P. (2017), *The Geography of Transport Systems*, Fourth Edition, New York: Routledge
- StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0
- Travis, D. (2019). Hawaii's Forest Birds: Avian Malaria and Mosquito Research (Documentary). Available from <https://bit.ly/2KbvTG3>
- USGS (2019). EarthExplorer - Home. Available from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Weetman, D., & Clarkson, C. S. (2015). Evolving the world's most dangerous animal. *Trends in parasitology*, 31(2), 39-40.
- WHO (2019). International travel and health - Disease distribution maps. Retrieved from <https://www.who.int/ith/en/>
- Wikipedia (2019). Mosquito-borne disease. Retrieved from <https://bit.ly/1Myie00>
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment international*, 86, 14-23.

Distribución y abundancia de los mosquitos en el mundo. Informe preliminar.

Pepe, M.; Martínez, L. y Wehinger, J.

Club de Ciencias Huechulafquen, Junín de los Andes, Argentina

Teacher: Prieto, A.



Resumen:

A partir de los datos recopilados alrededor del mundo por el Programa GLOBE se realizó un análisis de la distribución y abundancia de larvas según la latitud, elevación, tipo de hábitats comparándola con las condiciones climáticas. También se realizaron muestreos en la región de Patagonia, con climas extremos para el desarrollo de mosquitos. Se utilizó el protocolo de GLOBE de mosquito y la aplicación GLOBE Observer-Mosquito. Se registraron los hábitats y se identificaron las larvas. El tratamiento estadístico se realizó ANOVA y el test Tukey de diferencia de medias. Se analizaron imágenes Landsat 8 a partir del cálculo de índices NDVI y NDWI del área de Junín de los Andes. La mayor abundancia de larvas de mosquitos se encontró en latitudes y elevaciones bajas, en forma coincidente con altas temperaturas, precipitaciones abundantes y alta humedad. El mayor número de larvas se registró en contenedores artificiales arrojados como basura, que indicaría que las conductas humanas influyen en la abundancia de mosquitos. En la región Patagónica hay menor abundancia de mosquitos que en latitudes bajas debido a las bajas temperaturas y a la estación seca en el verano y otoño.

Tabla de contenidos:

Distribución y abundancia de los mosquitos en el mundo. Informe preliminar.	1
Resumen:	1
Introducción	2
Preguntas de investigación e hipótesis:	10
Materiales y Método:	11
Resumen de datos:	14
Análisis y resultados:	20
Conclusiones:	21
Discusión:	22
Agradecimientos:	22
Referencias/Bibliografía:	22

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud, los mosquitos provocan millones de muertes cada año en todo el mundo, debido a su capacidad para transmitir y propagar enfermedades a los seres humanos. Por ej. en 2017, se estima que ocurrieron en el mundo 219 millones de casos de malaria (también llamada paludismo). Por ésta razón (Weetman, et al., 2015; Blasberg, et al., 2016; Bissinger, et al., 2014 y otros) lo llamaron el animal más peligroso del mundo.

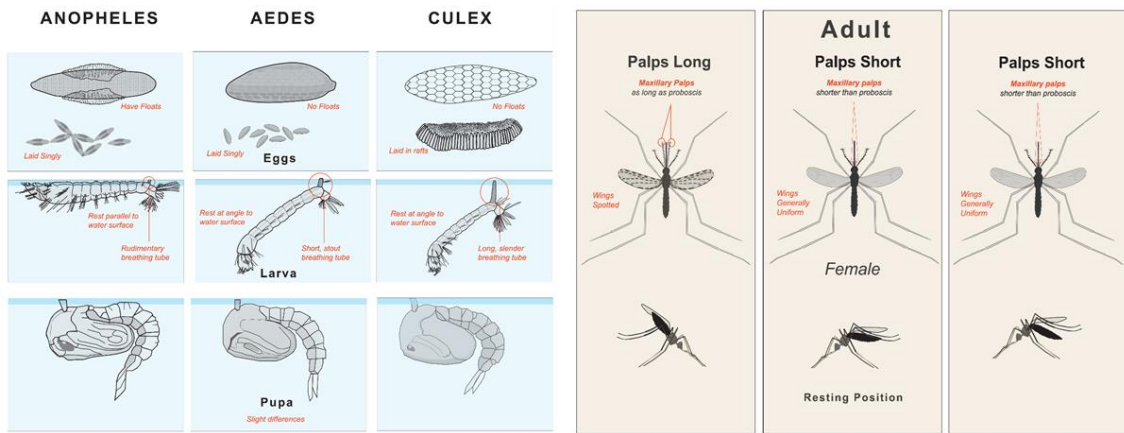


Fig. 1. Principales diferencias entre géneros de mosquitos. Source: The GLOBE Program

Los mosquitos son vectores de virus, bacterias o parásitos que provocan las enfermedades. La incidencia mundial del dengue se ha multiplicado por 30 en los últimos 30 años (Lam, et al., 2012), y más países están reportando sus primeros brotes de la enfermedad. Zika, dengue, chikungunya y fiebre amarilla son transmitidos a los humanos por el mosquito *Aedes aegypti*. Más de la mitad de la población mundial vive en áreas donde está presente esta especie de mosquito.

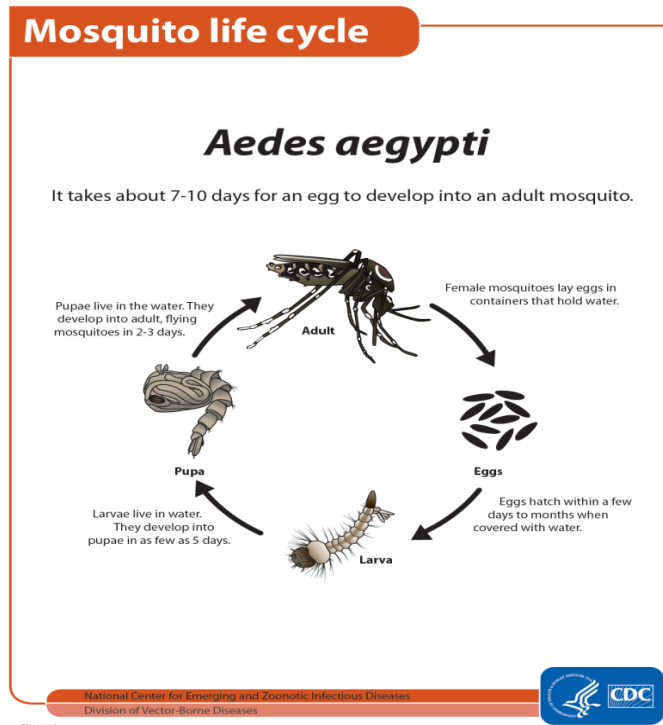


Fig. 2. Ciclo de vida de mosquitos. Source: CDC.

Tabla 1. Principales enfermedades transmitidas por mosquitos

Género de mosquitos	Enfermedades transmitidas
<i>Aedes</i>	Chikungunya Dengue Filariasis linfática Fiebre del Valle del Rift Fiebre amarilla Zika Dirofilaria immitis Fiebre del Ross River Virus del Barmah Forest Encefalitis de La Crosse Virus Keystone
<i>Anopheles</i>	Malaria o Paludismo Filariasis linfática Dirofilaria immitis
<i>Culex</i>	La encefalitis japonesa Filariasis linfática Fiebre del Nilo occidental Dirofilaria immitis Encefalitis de Saint Louis Virus de la encefalitis equina occidental Fiebre del Ross River Virus del Barmah Forest
<i>Psorophora</i>	Dirofilaria immitis
<i>Mansonia</i>	Dirofilaria immitis
<i>Culiseta</i>	Virus de la encefalitis equina occidental Virus de la encefalitis equina oriental

Si bien los mosquitos están distribuidos alrededor del mundo, en las zonas donde hay mayor temperatura y humedad, podemos encontrar, más cantidad de mosquitos y diversidad de especies.

La distribución geográfica de los mosquitos se ve influenciada por dos grandes factores: a) la modificación de los hábitats y b) la dispersión activa. Esta última es el desplazamiento que realiza el mosquito en busca de criaderos propicios (algunas especies podrían volar hasta un kilómetro) (Forattini, 1962). En cuanto a la modificación del hábitat, abarca más factores por los cuales el mosquito se distribuye; estos son las causas climáticas y la intervención antrópica.

Referidos al primer factor, se clasifican en:

- Intervalos: Térmicos (aumento o disminución de temperaturas), Humedad, Lluvias (provocando inundaciones) o por radiación solar (aumento de temperatura);
- Calentamiento global (Cambio climático), produciendo el desplazamiento de las isotermas debido al aumento de temperatura, y generando una variación de la frecuencia y cantidad de precipitaciones
- Fenómenos, como El Niño y La Niña, que sus consecuencias requieren mayor investigación por la gran variabilidad que presenta.

En relación a la modificación del ambiente por acción humana, interfieren en las poblaciones de mosquitos los siguientes factores:

- Conductas Humanas, como desechar residuos sólidos que acumulen agua (tarros, latas).
- Urbanización. Ofrece nuevos hábitats debido a la contaminación en las ciudades, la acumulación de agua en contenedores artificiales, etc.
- Transporte, dispersando los mosquitos por vía marítima, terrestre o aérea. Por ejemplo, el ingreso de *Aedes aegypti* desde África y Asia en América por vía marítima (OPS, 1987);
- Producción. Ej. deforestación de selvas para el cultivo, inundación de campos para cultivos de arroz, entre otros.
- Control de poblaciones de mosquitos, mediante insecticidas provocando el traslado hacia otras zonas.

Los hábitats de reproducción de mosquitos pueden ser:

a) Naturales:

- Charcos de desborde
- Acumulaciones pluviales
- Esteros y lagunas
- Arroyos de corriente suave
- Manantiales
- Huellas de animales
- Agua estancada

b) Micro-hábitats



Fig. 3. Immature mosquito microhabitats: 1) decaying fruit husks, 2) fresh fruit husks, 3) tree holes, 4) puddles, 5) tires, 6) rocks-holes, 7) storage containers, 8) discarded containers and 9) bamboo holes) in Kédougou from June – December 2010. (Diallo, D. et al., 2012)

c) Artificiales:

Tabla 2. Tipos de hábitats artificiales.

Género de mosquitos	Material del hábitat artificial
<i>Aedes</i>	Caucho, Cemento, Cerámica, metal, plástico, vidrio
<i>Anopheles</i>	Cemento, caucho
<i>Culex</i>	Caucho, cemento, cerámica, mármol, metal, plástico, vidrio
<i>Limatus</i>	Caucho
<i>Lutzia</i>	Caucho, plástico, vidrio
<i>Psorophora</i>	Plástico
<i>Toxorhynchites</i>	Caucho, plástico, vidrio

Se utilizan mapas de riesgo de enfermedades transmitidas por mosquitos muestran la heterogeneidad espacial y la probabilidad de transmisión a escala global.

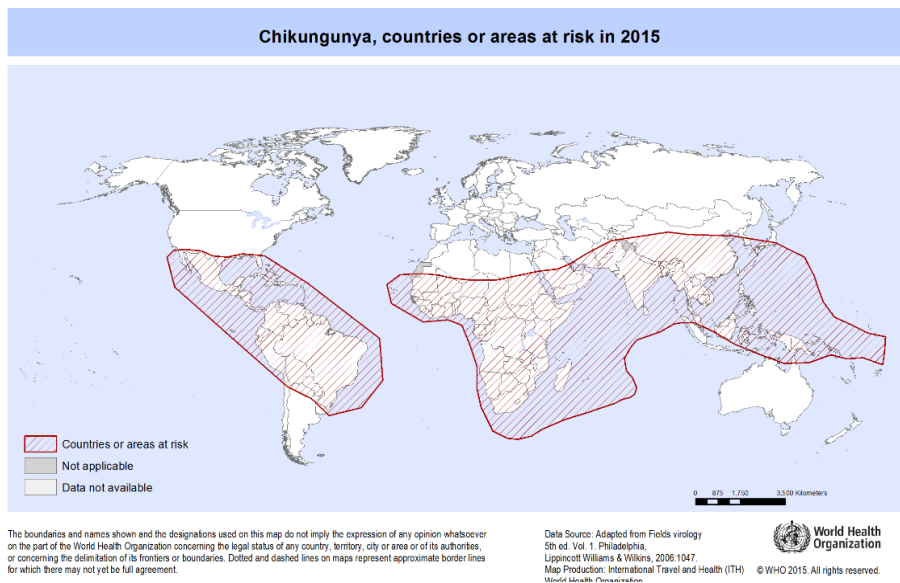


Fig. 4. Áreas de riesgo de Chikungunya. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

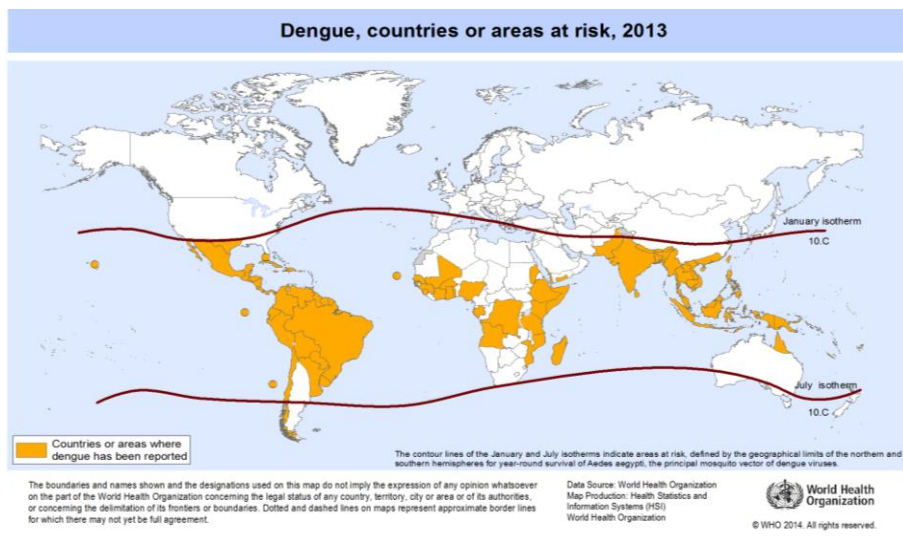


Fig. 5. Áreas de riesgo de Dengue. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

Japanese encephalitis, countries or areas at risk

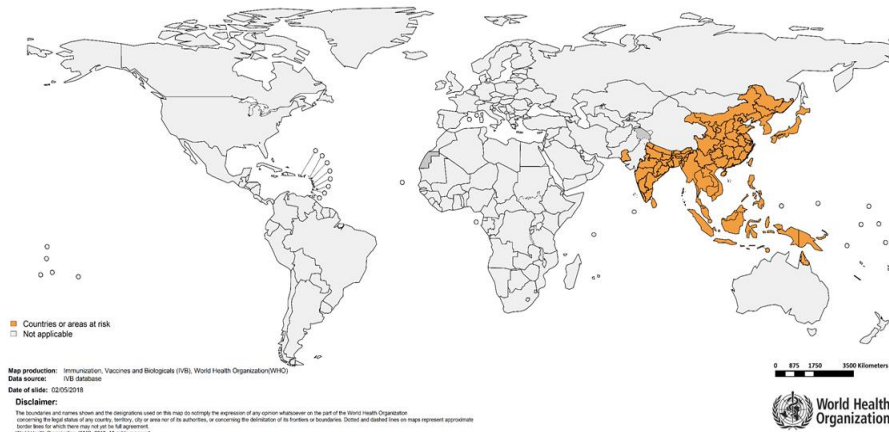
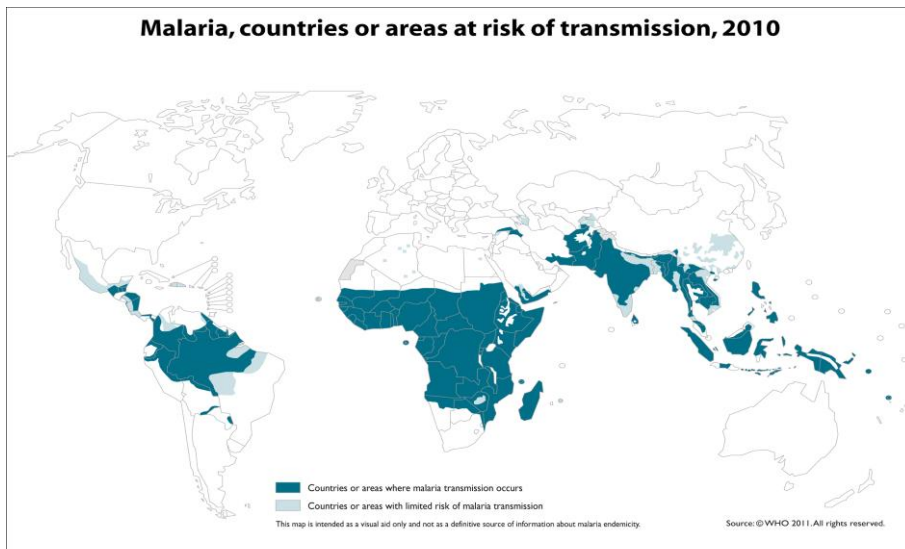


Fig. 6. Países con riesgo de Japanese encephalitis. Source: <https://www.who.int/ith/en/>



The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the World Health Organization concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. Dotted lines on maps represent approximate border lines for which there may not yet be full agreement.



Fig. 7. Áreas de riesgo de Malaria. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

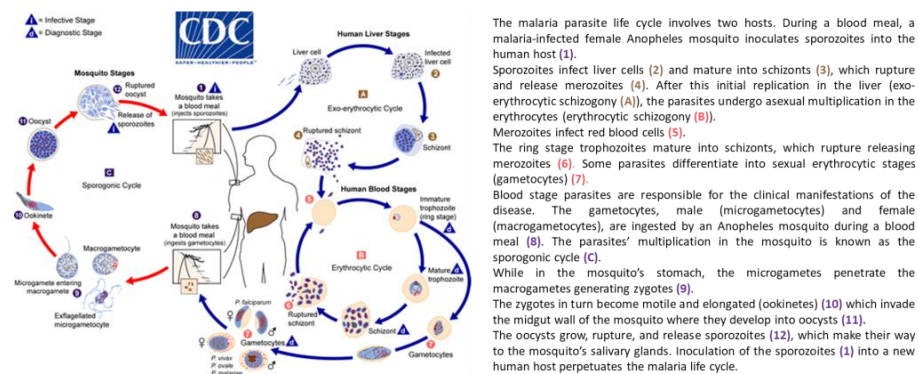


Fig. 8. Ciclo de vida del parásito de la malaria.

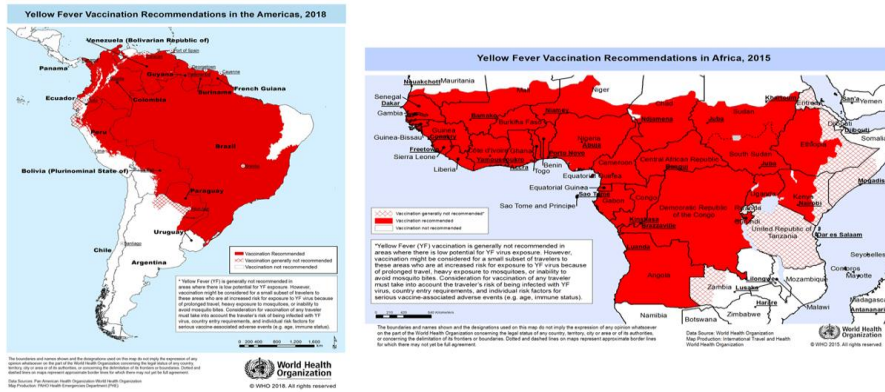


Fig. 9. Áreas de riesgo de Fiebre amarilla. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

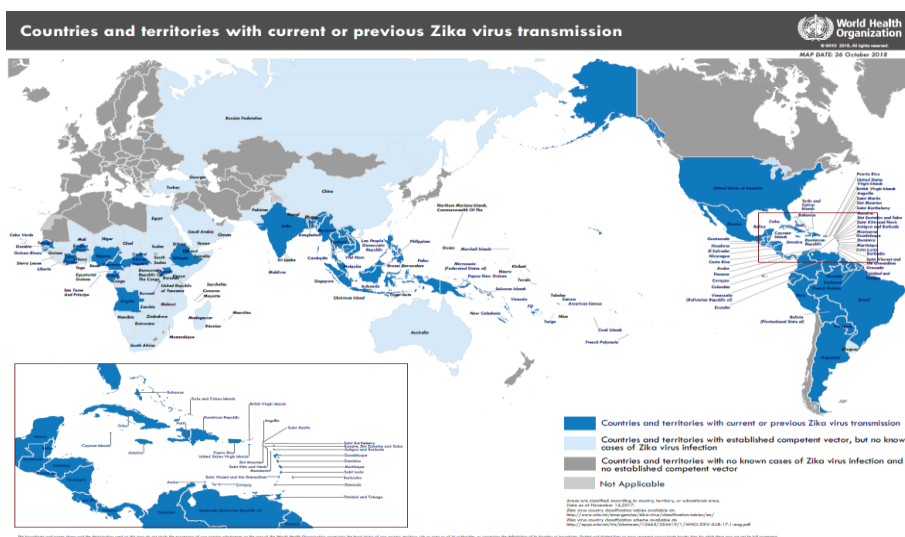


Fig. 10. Países con de riesgo de Zika. Source: <https://www.who.int/ith/en/>

Algunos huevos de mosquitos pueden resistir la desecación y temperaturas extremas durante meses o hasta un año. Estas características les permiten aprovechar el transporte humano (Figs. 11 y 12) para la dispersión pasiva a largas distancias.

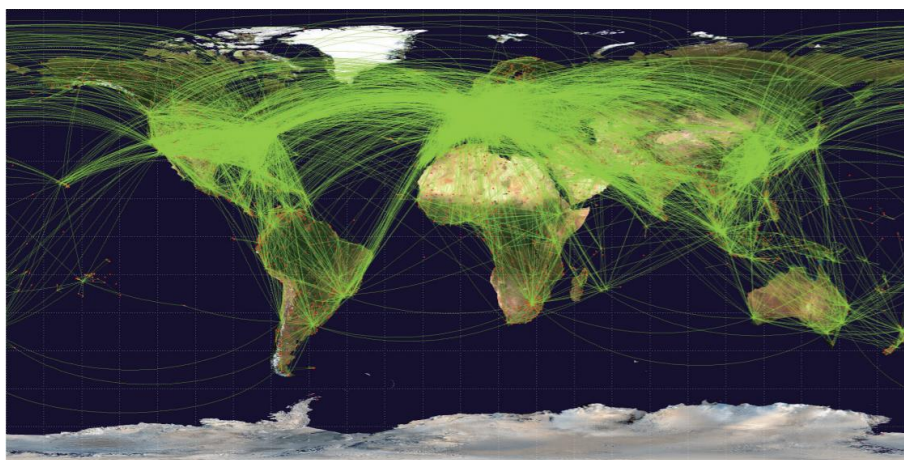


Fig. 11. Global map of air transportation routes. (Lim, et al., 2016).



Fig. 12. Main shipping routes and strategic locations. Rodrigue, J. P. (2017)

Las condiciones climáticas, en particular la temperatura, la humedad y las precipitaciones, afectan las tasas de reproducción y la supervivencia de los mosquitos, como también la disponibilidad de hábitats, impactan en su distribución y abundancia.

La zona ecuatorial entre los trópicos tiene mayores temperaturas, precipitaciones y humedad que las latitudes medias y altas. Lo mismo ocurre con la altitud, a medida que ascendemos disminuye la temperatura. También influyen otros factores como la cercanía al océano, el desarrollo continental, etc.

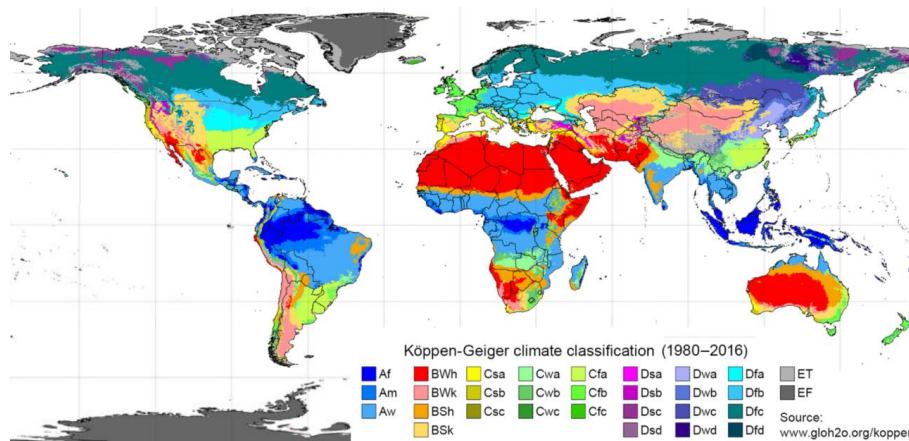


Fig. 13. Clima en la Tierra. A = Tropicales, B = Secos, C = Templado (Océánicos, Subtropicales y mediterráneos), D = Continentales, E = Fríos.

En el último siglo se ha observado un aumento de la temperatura media global, como también pérdida de hielo marino, adelgazamiento y pérdida de glaciares en los polos y en zonas de alta montaña que están provocando cambios en los patrones climáticos de diferentes regiones. En algunos sitios se observan cambios de temperatura y de precipitaciones, mayores frecuencias de eventos extremos, cambios en la flora y fauna de los ecosistemas y otros efectos.

Estos cambios pueden afectar la distribución y abundancia de insectos como el caso de los mosquitos o de los patógenos que transmiten. La temperatura puede afectar la distribución de una enfermedad al afectar el ciclo de vida del mosquito. Necesitan un cierto rango de temperatura para sobrevivir y desarrollarse. Por ejemplo, temperatura máxima de 22–23 °C y mínima de 25–26 °C son los dos umbrales para el desarrollo de mosquitos que transmiten el Virus de la

Encefalitis Japonesa (Mellor and Leake, 2000). El calor excesivo puede aumentar las tasas de mortalidad de algunos patógenos. Por ejemplo, el desarrollo del parásito de la malaria (*Plasmodium falciparum* y *Plasmodium vivax*) cesa cuando la temperatura excede los 33°C - 39°C (Patz, et al., 1996). Además el aumento de la temperatura puede influir en la reproducción y el período de incubación. Por ejemplo, *P. falciparum* reduce su incubación de 26 días a 20°C a 13 días a 25°C (Bunyavanich, et al., 2003).

A medida que la temperatura sigue aumentando por efecto del cambio climático, los insectos en las regiones de baja latitud pueden encontrar nuevos hábitats en las regiones de latitud media o alta y en áreas de gran altitud, lo que lleva a la expansión geográfica o al cambio de áreas con riesgo de enfermedades. (Wu, et al., 2016). Estudios recientes han encontrado que algunas enfermedades infecciosas humanas transmitidas por vectores, como la malaria, la fiebre amarilla y el dengue se han distribuido a un rango más amplio (por ejemplo, Harvell et al., 2002).

Research Questions and Hypothesis:

Considerando lo expuesto anteriormente nos formulamos las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿En qué latitudes y altitudes se encontrará mayor número de larvas de mosquitos? 2) ¿Qué preferencias de hábitats tienen las hembras de mosquito para depositar sus huevos? 3) ¿Cómo influye el comportamiento humano en la distribución y abundancia de mosquitos en el mundo? 4) ¿Qué especies son más abundantes en el mundo? 5) ¿Por qué no hay mosquitos en algunos lugares? 5) Con el cambio climático se producirán cambios en los patrones de temperatura, humedad y precipitaciones ¿Influirán en la abundancia y distribución de mosquitos?

Hipótesis:

H₁: En las zonas más cálidas cercanas al Ecuador 10° Lat N y 10° Lat S y en bajas altitudes se encuentra mayor abundancia y diversidad de especies de mosquitos en el mundo.

H₂: Las hembras de mosquito prefieren los hábitats naturales.

H₃: El comportamiento humano de generar nuevos hábitats (ej. ambientes inundados para producir arroz), contenedores plásticos arrojados como basura que juntan agua, transporte de personas y mercancías puede aumentar la abundancia y dispersión de los mosquitos hacia nuevas áreas.

H₄: Las temperaturas bajas y la falta de humedad restringen la distribución de los mosquitos.

H₅: El cambio climático será un factor que ayude en la dispersión de los mosquitos hacia latitudes y altitudes mayores.

Materials and Method:

Se utilizaron los datos del Programa GLOBE, tomados en gran parte del mundo por estudiantes, docentes, científicos y científicos ciudadanos de los siguientes períodos disponibles: a) Mosquito Larvae (2015/10/04 al 2018/11/26), 465 sitios muestreados. b) Mosquito hábitat mapper (2017-05-29 a 2019-04-03), con 3792 sitios muestreados. (NASA-GLOBE, 2017).

Para analizar los datos de larvas de mosquitos se dividieron en rangos de 0 a 600 larvas y mayor de 600 por la gran variabilidad en la abundancia en algunas regiones.

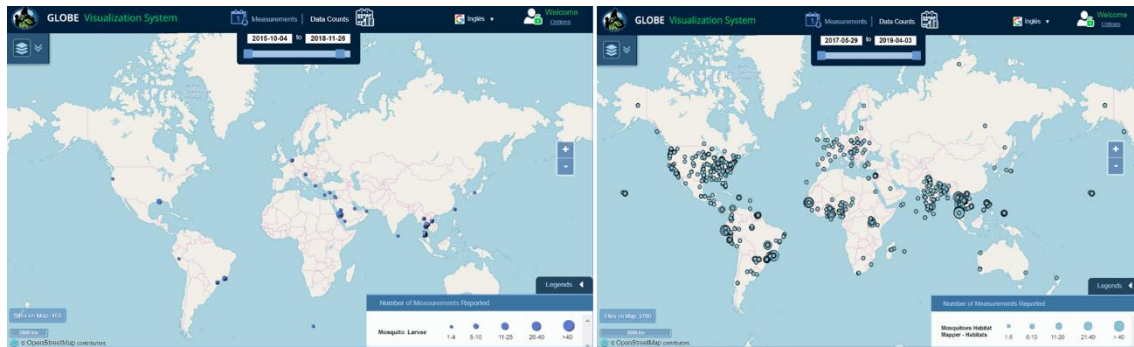


Fig. 14. Visualizaciones de datos en el Programa GLOBE. Source: The GLOBE Program.

Se realizaron muestreos en los alrededores de la ciudad de Junín de los Andes, Argentina en diferentes sitios, donde había pequeños cuerpo de agua estancada paralelos al río Chimehuin. (Fig. 15) durante el período del 2019/26/02 al 2019/11/03.

También se colocaron trampas para mosquitos con la finalidad de que las hembras coloquen sus huevos allí.

Para la metodología de muestreo e identificación se utilizó el protocolo de Mosquito del Programa GLOBE y la aplicación GLOBE Observer (NASA-GLOBE, 2017).

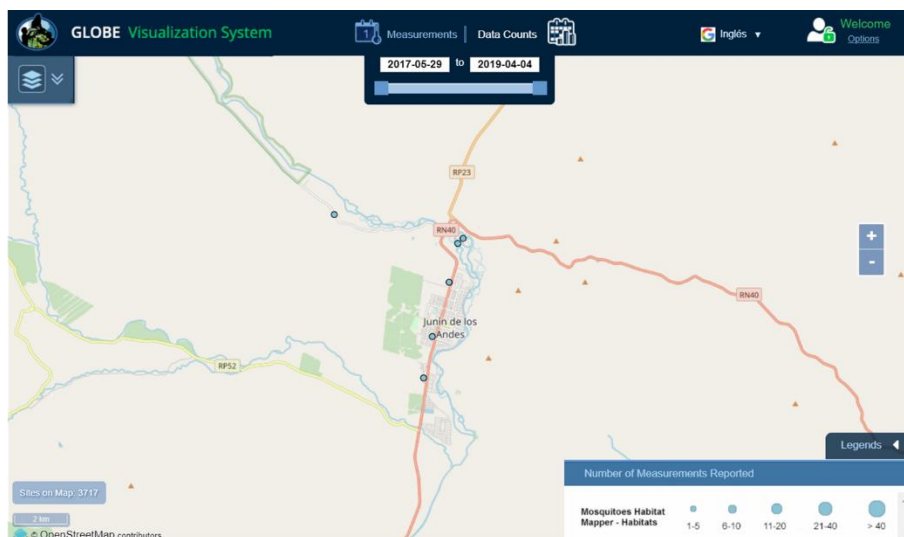


Fig. 15. Localización de los sitios de muestreo de hábitat y larvas de mosquitos.

Las muestras fueron procesadas para realizar el conteo de mosquitos e identificar el género. Algunas pupas se conservaron hasta que emergieron los adultos para identificarlos y realizar un registro fotográfico.



Fig. 16. Muestreo de mosquitos en ambientes naturales (1) y (2). Muestras obtenidas (3). Trampa para mosquitos (4).

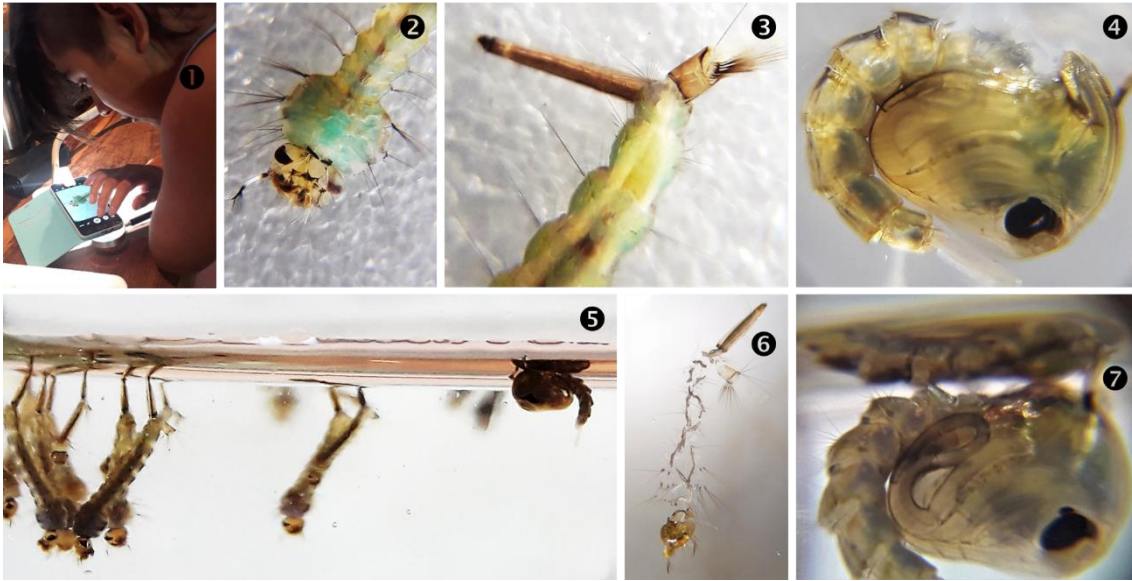


Fig. 17. Identificación de larvas y pupas de mosquito. (1) Registro fotográfico. (2) Cabeza de la larva del género *Culex* sp. (3) Siphon and anal segment larva del género *Culex* sp. (4) Pupa. (5) Larvas y pupa respirando en la superficie del agua. (6) Pupario vacío luego de emerger el adulto. (7) Respiratory trumpet de pupa del género *Culex* sp.



Fig. 18. Mosquito adulto (1) y (3) Macho. (2) y (4) Hembra.

El análisis estadístico se realizó con el software STATISTICA. (StatSoft, Inc., 2007). Para probar la normalidad, utilizamos las pruebas (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors), luego se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), se verificó la homogeneidad de la varianza con la prueba de Levene y se realizó la comparación de los medios aplicando La prueba de Tukey.

Los datos climáticos históricos de Junín de los Andes y los datos meteorológicos del período de muestreo fueron obtenidos del sitio web Meteoblue. (Meteoblue, 2019).

Las imágenes satelitales Landsat 8 OLI del área de Junín de los Andes se obtuvieron de la base de datos EarthExplorer (USGS, 2019) y fueron procesadas con el software QGIS. Se calcularon los índices: a) Normalized Difference vegetation Index (NDVI) y b) Normalized Difference Water Index (NDWI) utilizando las siguientes ecuaciones (Mushore, et al., 2017):

Equations

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Calculation with Landsat 8

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 6}{Band\ 5 + Band\ 6}$$

References:

NIR=Near Infrared Red
SWIR=Short Wave InfraRed

Data Summary:

En los datos mundiales analizados (Fig. 14) se observa que el mayor número de larvas de mosquitos se encuentran en contenedores artificiales (Fig. 19 y 20).

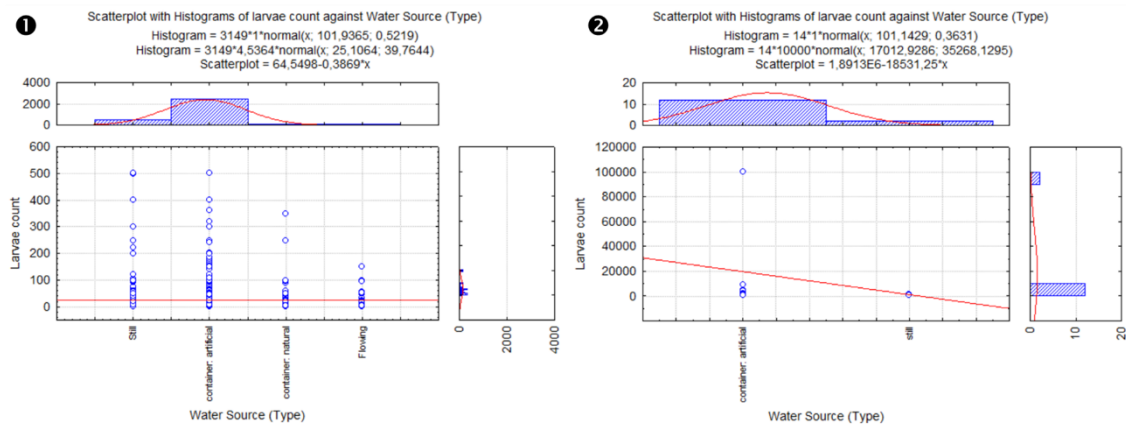


Fig. 19. Tipo de fuente donde se encontraron larvas. (1) Rango de 0 a 600 larvas. (2) Más de 600 larvas.

Si se suman las larvas encontradas en todos los ambientes naturales y se compara con contenedores artificiales, igualmente siguen siendo más abundantes en éstos últimos (Fig. 20), incluso en los casos que se encontraron larvas en números muy altos.

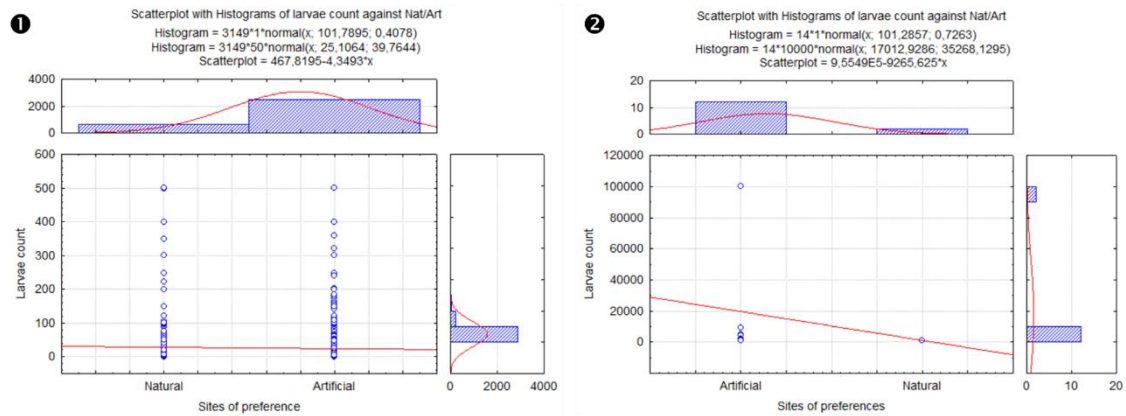


Fig. 20. Sitos de preferencia. (1) Rango de 0 a 600 larvas. (2) Más de 600 larvas.

El mayor número de larvas se encontró en latitudes bajas (Fig. 21), en forma coincidente con climas tropicales húmedos (Fig. 13) y con los mapas de distribución de las enfermedades transmitidas por mosquitos. (Figs. 4, 5, 6, 7, 9 y 10)

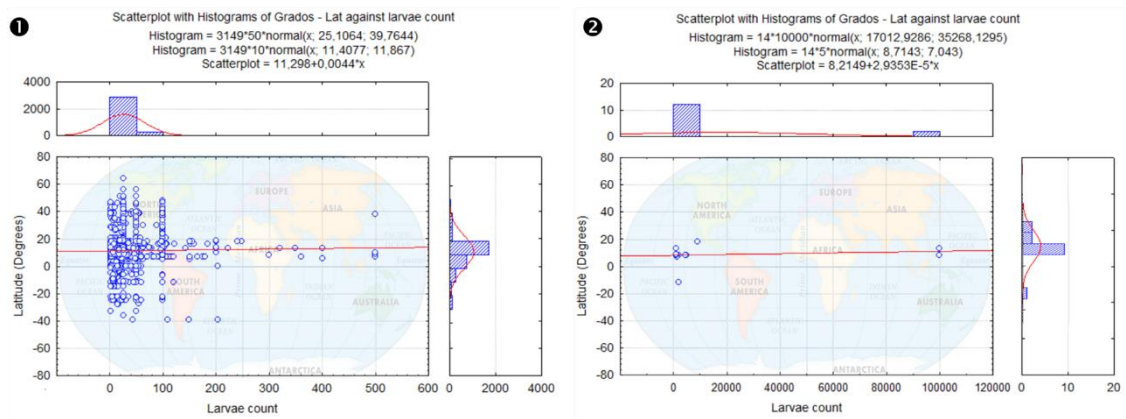


Fig. 21. Abundancia de larvas de mosquito según la latitud. (1) Rango de 0 a 600 larvas. (2) Más de 600 larvas.

El número de larvas de mosquito disminuye con la altitud. En las zonas más bajas se encuentra la mayor abundancia. (Fig. 22)

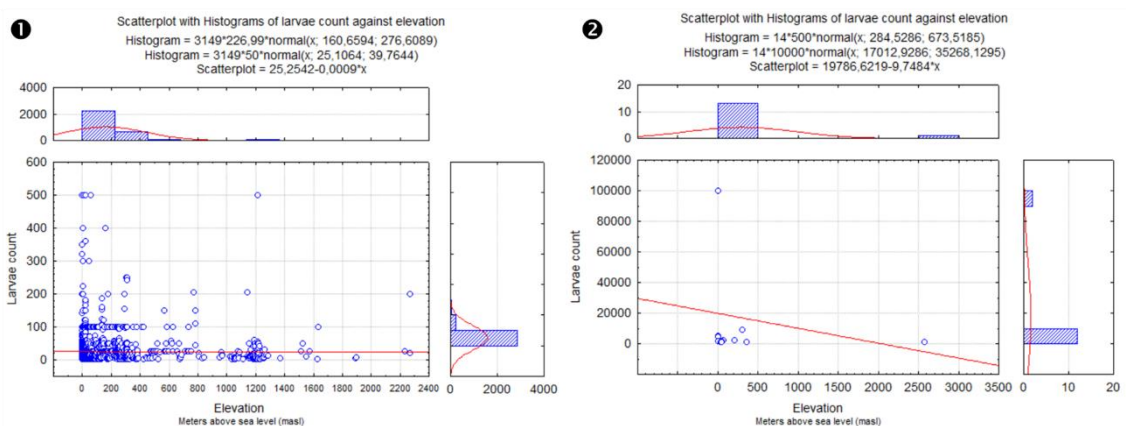


Fig. 22. Abundancia de larvas de mosquito según la elevación. (1) Rango de 0 a 600 larvas. (2) Más de 600 larvas.

El género *Anopheles* es el que presenta mayor abundancia de larvas en los muestreos realizados.

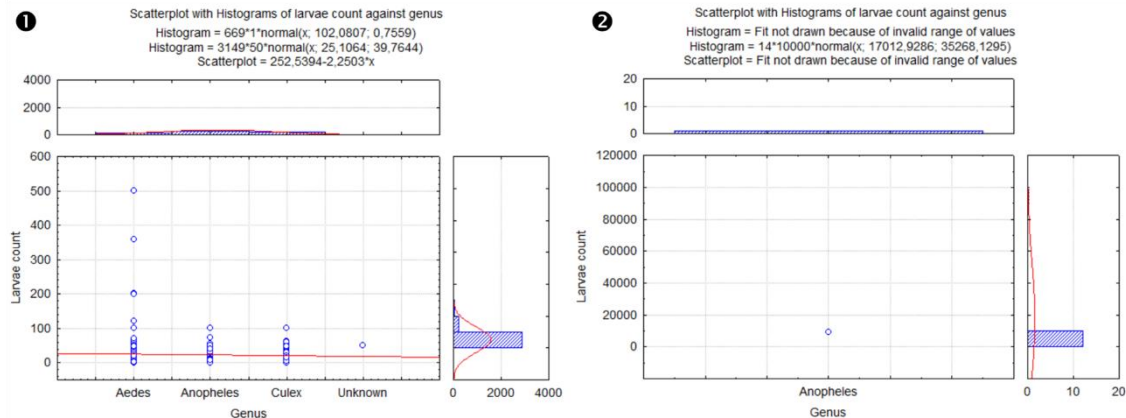


Fig. 23. Abundancia de larvas según el género. (1) Rango de 0 a 600 larvas. (2) Más de 600 larvas.

El 16% de los hábitats muestreados en el mundo por los participantes del Programa GLOBE no contenían larvas de mosquitos.

En el área muestreada en los alrededores de Junín de los Andes (Fig. 15), el clima es frío y seco. Es una zona de transición entre el bosque y la estepa patagónica. Las lluvias se concentran a fines de otoño e invierno, en forma coincidente con las temperaturas mínimas. En verano solo algunos días registran temperaturas mayores a 25°C. (Fig. 24)

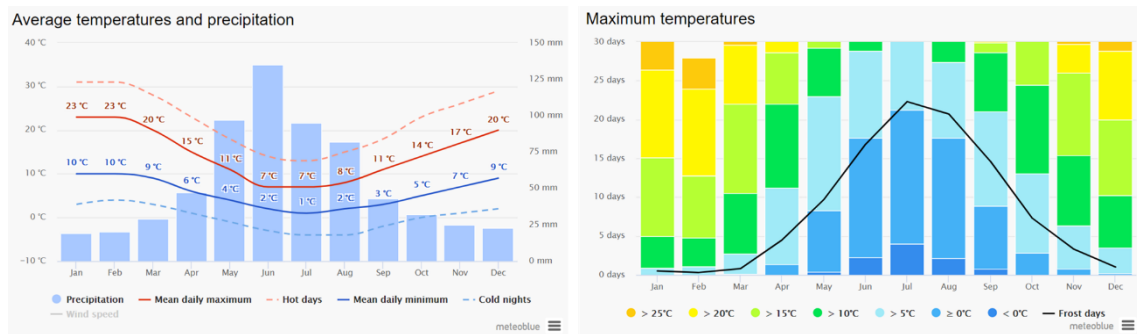


Fig. 24. Temperaturas y precipitaciones en Junín de los Andes. Source: Meteoblue

La mayor nubosidad se concentra en invierno en forma coincidente con las precipitaciones, pero durante el resto del año la nubosidad total y parcial está presente.

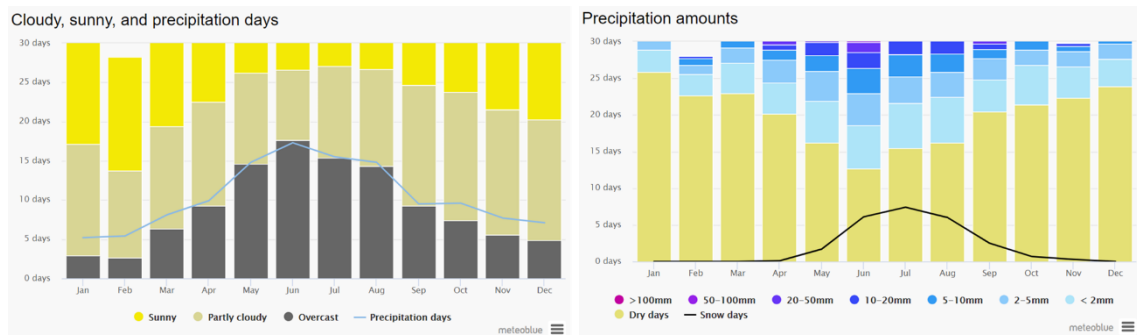


Fig. 25. Días nublados, soleados y precipitaciones acumuladas en Junín de los Andes. Source: Meteoblue

Es un área ventosa, principalmente en los meses de agosto a diciembre donde las ráfagas de viento superan los 38 km/h. A fines del invierno y comienzo de la primavera se presentan ráfagas mayores a 50 km/h. La dirección predominante del viento es del Oeste.

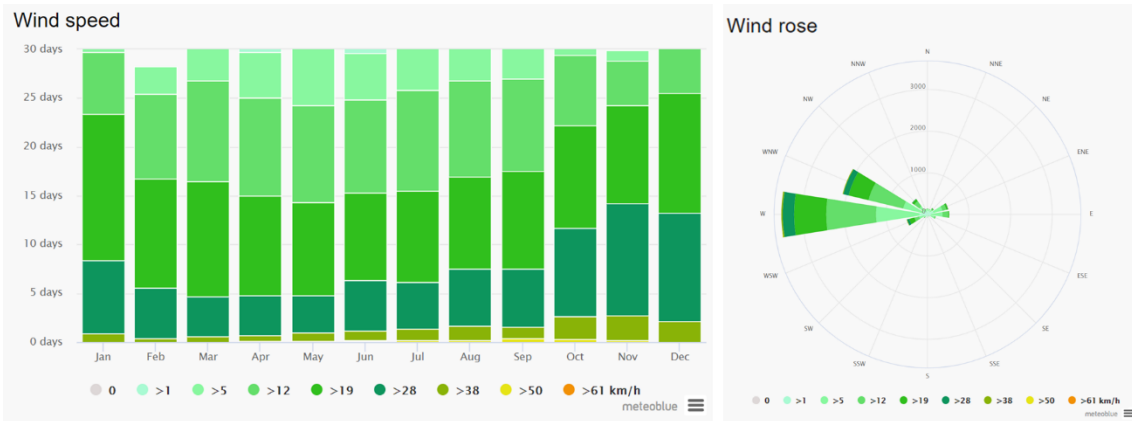


Fig. 26. Velocidad y dirección del viento en Junín de los Andes. Source: Meteoblue

En el otoño de 2018 el índice NDVI muestra áreas de vegetación activa en las zonas de bosque, en algunos humedales (denominados localmente “mallines”) y en zonas con riego cercanas a las urbanizaciones). El NDWI muestra muy pocas áreas con humedad.

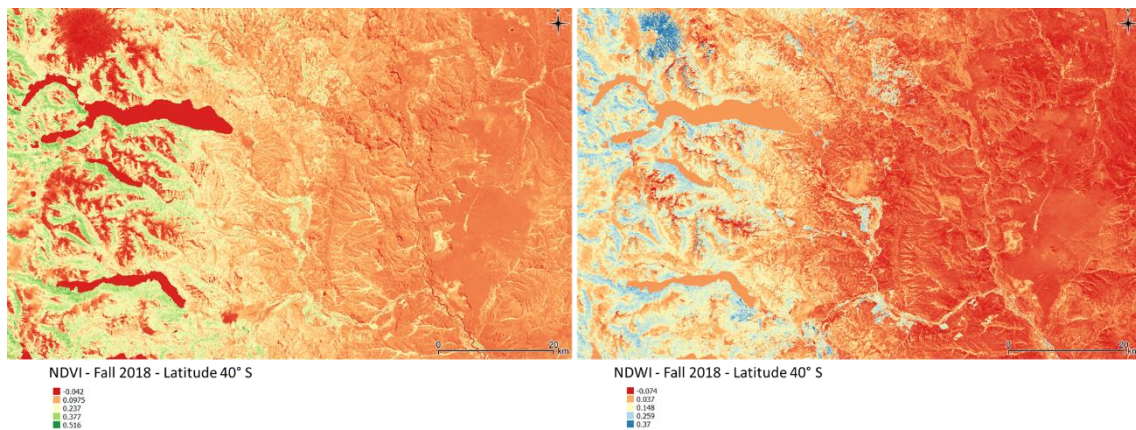


Fig. 27. Índices NDVI y NDWI, otoño 2018, en los alrededores de Junín de los Andes. Imágenes Landsat 8 OLI (USGS, 2019) procesadas con (QGIS, 2018)

En invierno comienzan las lluvias, pero las bajas temperaturas impiden el desarrollo de la vegetación. En la única imagen disponible de invierno está nublado sobre el bosque, solo se puede analizar el área de estepa. El índice NDVI muestra muy pocas áreas verdes. El índice NDWI muestra la humedad en el área con nubes y en muy pocas áreas en la zona de estepa.

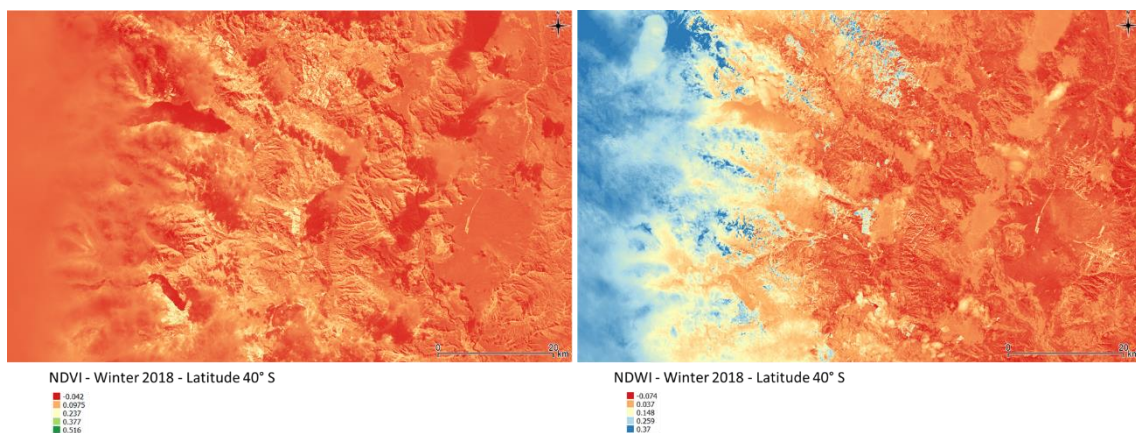


Fig. 28. Índices NDVI y NDWI, invierno 2018, en los alrededores de Junín de los Andes. Imágenes Landsat 8 OLI (USGS, 2019) procesadas con (QGIS, 2018)

En primavera el NDVI muestra un avance del verde, con respecto a las imágenes anteriores, más intenso en el área de bosques y se extiende en menor intensidad hacia el Este. El NDWI muestra la humedad en las mismas áreas. Arriba a la izquierda se puede observar una mancha azul correspondiente al volcán Lanín cubierto de nieve.

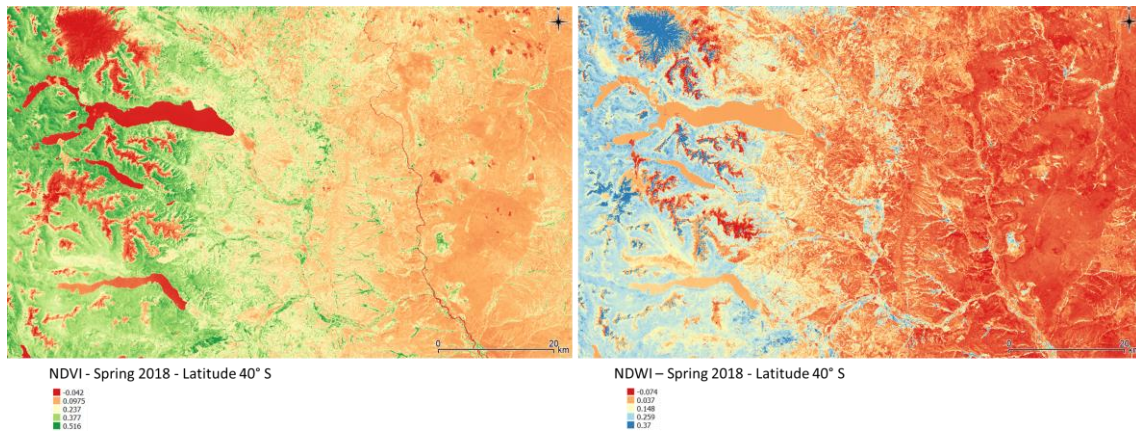


Fig. 29. Índices NDVI y NDWI, primavera 2018, en los alrededores de Junín de los Andes. Imágenes Landsat 8 OLI (USGS, 2019) procesadas con (QGIS, 2018)

En el verano el NDVI disminuye con respecto a la primavera, lo mismo el NDWI. La cantidad de nieve en el volcán Lanín también disminuye.

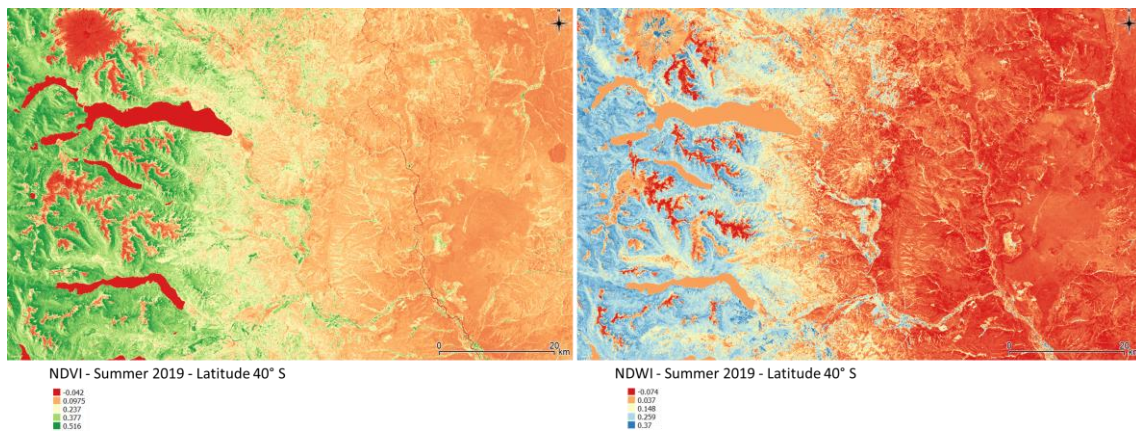


Fig. 30. Índices NDVI y NDWI, verano 2019, en los alrededores de Junín de los Andes. Imágenes Landsat 8 OLI (USGS, 2019) procesadas con (QGIS, 2018)

Los índices NDVI y NDWI en el otoño 2019 son similares a 2018. Es el período más seco del año.

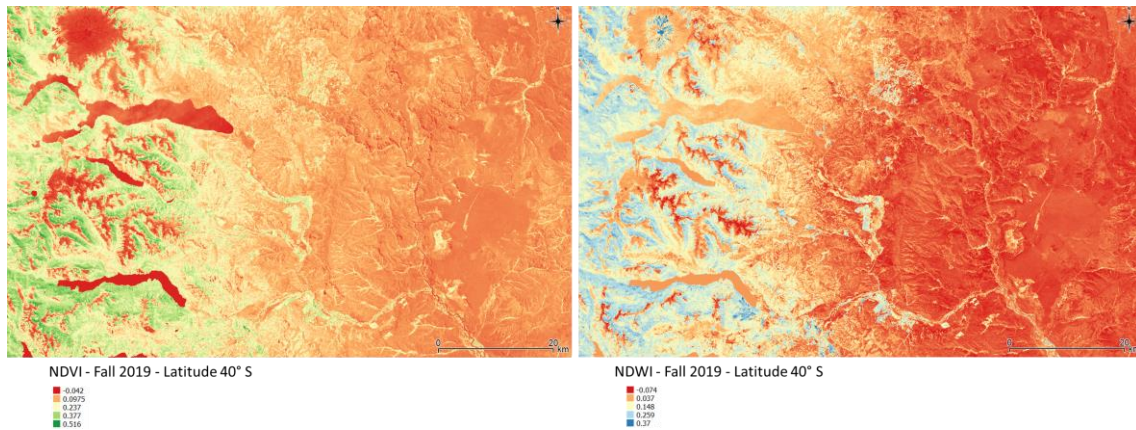


Fig. 31. Índices NDVI y NDWI, otoño 2019, en los alrededores de Junín de los Andes. Imágenes Landsat 8 OLI (USGS, 2019) procesadas con (QGIS, 2018)

Durante el período de muestreo las temperaturas se mantuvieron estables, al igual que la humedad relativa ambiente. Solo algunos días al final del verano y principios de otoño se registraron temperaturas negativas. Las precipitaciones fueron muy escasas. La velocidad del viento se mantuvo entre 0 y 35 km/h con algunos momentos con ráfagas que superaron los 50 km/h. La dirección del viento predominante fue del Oeste.

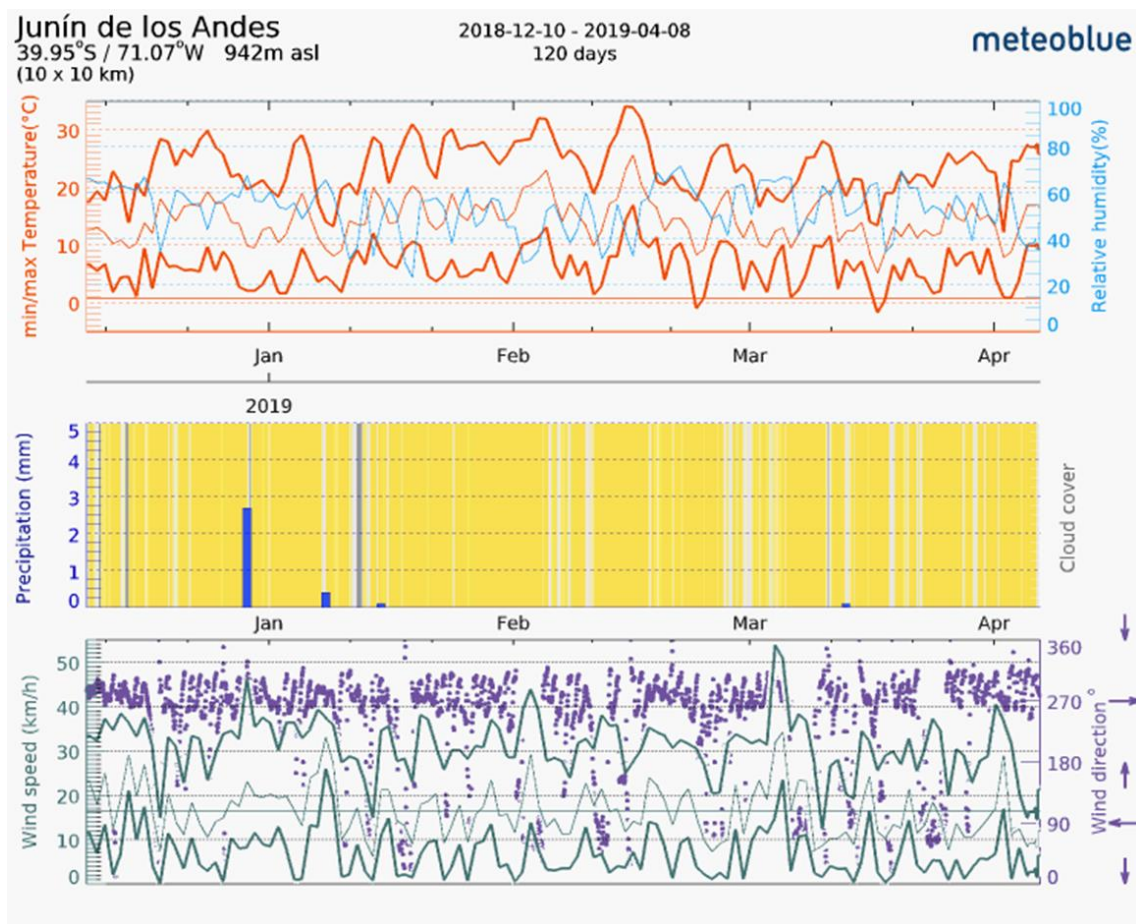


Fig. 32. Datos meteorológicos durante el período de muestreo.

En el recorte de las imágenes satelitales con centro en la ciudad de Junín de los Andes, se puede visualizar como disminuye la intensidad del NDVI de verano a otoño. El NDWI muestra una marcada disminución de la humedad en las riberas del río Chimehuín, en forma coincidente con

el hallazgo de muchos posibles hábitats de larvas de mosquitos en estado seco. Tampoco había agua en ningún contenedor artificial (plástico, metal, neumáticos, etc).

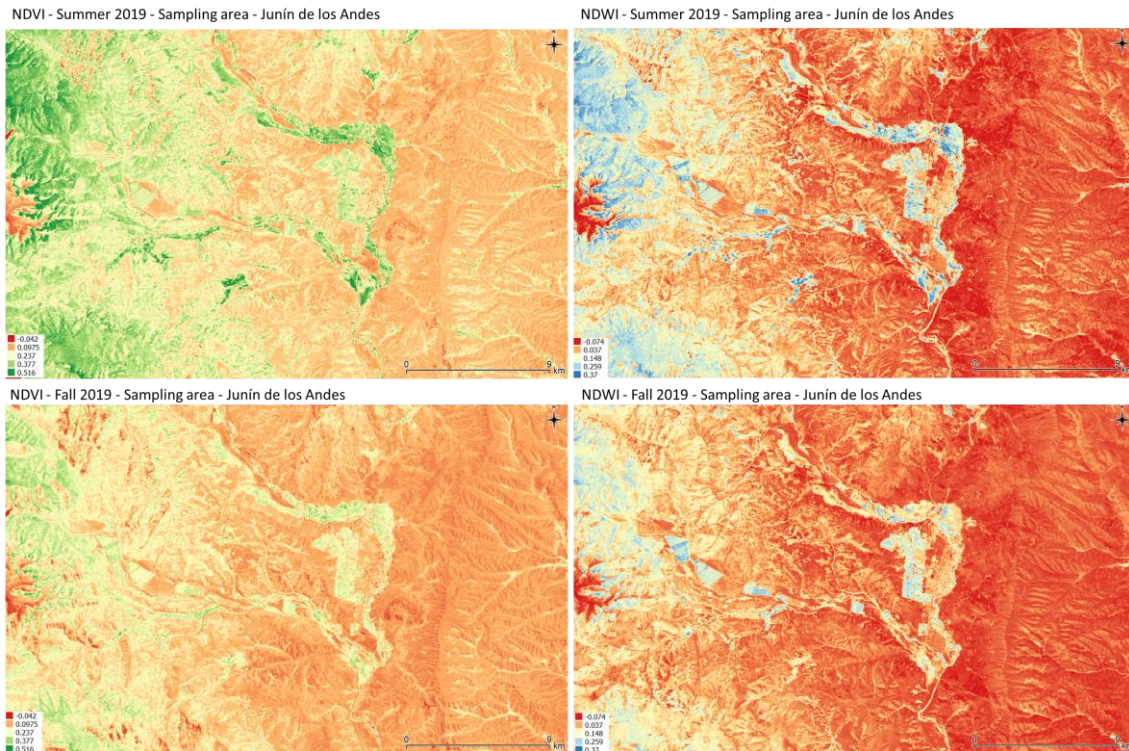


Fig. 33. Índices NDVI y NDWI en el área y período de muestreo. Imágenes Landsat 8 OLI (USGS, 2019) procesadas con (QGIS, 2018)

En los muestreos realizados no se detectaron larvas en cuatro sitios de hábitats naturales con agua quieta. La mayor parte de los posibles hábitats tanto naturales como artificiales estaban sin agua, debido a la estación seca. En los demás sitios se detectaron larvas del género *Culex*, en diferentes cantidades. Todos en ambientes naturales. También es escasa la presencia de mosquitos adultos.

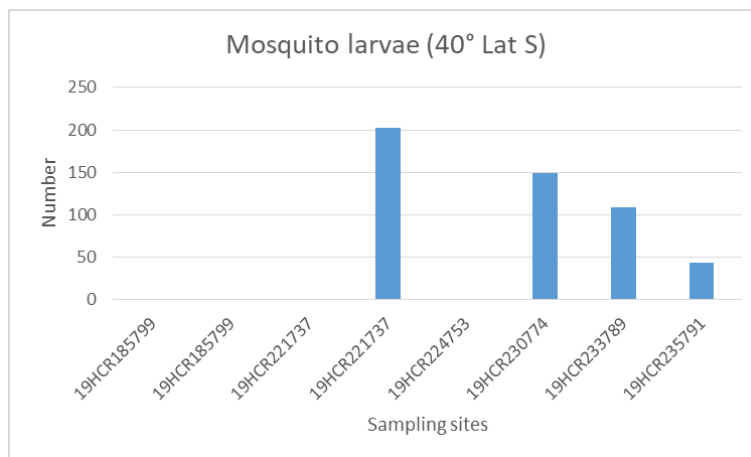


Fig. 34. Número de larvas de mosquito del género *Culex* en los alrededores de Junín de los Andes. En 4 hábitats relevados no se registraron larvas.

Análisis y resultados:

El presente trabajo realiza un análisis preliminar de la situación de los mosquitos en el mundo y en los alrededores de nuestra ciudad.

A bajas latitudes y bajas elevaciones se encontró el mayor número de larvas de mosquito. El test Tukey mostró diferencias significativas dentro de cada grupo $p < 0,05$. Por ésta razón no rechazo H_1 ⁶. La hipótesis H_4 ⁷ pudo testearse parcialmente, comparando con los datos de temperatura y humedad en las regiones con mayor número de larvas, pero no estaban disponibles estos datos para cada sitio de muestreo. Los géneros reportados con mayor frecuencia es *Anopheles*, pero un porcentaje muy bajo de los sitios de muestreo realizaron la identificación de las larvas.

Las conductas humanas proveen nuevos hábitats para los mosquitos. El test Tukey mostró diferencias significativas $p < 0,05$ con el número de larvas encontrados en hábitats artificiales. Por lo tanto rechazamos H_2 ⁸. La hipótesis H_3 ⁹ no la rechazamos parcialmente, porque con los datos disponibles no se pudo comprobar la dispersión de mosquitos hacia nuevas áreas.

Para corroborar la hipótesis H_5 ¹⁰ es necesario un mayor número de muestreos en todo el mundo durante un período de tiempo prolongado.

En algunos potenciales hábitats no había larvas de mosquitos, este hallazgo podría ser de utilidad para una futura investigación que identifique los factores limitantes en determinados sitios.

En los alrededores de Junín de los Andes, en la región de Patagonia, se encontraron pocos hábitats con larvas y con bajo número en cada una de ellas. Las causas pueden ser la falta de humedad en el verano y otoño, que reducen los posibles sitios de reproducción. Además no se encontró agua en contenedores artificiales. Las trampas construidas no fueron utilizadas por mosquitos. El estudio de los mosquitos el caso de la región de Patagonia, donde la abundancia es menor que en bajas latitudes podría ayudar a mejorar el entendimiento de su ecología en condiciones ambientales extremas.

Este trabajo es un informe preliminar porque es necesario aumentar el esfuerzo de muestreo en todo el mundo para obtener más sitios y continuar con un monitoreo programado en diferentes épocas del año de modo que permita detectar variaciones interanuales. Es necesario aumentar los muestreos en latitudes medias y altas, al igual que en diferentes elevaciones, para comprender mejor la distribución actual, detectar cambios y factores limitantes para el desarrollo de mosquitos o de los patógenos que transmiten; como también el efecto del cambio climático.

Conclusiones:

La mayor abundancia de larvas de mosquitos se encontró en latitudes y elevaciones bajas, en forma coincidente con altas temperaturas, precipitaciones abundantes y alta humedad. (Berón, et al., 2016; Diallo, et al., 2012; Mellor & Leake, 2000). Estas condiciones son propicias para que se mantengan sus hábitats estables. Los análisis de las condiciones ambientales a través de imágenes satelitales y de índices específicos como NDVI y NDWI podrían ayudar a elaborar modelos de predicción de enfermedades y al incremento de la difusión medidas de prevención.

Pareciera existir preferencia de los mosquitos hembra por utilizar contenedores artificiales para colocar sus huevos. Se debería continuar investigando éste aspecto porque puede deberse al efecto del esfuerzo de muestreo de mosquitos, por parte de estudiantes y científicos ciudadanos en las ciudades, pero la abundancia de basura en áreas urbanas está en crecimiento en gran parte del mundo. El comportamiento humano, la modificación de hábitats y el transporte han sido señalados por varios autores como factores que contribuyen a la expansión de mosquitos y

⁶ H_1 : En las zonas más cálidas cercanas al Ecuador 10° Lat N y 10° Lat S y en bajas altitudes se encuentra mayor abundancia y diversidad de especies de mosquitos en el mundo.

⁷ H_4 : Las temperaturas bajas y la falta de humedad restringen la distribución de los mosquitos.

⁸ H_2 : Las hembras de mosquito prefieren los hábitats naturales.

⁹ H_3 : El comportamiento humano de generar nuevos hábitats (ej. ambientes inundados para producir arroz), contenedores plásticos arrojados como basura que juntan agua, transporte de personas y mercancías puede aumentar la abundancia y dispersión de los mosquitos hacia nuevas áreas.

¹⁰ H_5 : El cambio climático será un factor que ayude en la dispersión de los mosquitos hacia latitudes y altitudes mayores.

enfermedades junto con el cambio climático. (Berón, et al., 2016; Blasberg, et al., 2016; Bunyavanich, et al., 2003; Harvell, et al., 2002; Kraemer, et al., 2019; Lam, et al., 2012; Nsoesie, et al., 2016; Patz, et al., 1996; WHO, 2019 and Wu, et al., 2016)

Los programas de ciencia ciudadana no solo ayudan al monitoreo, sino también puede contribuir al desarrollo de conciencia ambiental que permita modificar conductas humanas (ej. mejorar la gestión de los residuos contenedores de mosquitos).

Discusión:

Por tratarse de un informe preliminar en futuras investigaciones es importante profundizar la investigación para corroborar las conclusiones obtenidas. Para un mejor conocimiento de la ecología de cada género de mosquitos en diferentes sitios del mundo se sugiere un monitoreo sistemático, al menos una vez en cada estación en coordenadas similares. Esto permitiría conocer el impacto del cambio climático y del comportamiento humano. También ayudaría a elaborar mejores modelos predictivos de brotes de enfermedades.

En zonas donde los mosquitos son escasos o con condiciones climáticas extremas como en latitudes y elevaciones medias y altas sería interesante ampliar el esfuerzo de muestreo para conocer los factores limitantes y las adaptaciones de las especies a condiciones climáticas extremas de temperatura, desecación, sobrevivencia de los huevos, y otras. Este conocimiento podría contribuir a mejorar los planes de manejo y prepararse para mitigar efectos del cambio climático en la transmisión de enfermedades por mosquitos.

Agradecimientos:

Agradecemos al programa GLOBE y al programa de ciencia ciudadana GLOBE Mission Mosquito por generar una base de datos que nos permitió estudiar la situación de la distribución de larvas de mosquitos a escala global. También agradecemos a los desarrolladores de la aplicación GLOBE Observer: Mosquito que permitió la recopilación de gran cantidad de datos registrándolos en forma sencilla.

Agradecemos a Dr. Rusty Low por los webinar realizados que nos permitió conocer diferentes aspectos de la ecología de los mosquitos. Por último también agradecemos a nuestro mentor el Dr. Ricardo Chrobak, del Doctorado en Enseñanza de Ciencias Exactas y Naturales por ayudarnos en la elaboración del informe de investigación.

Referencias/Bibliografía:

Berón, C. M., Campos, R. E., Díaz Nieto, L., Schweigmann, N., Salomón, O. D., & Gleiser, R. M. (Ed). (2016). Investigaciones sobre mosquitos de Argentina. 1a ed. - Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Bissinger, B. W., Schmidt, J. P., Owens, J. J., Mitchell, S. M., & Kennedy, M. K. (2014). Performance of the plant-based repellent TT-4302 against mosquitoes in the laboratory and field and comparative efficacy to 16 mosquito repellents against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of medical entomology*, 51(2), 392-399.

Blasberg, M., Goos, H., & Hackenbroch, V. (2016). *Aedes Aegypti* Mosquito Is World's Most Dangerous Animal. *SPIEGEL ONLINE*.

Bunyavanich, S., Landrigan, C. P., McMichael, A. J., & Epstein, P. R. (2003). The impact of climate change on child health. *Ambulatory pediatrics*, 3(1), 44-52.

Diallo, D., Diagne, C. T., Hanley, K. A., Sall, A. A., Buenemann, M., Ba, Yamar, B., Ibrahima, D., Scott, W. & Diallo, M. (2012). Larval ecology of mosquitoes in sylvatic arbovirus foci in southeastern Senegal. *Parasites & vectors*, 5(1), 286.

Forattini O. P. (1962). *Entomología Médica*. Vol. I. Parte general, Diptera, Anophelini. Fac. Hig. 1a ed. Saude Publ. Dep. Parasitol, Sao Paulo, 622 pp.

Harvell, C. D., Mitchell, C. E., Ward, J. R., Altizer, S., Dobson, A. P., Ostfeld, R. S., & Samuel, M. D. (2002). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296(5576), 2158-2162.

Kraemer, M. U., Reiner, R. C., Brady, O. J., Messina, J. P., Gilbert, M., Pigott, D. M. & Shirude, S. (2019). Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Nature microbiology*, 1.

Lam, S. K., Burke, D., Gubler, D., Méndez-Gálvan, J., & Thomas, L. (2012). Call for a world dengue day. *The Lancet*, 379(9814), 411-412.

Lim, S. K., Lee, Y. S., Namkung, S., Lim, J. K., & Yoon, I. K. (2016). Prospects for dengue vaccines for travelers. *Clinical and experimental vaccine research*, 5(2), 89-100.

Mellor, P. S., & Leake, C. J. (2000). Climatic and geographic influences on arboviral infections and vectors. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 19(1), 41-48.

Meteoblue. (2019). Climate Junín de los Andes. Available from <https://bit.ly/2OX0UfO>

Mushore, T. D., Mutanga, O., Odindi, J., & Dube, T. (2017). Assessing the potential of integrated Landsat 8 thermal bands, with the traditional reflective bands and derived vegetation indices in classifying urban landscapes. *Geocarto international*, 32(8), 886-899.

National Aeronautics and Space Administration. (2017) The Globe Program. GLOBE Observer: Mosquito hábitat mapper. Available from <https://observer.globe.gov/toolkit/mosquito-habitat-mapper-toolkit>.

National Aeronautics and Space Administration. (2017) The Globe Program. Mosquito protocol. Available from <https://bit.ly/2Vv1QdQ>

Nsoesie, E. O., Kraemer, M. U., Golding, N., Pigott, D. M., Brady, O. J., Moyes, C. L. & Hay, S. I. (2016). Global distribution and environmental suitability for chikungunya virus, 1952 to 2015. *Euro surveillance: bulletin Europeen sur les maladies transmissibles= European communicable disease bulletin*, 21(20).

Patz, J. A., Epstein, P. R., Burke, T. A., & Balbus, J. M. (1996). Global climate change and emerging infectious diseases. *Jama*, 275(3), 217-223.

QGIS Development Team. (2018) QGIS, version 2.18.20

Rodrigue, J. P. (2017), *The Geography of Transport Systems*, Fourth Edition, New York: Routledge

StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0

Travis, D. (2019). Hawaii's Forest Birds: Avian Malaria and Mosquito Research (Documentary). Available from <https://bit.ly/2KbvTG3>

USGS (2019). EarthExplorer - Home. Available from <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Weetman, D., & Clarkson, C. S. (2015). Evolving the world's most dangerous animal. *Trends in parasitology*, 31(2), 39-40.

WHO (2019). International travel and health - Disease distribution maps. Retrieved from <https://www.who.int/ith/en/>

Wikipedia (2019). Mosquito-borne disease. Retrieved from <https://bit.ly/1Myie00>

Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment international*, 86, 14-23.